

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

**EP 1 057 156 B1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

**21.01.2004 Patentblatt 2004/04**

(51) Int Cl.7: **G08G 1/01**

(86) Internationale Anmeldenummer:

**PCT/DE1999/000523**

(21) Anmeldenummer: **99915492.5**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:

(22) Anmeldetag: **19.02.1999**

**WO 1999/042971 (26.08.1999 Gazette 1999/34)**

(54) **VERKEHRSPLAGEERFASSUNG MIT FUZZY-KLASSIFIKATION UND MEHRDIMENSIONALER MORPHOLOGISCHER DATENFILTERUNG UND DYNAMISCHER DOMÄNENBILDUNG**

DETECTION OF TRAFFIC SITUATION WITH FUZZY CLASSIFICATION, MULTI-DIMENSIONAL MORPHOLOGICAL FILTRATION OF DATA AND DYNAMIC CONSTRUCTION OF DOMAINS

DETECTION DE LA SITUATION DE TRAFIC AVEC CLASSIFICATION FLOUE, FILTRAGE DE DONNEES MORPHOLOGIQUE PLURIDIMENSIONNEL ET CONSTITUTION DYNAMIQUE DE DOMAINES

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT BE CH DE ES FR GB IT LI**

(56) Entgegenhaltungen:

**EP-A- 0 798 684**

**WO-A-94/11839**

(30) Priorität: **19.02.1998 DE 19807793**

**03.02.1999 DE 19905284**

- **HO T K ET AL: "FUZZY LOGIC TRAFFIC CONTROL AT A ROAD JUNCTION WITH TIME-VARYING FLOW RATES" ELECTRONICS LETTERS, Bd. 32, Nr. 17, 15. August 1996 (1996-08-15), Seite 1625/1626 XP000624567 ISSN: 0013-5194**
- **SAYERS T ET AL: "TRAFFIC RESPONSIVE SIGNAL CONTROL USING FUZZY LOGIC - A PRACTICAL MODULAR APPROACH" COLLOQUIUM ON FUZZY LOGIC CONTROLLERS IN PRACTICE, 15. November 1996 (1996-11-15), Seiten 5/1-5/04, XP002035546**
- **IOKIBE T ET AL: "TRAFFIC PREDICTION METHOD BY FUZZY LOGIC" PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON FUZZY SYSTEMS, SAN FRANCISCO, MAR. 28 - APR. 1, 1993, Bd. 2, Nr. CONF. 2, 28. März 1993 (1993-03-28), Seiten 673-678, XP000371490 INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS ISBN: 0-7803-0614-7**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

**06.12.2000 Patentblatt 2000/49**

(73) Patentinhaber: **DDG Gesellschaft für Verkehrsdaten mbH**

**40547 Düsseldorf (DE)**

(72) Erfinder: **SCHNÖRR, Claudius**

**D-40547 Düsseldorf (DE)**

(74) Vertreter: **Meissner, Peter E., Dipl.-Ing.**

**Meissner & Meissner,  
Patentanwaltsbüro,  
Hohenzollerndamm 89  
14199 Berlin (DE)**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

**EP 1 057 156 B1**

## Beschreibung

### Hintergrund der Erfindung

**[0001]** im Straßenverkehr, insbesondere auf den Autobahnen und Schnellstraßen, können sich die Verkehrszustände sehr schnell ändern. Infolge des hohen Verkehrsflusses und der individuellen Fahrweise der Verkehrsteilnehmer entsteht eine Dynamik im Verkehr, die kaum vorausschauend erkannt werden kann. Hinzu kommen Störungseinflüsse wie Geschwindigkeitsbegrenzungen, Änderung der Anzahl der Fahrspuren, Baustellen und Unfälle, welche plötzlich eine Fahrspur oder die ganze Autobahn blockieren. Die Störungen breiten sich dann wellenartig aus und führen auch in größeren Entfernungen zur Beeinträchtigung des Verkehrs. Auch die Gegenfahrbahnen sind in der Regel betroffen, weil auch dort die Verkehrsteilnehmer angesichts des Geschehens ihre Geschwindigkeit aus verschiedenen Beweggründen drosseln. Durch diese Verkehrsdynamik kommt es häufig zu einzelnen oder Serien-Auffahrunfällen, weil der Sicherheitsabstand nicht eingehalten worden war oder die Fahrer diese kritische Verkehrsdynamik einfach nicht mehr beherrschen.

**[0002]** Es besteht deshalb ein dringender Bedarf an rechtzeitigen und aktuellen Informationen über die Verkehrszustände in örtlich möglichst genau bezeichneten Streckenabschnitten. Dabei ist nicht nur das Stauereignis wichtig, sondern auch die streckenbezogene Angabe von Verkehrszuständen, welche einem Verkehrsstau in der Regel voraus gehen, zum Beispiel stockender oder dichter Verkehr. Es ist also eine differenzierte Erkennung der Verkehrszustände erwünscht und notwendig, und zwar trotz häufigem Fehlen von Zusatzinformationen über den aktuellen Stand der Strecken, z.B. über Baustellen, Zahl der Fahrspuren oder deren topologischen Verlauf: Steigungen, Gefällstrecken u.ä. Die Verkehrsdomänen mit in einer Verkehrsdomäne jeweils überall gleichen oder ähnlichen Verkehrszuständen breiten sich aus, sie wachsen, teilen sich auf, wandern, und die Verkehrszustände gehen ineinander über, bis sie sich schließlich auflösen, das heißt wieder freie Fahrt besteht. Diese Domänen müssen also gefunden, klassifiziert, lokalisiert und dynamisch verfolgt werden.

**[0003]** Daran schließt sich das Meldungsmanagement für Verkehrsmeldungen an, das letztlich die Ergebnisse in einer für die Autofahrer geeigneten Form aufbereitet.

**[0004]** Bei der Realisierung dieser Zielsetzung bestehen folgende Probleme:

**[0005]** Aus den einzelnen Verkehrsmeßwerten ist die Verkehrslage nicht erkennbar. Dazu müssen die Größen und Änderungen der Verkehrsmeßwerte über ein bestimmtes Zeitintervall betrachtet werden. Durch diese "Integration" darf der so ermittelte Verlauf der Verkehrsmeßwerte jedoch nicht seine Aktualität verlieren.

**[0006]** Es ist ferner notwendig, Verkehrsmeßwerte von unterschiedlichen Sensoren zu verarbeiten, die ortsfest oder mobil sein können, synchrone, asynchrone oder ereignisinduzierte Meßwerte liefern und deren Meßwerte auch lückenhaft und sehr verrauscht sein können.

**[0007]** Es ist außerdem wünschenswert, daß das Verfahren nicht an eine vorgegebene Streckeneinteilung gebunden ist, also streckenunabhängig arbeitet und auch Streckenkenntnisse über Spurzahl, Baustellen, Geschwindigkeitsbegrenzungen, Topologie der Streckenabschnitte usw. nicht erforderlich sind.

**[0008]** Aus den Verkehrsmeßdaten kann nicht eindeutig auf die Verkehrslage an den jeweiligen Meßpunkten geschlossen werden. Dazu ist es notwendig, den Verlauf der Meßwerte über Ort und Zeit zu kennen. Die spezifischen Eigenschaften des Verkehrs sind in den Meßwerten nur zusammen mit ihrem Orts-Zeitverlauf enthalten. Ziel ist deshalb die Zusammenfassung von Verkehrsdaten verschiedenen physikalischen Inhalts zu resultierenden Merkmalsvektoren, welche die Verkehrslage eindeutig charakterisieren. Zusätzlich ist auch eine Unterscheidung zwischen den Zuständen "kein Verkehr" und "Totalstau", welche die gleichen Meßwerte ergeben, erforderlich.

**[0009]** Das erfindungsgemäße Verfahren gemäß Anspruch 1 löst diese Probleme konsistent.

**[0010]** Die Erstellung von Verkehrsinformationen gemäß Anspruch 1 kann unmittelbar oder nach Zwischenschritten erfolgen. So können vor der Erstellung von Verkehrsinformationen im Anspruch 1 Zwischenschritte nach Merkmalen der Unteransprüche erfolgen.

**[0011]** Bei der weiteren Verarbeitung von die Verkehrssituation beschreibenden Merkmalsvektoren ergeben sich folgende weitere Probleme:

**[0012]** Die differenzierten Verkehrszustände, z.B. gestreut, stockend, dicht und frei, sind nicht eindeutig definierbar und abgrenzbar bezüglich der Eingangsdaten. Binäre Grenzübergänge zwischen diesen Verkehrszuständen entsprechen auch nicht dem subjektiven Empfinden der Verkehrsteilnehmer. Es ist deshalb eine graduelle Beschreibung der Verkehrszustände und ein gleitender Übergang von Zustand zu Zustand notwendig.

**[0013]** Die Beschreibung der Verkehrszustände an einem Ort muß vergleichbar sein. Es ist auch eine einheitliche Skalierung für nachfolgende Berechnungen und die Zusammenfassung aller Merkmale an einem Ort erforderlich.

**[0014]** Gegenstand des Anspruchs 2 ist ein Verfahren, das diese Aufgaben konsistent löst.

**[0015]** Bei der Weiterverarbeitung einer solchen Verkehrszustandsbeschreibung ergeben sich folgende Probleme:

**[0016]** Die Verkehrsmeßwerte, die mit verschiedenen Sensoren erfaßt werden und als Quellinformationen für die Verkehrszustandsbeschreibungen dienen, sind sowohl örtlich als auch zeitlich lückenhaft. Lücken können auch da-

durch entstehen, daß an einem Ort keine oder zu wenig Meßwerte vorhanden sind. In diesen Fällen können die Verkehrszustände an diesen Orten nicht direkt ermittelt werden.

**[0017]** Die Verkehrszustände können direkt nur an den Meßpunkten ermittelt werden. Da nicht beliebig viele Sensoren im Straßenverkehrsnetz angebracht werden können, liegen auch zwischen den Meßpunkten keine Verkehrsmeßwerte vor.

**[0018]** Ziel ist aber eine kontinuierliche Beschreibung der Verkehrszustände über die ganze Strecke und letztlich für das ganze Straßenverkehrsnetz.

**[0019]** Diese Zielsetzung kann durch eine Extrapolation der Meßwerte selbst nicht erreicht werden. Eine Interpolation der Werte zwischen zwei Meßpunkten stattdessen ist aufwendig und die Interpolationsweite muß begrenzt werden. Man kann die Lücken auch mit gemittelten historischen Daten füllen. Dies führt aber zu Verfälschungen. Ersatzwerte aus Modellrechnungen zur Schließung der Meßwertlücken auf Basis der verfügbaren Meßwerte sind aufwendig und setzen eine hohe Qualität dieser verfügbaren Meßwerte voraus.

**[0020]** Der Gegenstand des Anspruchs 3 löst diese Probleme konsistent.

**[0021]** Zur Bildung von Verkehrsdomänen jeweils einheitlichen Verkehrszustandes sowie deren Verfolgung über Ort und Zeit müssen Zustandsvektoren miteinander verglichen werden. Dabei treten folgende Probleme auf:

**[0022]** Die ermittelten Verkehrslagen an den verschiedenen Orten des Straßenverkehrsnetzes müssen einem der differenzierten Verkehrszustände (gestaut, stockend, dicht oder frei) zugeordnet werden. Zu diesem Zweck müssen die Beschreibungen der örtlichen Verkehrslagen miteinander verglichen werden.

**[0023]** Ebenso müssen die zu Domänen zusammengefaßten Orte gleicher Verkehrszustände miteinander verglichen werden, um Änderungen und Dynamik dieser Domänen bezüglich Ort und Zeit feststellen zu können.

**[0024]** Diese Vergleiche können jedoch nicht als Identitätsvergleich auf der Basis identisch gleicher Verkehrsmeßwerte oder der charakteristischen Merkmalsvektoren, welche die lokale Verkehrssituation in anderer Form beschreiben, vorgenommen werden, weil diese stochastischen Werte nie vollständig gleich sind, aus unterschiedlichen physikalischen Meßwerten hervorgehen und damit verschiedene Maßeinheiten haben und unterschiedlich skaliert sind.

**[0025]** Ziel ist deshalb, auf der Basis der Ortszustandsvektoren, welche in ihren Komponenten die Wahrscheinlichkeiten für die differenzierten Verkehrszustände enthalten, mit Hilfe eines Ähnlichkeitsmaßes sowohl die Ortszustandsvektoren als auch die Domänen jeweils miteinander zu vergleichen.

**[0026]** Gegenstand des Anspruchs 4 ist ein Verfahren, das diese Aufgaben konsistent löst.

**[0027]** Bei der Segmentierung von Verkehrsdomänen in Straßenverkehrsnetzen müssen die folgenden Probleme gelöst werden:

**[0028]** Orte mit gleichen oder ähnlichen Verkehrszuständen müssen zu Domänen gleicher Verkehrszustände zusammengefaßt werden bzw. die Domänen ähnlicher Verkehrszustände müssen voneinander segmentiert werden.

**[0029]** Die Domänen sollen nicht an feste Streckenabschnitte gebunden sein, sondern deren Anfang und Ende sollen sich, entsprechend den tatsächlichen Verkehrstagen und deren Dynamik, stetig an den richtigen Stellen festlegen lassen.

**[0030]** Die Domänen sollen eine Zustandsbeschreibung enthalten, die aus den Zustandsbeschreibungen der in ihnen zusammengefaßten Orten resultiert.

**[0031]** Der Gegenstand des Anspruchs 1 ist ebenfalls ein Verfahren, das diese Aufgaben konsistent löst.

**[0032]** Bei der Verfolgung der Domänen und deren Zuordnung zu durch frühere Verkehrsmeldungen ausgewiesene Domänen bestehen folgende Probleme:

**[0033]** Die Domänensegmentation des Straßenverkehrsnetzes muß in zeitlichen Intervallen wiederholt werden. Diese Aktualisierungsschritte müssen sicherstellen, daß die Segmentation immer dem aktuellen Verkehrszustand entspricht.

**[0034]** Die aktuell gefundenen neuen Verkehrsdomänen müssen den bereits bestehenden, im vorhergehenden Aktualisierungsschritt gefundenen Domänen zugeordnet werden.

**[0035]** Das Meldungsmanagement muß daraus Neu-, Änderungs- und Löschmeldungen erzeugen.

**[0036]** Das erfindungsgemäße Verkehrslage-Klassifikations- und Meldungsverfahren ist auf allen Autobahnen und Schnellstraßen zur Verringerung der Unfallgefahr einsetzbar. Kritische Verkehrssituationen können teilweise sogar vermieden werden. Das System ist aber nicht nur aus Sicherheitsgründen notwendig. Es ist auch die Grundlage für Routenplanungen, Reisezeitprognosen, Stauverlaufsprognosen, Umleitungsempfehlungen, Signal- und Verkehrsbeeinflussung sowie gegebenenfalls direkte Fahrzeugbeeinflussung und Verkehrslenkung und zahlreiche andere Dienste.

Stand der Technik

**[0037]** Bisher bekannte dynamische Verkehrsbilanzierungsverfahren wurden weiter modifiziert, um typische Schwächen zu vermeiden, z.B. beschrieben in der Schrift von Siemens WO9525321A1: "Method of sensing traffic and de-

tecting traffic situations on roads, preferably freeways", 1995 und 1997. Bei diesem modifizierten Verfahren zur Verkehrssituationserkennung ist die Grundlage eine Meßstrecke zwischen zwei Meßpunkten und die Differenzbildung, in diesem Fall jedoch nicht der Verkehrsflüsse, sondern der Geschwindigkeits-Verkehrsdichte-Werte, welche aus den lokalen Daten berechnet werden. Zusätzlich wird ein Trendfaktor aus dem Verhältnis der Verkehrsflüsse zwischen den beiden Meßpunkten über eine vorgegebene Zeitperiode von z.Bsp. 30 Minuten und die erste Ableitung, das heißt die Steigung der Tangente, berechnet. Aus diesen drei Verkehrsparametern wird mit Hilfe einer Fuzzy-Logik ein Indikator für eine kritische Verkehrssituation in der Meßstrecke detektiert

Eine Weiterentwicklung des gleichen Verfahrens verwendet eine dynamische Kalibrierung der genannten Verkehrsparameter, abhängig von ihren Vergangenheitswerten, zur Korrektur der Differenzbildungen (Siemens/WO9525321A1: "Method of Detecting Traffic and Traffic Situations on Roads, Preferably Motorways"). Der Kalibrierungsfaktor für die Geschwindigkeits-Dichte-Differenz wird außerdem als Schwellwert benutzt, dessen Überschreitung eine kritische Verkehrssituation anzeigt. Mit diesen Maßnahmen wird die Abhängigkeit der Differenzbildungen von vielen Einflußgrößen wie der Distanz zwischen den Meßpunkten, den Meßfehlern und -toleranzen, der Geometrie bzw. Topologie der Meßstrecke, dem Straßenzustand, der unterschiedlichen Fahrweise bei Tag und Nacht usw. korrigiert.

**[0038]** Bei diesen bilanzierenden Verfahren erfolgt die Klassifizierung der Verkehrszustände direkt anhand der Meßwerte durch Einleitung der Meßwerte in Bereiche. Bei dem zuletzt genannten Verfahren wird auf den Verkehrsfluß, die Geschwindigkeit und die integrierte Flußbilanz eine Fuzzy-Logik angewendet zur Klassifizierung der Verkehrszustände, die damit bereits endgültig festgelegt werden. Eine Zusammenfassung von verschiedenen Merkmalen erfolgt nicht. Die so ermittelten Verkehrszustände für die jeweiligen Meßstrecken sind nicht kontinuierlich, gleitende Übergänge sind nicht adäquat beschreibbar. Die real vorhandene Verkehrsdynamik wird damit bei der Erfassung der Verkehrszustände weitgehend unterdrückt.

**[0039]** Da alle diese Verfahren nur mit einer festen Streckeneinteilung des ganzen betrachteten Verkehrsnetzes arbeiten, kann die Entscheidung für einen bestimmten Verkehrszustand aufgrund der Meßwerte am Anfang und Ende einer Meßstrecke deshalb immer nur für die jeweilige Strecke getroffen werden. Mit diesen Verfahren kann prinzipiell der graduelle Verlauf der Zustandsinfonnation über die betrachtete Strecke nicht ermittelt werden.

**[0040]** Entsprechend gibt es bei diesen Verfahren auch keine graduelle Zustandsbeschreibung. Deshalb können sie auch kein auf einer solchen Zustandsbeschreibung basierendes Ähnlichkeitsmaß für die Zuordnung der Verkehrslagen an den verschiedenen Orten zu den differenzierten Verkehrszuständen verwenden.

**[0041]** Nachfolgend können deshalb auch nur die Streckenabschnitte zusammengefaßt werden, bei denen anhand der Meßwerte auf den vorgegebenen Strecken die Entscheidung für den gleichen Verkehrszustand getroffen wurde. Diese Systeme können Anfang und Ende der Verkehrsdomänen, in denen die gleichen Verkehrszustände herrschen, nicht ausweisen, sondern nur im Rahmen der funktionsbedingten Streckeneinteilung. Eine dynamische Domänenbildung ist bei den bekannten Verfahren prinzipiell nicht möglich.

**[0042]** Damit ist folglich auch keine dynamische Domänenverfolgung möglich. Auch das Meldungsmanagement unterliegt diesen Einschränkungen.

**[0043]** Die bekannten Verfahren lösen die dargestellten Probleme nicht und sie bieten auch keinen Lösungsansatz:

- Nur synchrone Meßdaten von stationären Sensoren können verarbeitet werden.
- Die Verfahren sind alle streckengebunden, wodurch die örtliche Auflösung eingeschränkt ist.
- Als Merkmal wird nur die über die Zeit integrierte Flußdifferenz berechnet.
- Der Verlauf der Meßwerte über Ort und Zeit wird nur integriert über die festgelegte Meßstrecke, das heißt an zwei Meßpunkten, ermittelt.
- Es gibt keine graduelle Beschreibung des Verkehrszustandes über den Ort, der auch gleitende Übergänge adäquat erfassen kann.
- Eine Ähnlichkeitszuordnung auf Basis einer kontinuierlichen Zustandsbeschreibung ist daher weder für einzelne Orte noch für ausgewiesene Verkehrsdomänen möglich.
- Eine dynamische Bestimmung und Verfolgung der Verkehrsdomänen über den Ort und die Zeit ist damit nicht möglich. Das Meldungsmanagement unterliegt den gleichen Einschränkungen

**[0044]** Die bekannten Verfahren sind deshalb für die Praxis zur Erfassung des Verkehrszustandes an einzelnen Orten sowie der Verkehrstage im Straßenverkehrsnetz nur eingeschränkt brauchbar.

**[0045]** Besondere Vorteile und weitere Merkmale eines erfindungsgemäßen Verfahrens und Systems ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der Zeichnung. Dabei zeigt

- Fig. 1: Zeitfunktionen der Meßwerte von Induktionsschleifen für ein Stauereignis,  
 Fig. 2: Mediangefilterte Zeitfunktionen aus Fig. 1,  
 Fig. 3: Dilatierte Tophat-Funktion der Breite 15 Minuten angewendet auf die Geschwindigkeitsmeßwerte bei stauendem Verkehrszustand,

- Fig. 4: Schematische Darstellung der Verarbeitungskette:  
Eingehende Verkehrsmeßwerte:  
Eintrag in Speichereinheiten für die Speicherung von erfassten Verkehrsmesswerten je betrachteter Straße in Abhängigkeit von Ort und Zeit ihrer Erfassung, im folgenden Historienfenster genannt, über Ort  $x$  und Zeit  $t$ , Bildung von Merkmalsvektoren je Ort nach den orts-zeitlichen Filterungen der Meßwerte,
- Fig. 5: Skizze eines Merkmalsraumes mit Klasseneinteilung.
- Fig. 6: Fuzzy-Klassifikations- bzw. Diskriminanzfunktionen für die örtlich und zeitlich gefilterten Meßgrößen (oder die Merkmale),
- Fig. 7: Bestimmung des normierten Ortszustandsvektors an einem Ort  $x$  aus den Zustandsvektoren je Merkmal, die sich aus den Merkmalen durch Fuzzy-Klassifikation ergeben,
- Fig. 8: Zustandsextrapolation der Zustandsvektorkomponenten über den Ort mit z.B. einem lokalen Gaußfilter,
- Fig. 9: Skizze zur Visualisierung der Ergebnisse des Domänenwachstumsverfahrens auf Basis der Ortszustandsvektoren,
- Fig. 10: Skizze zur Visualisierung der Ergebnisse und die zeitliche Zuordnungen der durch die Meldungen ausgewiesenen Verkehrsdomänen zu aufeinanderfolgenden Zeitpunkten,
- Fig. 11: Erzeugte Verkehrsmeldungen des realisierten Prototyps am Beispiel eines Stauereignisses.
- Fig. 12: Erzeugte Verkehrsmeldungen des realisierten Prototyps am Beispiel eines Stauereignisses bei gleichzeitiger Darstellung der Geschwindigkeitsmeßwerte im Hintergrund.

**[0046]** Im folgenden werden beispielhaft die Eigenschaften eines erfindungsgemäßen effizienten Verkehrstage-Klassifikations- und -Meidungssystems präzisiert.

Die Verkehrszustände gestaut, stockend, dicht und frei werden mittels Merkmalen klassifiziert. Weitere Zustände können bei Bedarf durch Einbindung weiterer Merkmale ergänzt werden.

Ähnliche Verkehrszustände, welche durch örtliche Zustandsindikatoren festgestellt wurden, werden zu Verkehrsdomänen zusammengefaßt. Wachstum, Wanderung, gegebenenfalls Teilung sowie Übergänge dieser Domänen in die anderen klassifizierten Verkehrszustände bis zu ihrer Auflösung in der Klasse "frei" werden dynamisch verfolgt.

Die Domänenbildung ist nicht an ein streckenabhängiges oder stabilitätsbedingtes Raster gebunden. Die Feinheit der örtlichen Auflösung ist wählbar.

Die "Wahrscheinlichkeiten" für die angezeigten Verkehrszustände bzw. deren Signifikanz werden festgestellt.

Das Meldungsmanagement stützt sich auf die ermittelte Dynamik der Domänen und ist nicht an feste Orte gebunden. Neu ermittelte Domänen können bereits gemeldeten Domänen über ein Ähnlichkeitsmaß zugeordnet werden. Da die Zustände der Domänen kontinuierlich beschrieben werden, läßt das Verfahren auch Zustandsübergänge im Lebenslauf einer Domäne zu.

Der Algorithmus bietet Freiheitsgrade, um über Parameter die gewünschte Sensibilität des Systems bzgl.

- der zeitlichen Reaktion auf eingehende Daten,
- der Auflösung bei der Sicht des Systems auf die Verkehrsdomänen und
- der Häufigkeit von Meldungen ohne Beeinflussung der Domänenbildung anzupassen.

Es sind keine Streckenkenntnisse erforderlich. Es sind auch keine weiteren Modellbildungen notwendig. Falls solche Zusatzinformationen jedoch vorhanden sind, können sie zur weiteren Verbesserung der Systemergebnisse durch ergänzende Verwendung von Verkehrsmodellen leicht genutzt werden.

Die Qualität der Meldungen wird realisiert durch eine hohe örtliche und zeitliche Auflösung und einer damit hohen Aktualität, durch die Konsistenz der Meldungen, unabhängig von der Herkunft der Daten und vom jeweiligen Detektortyp, und durch eine hohe Stabilität. Es erfolgt eine frühzeitige Warnung vor staugefährdeten Streckenabschnitten durch die Meldung der Zustände dicht und stockend.

Das System basiert auf einer kontinuierlichen Beschreibung der Verkehrszustände. Sein Algorithmus kann synchrone, asynchrone und ereignisinduzierte Verkehrsdaten auch unterschiedlichen physikalischen Inhalts verarbeiten und nutzen. Die Meßstellen können ortsfest sein, es kann aber auch an variablen Orten gemessen werden.

Das System benötigt keine aufwendige Interpolation der Meßwerte entlang der betrachteten Straßen.

Die Meldungen des Systems werden zum Funktionstest mit realen historischen Verkehrsdaten und zur Überwachung im Betrieb in Kongruenz mit den Verkehrsmeßwerten visualisiert. Die Visualisierung zeigt auch die Dynamik der Verkehrslage.

Das System ermöglicht auch die Unterscheidung zwischen einem Totalstau und völlig freiem Verkehr, obwohl in diesen beiden Extremfällen jeweils keine sinnvollen Verkehrsmeßwerte vorliegen.

Nach jedem Verarbeitungszyklus liegt für jede betrachtete Straße eine Liste gemeldeter Verkehrsdomänen vor, die eine lückenlose dynamische Darstellung der Verkehrssituation des betrachteten Straßennetzes darstellt.

Grundlage eines solchen Systems sind die folgenden, auch einzeln sinnvoll verwendbaren Verfahren zur Verarbeitung

und Aufbereitung von Verkehrsinformationen.

Verkehrsdaten-Vorverarbeitung und Merkmalsbildung

**[0047]** Das erfindungsgemäße Verfahren zur Verkehrslageerfassung mit Historienfenster, mehrdimensionaler morphologischer Datenfilterung und Merkmalsvektorbildung erhält Verkehrsdaten von verschiedenen Sensoren als Quellinformationen und setzt diese über orts-zeitliche Filterungen in Merkmale je Meßort um, welche die örtliche Verkehrssituation beschreiben.

Induktionsschleifen sind stationär in unterschiedlichen Abständen an der Autobahn installiert und liefern synchron, gemittelt über die Taktzeit, die Meßwerte für die Geschwindigkeit, den Verkehrsfluß, den Zeitpunkt und den Ort der Messung. Geschwindigkeits- und Flußwerte können auch getrennt für PKWs und LKWs vorliegen.

Infrarot- oder Radarsensoren sind ebenfalls ortsfest und liefern ereignisinduziert asynchrone Meßwerte.

"Floating-Cars" messen nur die Geschwindigkeit jeweils eines Fahrzeuges in diesem Fahrzeug, also an variablen Orten und asynchron. Die Meßwerte sind also Geschwindigkeit, Zeitpunkt und Ortskoordinate der Messung.

Aus diesen Quelldaten wird die lokale Verkehrsdichte berechnet und die Meßvektoren über Ort  $x$  und Zeit  $t$  gebildet. Die Meßwerte können zeitweise ausfallen, so daß örtliche und zeitliche Lücken entstehen, zusätzlich zu den Orten, die nicht durch Detektoren abgedeckt sind. Diese Daten unterschiedlicher Herkunft und Qualität werden nun zu konsistenten und stabilen Aussagen über die Verkehrssituation verarbeitet.

Zunächst werden fehlerhafte Daten eliminiert. Konnte der über die Taktzeit gleitende Mittelwert der Geschwindigkeit mangels Verkehr nicht bestimmt werden, so wird ein speziell definierter Wert angezeigt. Die Meßwerte fehlen aber auch dann, wenn eine Vollsperrung des Verkehrs vorliegt. In beiden Fällen ist der Fluß null. Für die Entscheidung, welche Situation wirklich vorliegt, dient ein Gedächtnis über den vorgängigen Verlauf der Geschwindigkeit und des Flusses. Da innerhalb eines Staus in kleinen Bereichen sehr kleine Fluß- und Geschwindigkeitswerte auftreten können, werden Werte unterhalb einer Mindestgröße nicht zur Dichteberechnung herangezogen.

Alle Meßvektoren werden über gleitende "Historienfenster" je Meßwertkategorie - Geschwindigkeit  $v$ , Verkehrsfluß  $f$  und Dichte  $d$  - von z.Bsp. 20 min weitergegeben. Die weiter zurückliegenden Werte werden gelöscht. Der Ort ist in diesen Historienfenstern in kleinen Intervallen von z.Bsp. 200m diskretisiert, die Zeit in Intervallen von z.Bsp. 1 Minute. Die Historienfenster werden im Takt der synchronen Detektordaten von z.Bsp. 1 min weitergeführt. So erhält man die Meßwerte als gleitende Zeitfunktionen unter Erhaltung des Orts-Zeit-Bezugs und mit großer Aktualität (Fig. 4).

Da die Meßwerte stark verrauscht sind (Fig. 1), wird eine örtliche und zeitliche Filterung der Geschwindigkeits- und Dichte-Werte durchgeführt, um die Schwankungen zu senken, ohne jedoch signifikante Zustandsübergänge zu unterdrücken. Die Analyse der Zeitfunktionen der Meßvektoren zeigt, daß dazu ein Medianfilter geeignet ist (Fig. 2).

Als Merkmal für den stockenden Verkehr wird die Standardabweichung der Flußwerte aus dem Historienfenster und die dilatierte Tophat-Funktion der Geschwindigkeiten mit z.Bsp. 15 Minuten Breite herangezogen (Fig. 3), um Maße für die zeitliche Schwankung des Verkehrs zu erhalten. Je größer diese beiden Merkmale sind, desto eher liegt stotkender Verkehr vor.

Für die Tophat-Funktion, ein morphologisches Filter, gilt (siehe Serra, J., "Image Analysis and Mathematical Morphology", 1982, Academic Press):

$$\text{Tophat}(v) = v - \text{Opening}(\text{Dilatation}(v))$$

Dilation und Erosion sind ebenfalls morphologische Filter.

Die Filter müssen dabei auch mit Meßwertlücken, d.h. bei fehlenden Meßwerten an manchen Orts- und Zeitkoordinaten innerhalb der Historienfenster, funktionieren. Bei den morphologischen Rangfolgeoperationen, Median, Erosion und Dilatation, aus denen auch die Tophat-Filterung besteht, ist diese Notwendigkeit aber leicht zu berücksichtigen: nicht vorhandene Meßwerte werden weggelassen. Zur Berechnung der Standardabweichung der Flußwerte werden ebenfalls nur vorhandene Werte verwendet.

Nach dieser Vorverarbeitung (Fig. 4) liegt für jeden Ort  $x$  der resultierende Merkmalsvektor vor:

$$(v.\text{med}20, d.\text{med}20, f.\text{sigma}20, v.\text{tophat}15)^T(x).$$

Dabei bedeuten:

- $v.\text{med}20$  = Geschwindigkeitsmeßwerte mediangefiltert mit Fensterbreite 20 min;
- $d.\text{med}20$  = Dichtewerte median-gefiltert, Fensterbreite 20 min;
- $f.\text{sigma}20$  = Standardabweichung der Flußwerte innerhalb 20 min;

- v.tophat15 = Geschwindigkeitswerte tophat-gefiltert mit Fensterbreite 15 min.

Diese Merkmale sind Größen, die beispielsweise Meßwerte mit gemindertem Rauschanteil wiedergeben, oder die den Grad der Geschwindigkeits- und Flußschwankungen in Abhängigkeit vom Ort quantifizieren.

**[0048]** Diese Merkmalsbeschreibung ist die notwendige Voraussetzung für darauf aufsetzende höherwertige Verfahren zur orts- und zeitaufgelösten Zustandsklassifikation des Verkehrs.

**[0049]** Das erfindungsgemäße Verfahren ist also charakterisiert durch die folgenden Verarbeitungsschritte:

- Detektordaten empfangen
  - synchron, asynchron, ereignisinduziert, ortsfest, variabler Ort
- Detektordaten verarbeiten
  - Lokale Verkehrsdichte berechnen
  - Meßvektor bilden:  $(v, f, d)^T(t, x)$
  - Plausibilitätskontrolle, fehlerhafte Daten eliminieren
- "Historienfenster"
  - Gleitende Orts- und Zeitfunktionen der Meßwerte
- Filterung über Ort und Zeit
  - Medianfilter für Geschwindigkeits- und Dichte-Daten
  - Standardabweichung der Flußwerte
  - Dilatierte Tophat-Funktion der Geschwindigkeiten
  - Resultierender Merkmalsvektor an jedem Ort  $x$  zur Beschreibung der örtlichen Verkehrssituation:  $(v.med20, d.med20, f.sigma20, v.tophat15)^T(x)$

Klassifikation der Verkehrszustände auf Basis von Verkehrssituationsbeschreibungen

**[0050]** Das erfindungsgemäße Verfahren zur Erfassung des Verkehrszustandes eines Straßenverkehrsnetzes mittels Fuzzy-Klassifikation und die Bildung von wertekontinuierlichen Ortszustandsvektoren benutzt Merkmalsvektoren, welche durch eine Vorverarbeitung der Meßwerte gewonnen werden und die Verkehrssituation an jedem Meßort ( $x$ ) beschreiben. Es können aber auch direkt Meßwerte oder andere berechnete Werte, z.Bsp. Reisezeiten, verarbeitet werden. Das Verfahren setzt diese Merkmalsvektoren über eine Fuzzy-Klassifikation in eine geeignete Beschreibung der Verkehrszustände in Form von Ortszustandsvektoren um.

Zur Unterscheidung der Verkehrszustände: gestaut, stockend, dicht und frei wird jedem Verkehrsmuster ein Vektor aus Merkmalen zugeordnet, der im Merkmalsraum einen Punkt darstellt. Der  $n$ -dimensionale Merkmalsraum wird dabei durch die Merkmalsachsen aufgespannt (Fig. 5).

**[0051]** Die Klassifikation der Muster entspricht nun einer räumlichen Aufteilung des Merkmalsraumes. Das kann durch Trennfunktionen geschehen, die exakte Grenzen festlegen. Hier wird jedoch ein Ansatz gewählt, der Diskriminanzfunktionen für jede Klasse verwendet. Ein Muster wird danach derjenigen Klasse zugeordnet, deren Diskriminanzfunktion für die Merkmale dieses Musters größer ist als die übrigen Diskriminanzfunktionen (Duda, R.O. and Hart, P.E.: "Pattern Classification and Scene Analysis", New York 1972). Jede Klasse steht dabei für einen der zu unterscheidenden Verkehrszustände.

Um die Diskriminanzfunktionen festzulegen ist eine Definition der genannten Verkehrszustände nötig. Bereits bei einer verbalen Beschreibung zeigt sich jedoch, daß die Beschreibungen subjektiv gefärbt und diffus sind und die Grenzen zwischen den Verkehrszuständen nicht eindeutig sind, sondern qualitativer Art über jeweilige Vergleiche mit den anderen Verkehrszuständen. Diesem Problem, daß die Definition der Verkehrszustände nur "unscharf" möglich ist, wird durch eine Fuzzy-Klassifikation Rechnung getragen. Die Fuzzy-Klassifikationsfunktionen werden an jedem Ort auf die vorliegenden Merkmalsvektoren angewendet (Fig. 6).

Über die komponentenweise Fuzzy-Klassifikation wird jedem Verkehrszustand eine Wahrscheinlichkeit zugeordnet. Diese Komponenten-Zustandsvektoren werden sodann durch vektorielle Addition mit anschließender Normierung zu einem einzigen Zustandsvektor für jeden Ort zusammengeführt (Fig. 7).

Anstelle einer Summation kann auch eine komponentenweise Multiplikation der Zustandswahrscheinlichkeiten erfolgen. Statt die Vektoren auf die Summe der Komponenten gleich 1 zu normieren, kommt auch eine Normierung auf

den Vektorbetrag gleich 1 in Betracht.

Aus anderen Quellen, z.Bsp. aus modellgestützten Verfahren, ermittelte örtliche Zustandsvektoren werden in gleicher Weise bei der Kombination der merkmalsbasierten Zustandsvektoren zu den Ortszustandsvektoren einbezogen, ggf. unter Berücksichtigung von zusätzlichen Gewichtungsfaktoren.

Es liegen nun an allen Orten, an denen genügend Meßwerte vorhanden waren und daraus Merkmalsvektoren berechnet werden konnten, lokale Zustandsvektoren vor, welche die Wahrscheinlichkeiten für die verschiedenen Verkehrszustände enthalten. Das erfindungsgemäße Verfahren zur Erfassung des Verkehrszustandes mittels Fuzzy-Klassifikation und Ortszustandsvektoren ist also charakterisiert durch die folgenden Verarbeitungsschritte:

- Klassifikation der Verkehrszustände
  - Merkmale der Verkehrszustände: gestaut ... frei
  - Aufteilung des Merkmalraumes durch Fuzzy-Diskriminanzfunktionen
  - Fuzzy-Klassifikation der Komponenten der vorhandenen Merkmalsvektoren an jedem Ort: Wahrscheinlichkeit der Verkehrszustände je Merkmal
- Vektorielle Addition und Normierung zu einem Zustandsvektor für jeden Ort: Ortszustandsvektor

Extrapolation zur Erstellung einer lückenlosen Verkehrszustandsbeschreibung

**[0052]** Das erfindungsgemäße Verfahren zur Erstellung einer die Verkehrslage eines Straßenverkehrsnetzes repräsentierenden lückenlosen Verkehrszustandsbeschreibung geht von Ortszustandsvektoren aus. Die Komponenten dieser normierten Ortszustandsvektoren stellen die Wahrscheinlichkeiten für das Vorliegen eines Verkehrszustandes an dem betreffenden Ort dar.

Um diese Lücken zu überbrücken, wird erfindungsgemäß eine Extrapolation der lokal vorhandenen Ortszustandsvektoren mittels z.Bsp. eines lokalen Gaußfilters über den Ort vorgenommen (Faltung mit einer Gaußkurve oder einer der Gaußkurve ähnlichen Glockenkurve, z.Bsp.  $f(x) = 1/(1+x^{2n})$ , n eine natürliche Zahl), und zwar für jede Komponente des Ortszustandsvektors getrennt. Die Extrapolationsweite wird durch die Parameter des Gaußfilters festgelegt. Durch diese Ortsfilterung sind nun praktisch an allen Orten Ortszustandsvektoren vorhanden (Fig. 8). Diese Extrapolation darf jedoch nur bis zu einer gewissen Entfernung von den lokal vorliegenden Ortszustandsvektoren vorgenommen werden, damit die Extrapolationswerte die realen Verhältnisse auch noch richtig beschreiben. Über eine Schwelle für den Betrag der extrapolierten Zustandsvektoren wird die maximale Extrapolationsweite dynamisch begrenzt, d.h. nicht starr, sondern in Abhängigkeit vom Extrapolationsergebnis. Mit zunehmender Extrapolationsweite muß außerdem die Gewichtung der vorliegenden Ortszustandsvektoren abnehmen. Das leistet z.Bsp. das Gaußfilter.

Um die Stabilität der Erkennung der differenzierten Verkehrszustände noch weitergehend zu sichern, wird zusätzlich an jedem Ort eine komponentenweise Mittelung der Zustandsvektoren jeweils mit den Werten des vorhergehenden Aktualisierungslaufes durchgeführt. Diese gleitende zeitliche Glättung auf der Basis der kontinuierlichen Zustandsbeschreibung an jedem Ort ist wesentlich wirksamer als eine künstlich über die Zeit erzwungene Stabilität in nachfolgenden Verarbeitungsschritten. Eine solche gleitende Glättung ist eine Ausprägung eines autoregressiven Filters (AR) (Papoulis, A.: "Probability, Random Variables, and Stochastic Processes", McGraw-Hill Series, in: Systems Science, McGraw-Hill 1991).

Um diese gleitende zeitliche Glättung zusätzlich näherungsweise unabhängig von den gewählten Zeitintervallen zwischen den Aktualisierungen der einzelnen Straßen zu halten, wird der Filterparameter  $a_{tstep}$  auf ein festes Intervall von z.Bsp. 10 Minuten bezogen:

$$z = a_{tstep} z_{neu} + (1-a_{tstep})z_{alt} \text{ mit } a_{tstep} = 1 - (1-a_{t10min})^{tstep/t10min}$$

**[0053]** Dabei stehen  $z_{neu}$  bzw.  $z_{alt}$  für die neu ermittelten bzw. in einem vorhergehenden Berechnungszyklus ermittelten Ortszustandsvektorkomponenten einer Straße, und tstep und t10min stehen für das gewählte Zeitintervall in Sekunden zwischen 2 Aktualisierungsläufen der betreffenden Straße und für 600 Sekunden respektive. Das so berechnete z wird dann im nächsten Aktualisierungslauf für diese Straße zu  $z_{alt}$ .

Es werden also zwei Verarbeitungsschritte durchgeführt:

- Extrapolation jeder Komponente der Ortszustandsvektoren über den Ort durch Filterung mit z.Bsp. einem lokalen Gaußfilter.
- Gleitende (autoregressive) Mittelwertbildung der Ortszustandsvektoren über die Zeit.



## Vergleich von Verkehrszustandsbeschreibungen durch probabilistische Ähnlichkeitsmaße

**[0054]** Das erfindungsgemäße Verfahren zum Vergleich von Verkehrszustandsbeschreibungen und Verkehrsdomänen durch probabilistische Ähnlichkeitsmaße geht von Ortszustandsvektoren aus, welche z.Bsp. aus Merkmalsvektoren für jeden Meßort über eine Fuzzy-Klassifikation und eine nachfolgende gewichtete Extrapolation für jede wählbare Diskretisierung der Strecke zwischen den Meßpunkten, z.Bsp. alle 200m, ermittelt werden. Die Komponenten dieser Ortszustandsvektoren sind die Wahrscheinlichkeiten für das Vorliegen der differenzierten Verkehrszustände an jedem Ort. Die Ortszustandsvektoren sind also eine kontinuierliche Beschreibung der Verkehrszustände an jedem betrachteten Ort und das für jeden Ort des jeweiligen Streckenabschnitts und damit für das ganze Straßenverkehrsnetz.

Orte mit ähnlichen Verkehrszuständen, das heißt ähnlichen Ortszustandsvektoren, werden zu Verkehrsdomänen zusammengefaßt, um die Verkehrslage des ganzen Straßenverkehrsnetzes darstellen zu können. Für jede dieser Verkehrsdomänen ergibt sich deren Zustandsvektor durch vektorielle Addition und anschließende Normierung der Ortszustandsvektoren aller Orte, die in dieser Domäne zusammengefaßt sind.

Die definitive Festlegung des Verkehrszustandes an dem jeweils betrachteten Ort, die Zusammenfassung der Orte gleichen Verkehrszustandes zu Domänen und die Wertung der Domänen untereinander setzt voraus, daß ein objektiver Vergleich der Ortszustandsvektoren untereinander und der Domänenzustandsvektoren untereinander möglich ist. Erfindungsgemäß werden dazu probabilistische Ähnlichkeitsmaße verwendet.

Der Vergleich der Ortszustandsvektoren erfolgt komponentenweise auf der Basis der in den Vektorkomponenten enthaltenen Wahrscheinlichkeiten für das Vorhandensein der differenzierten Verkehrszustände an dem jeweils betrachteten Ort.

Vergleichsgrundlage ist ein Ähnlichkeitsmaß, wofür eine Metrik, das heißt ein Abstandsmaß verwendet wird. Auch für den Vergleich der Domänen untereinander wird erfindungsgemäß ein Ähnlichkeitsmaß benutzt. Das Ähnlichkeitsmaß für die Verkehrsdomänen ist ebenfalls eine Metrik, welche eine Zustandsvektormetrik auf den Domänenzustandsvektor verwendet und zusätzlich auch die örtliche Lage und Länge der betrachteten Domäne berücksichtigt.

Als Ähnlichkeitsmaß kann für beide Zustandsvektoren, den Ortszustandsvektor oder den Domänenzustandsvektor, der Zustand maximaler Wahrscheinlichkeit verwendet werden, insbesondere der Index der maximalen Komponente eines Zustandsvektors relativ zu den anderen Komponenten.

Als Metrik für die Zustandsvektoren kann auch die euklidische Vektornorm verwendet werden:  $\text{Summe}((\text{vek1} - \text{vek2})^2)$ .

Die Lage der Verkehrsdomänen, welche in die Metrik als Ähnlichkeitsmaß einbezogen wird, kann wie folgt berücksichtigt werden:

$\text{Betrag}(\text{mitte.domäne1} - \text{mitte.domäne2}) / (\text{laenge.domäne1} + \text{laenge.domäne2}) * 2$ . Als Metrik für die Länge der Verkehrsdomäne kann benutzt werden:

$\text{Betrag}(\text{laenge.domäne1} - \text{laenge.domäne2}) / \max(\text{laenge.domäne1}, \text{laenge.domäne2})$ .

## Dynamische Domänenbildung gleicher Verkehrszustände

**[0055]** Das erfindungsgemäße Verfahren zur Ermittlung von Domänen gleicher Verkehrszustände geht von Ortszustandsvektoren aus, welche z.Bsp. aus Merkmalsvektoren für jeden Meßort über eine Fuzzy-Klassifikation und eine nachfolgende gewichtete Extrapolation für jede wählbare Diskretisierung der Strecke zwischen den Meßpunkten, z.Bsp. alle 200m, ermittelt werden. Die Komponenten dieser Ortszustandsvektoren sind die Wahrscheinlichkeiten für das Vorliegen der differenzierten Verkehrszustände an jedem Ort. Die Ortszustandsvektoren sind also eine kontinuierliche Beschreibung der Verkehrszustände an jedem betrachteten Ort und das für jeden Ort des jeweiligen Streckenabschnitts und damit für das ganze Straßenverkehrsnetz (Fig. 9 links).

Orte mit ähnlichen Verkehrszuständen, das heißt ähnlichen Ortszustandsvektoren, werden zu Verkehrsdomänen zusammengefaßt, um die Verkehrslage des ganzen Straßenverkehrsnetzes darstellen zu können. Der Vergleich der Verkehrszustandsbeschreibungen durch die Ortszustandsvektoren erfolgt komponentenweise durch ein probabilistisches Ähnlichkeitsmaß, wofür eine Metrik, das heißt ein Abstandsmaß, verwendet wird.

Für jede dieser Verkehrsdomänen ergibt sich deren Domänenzustandsvektor durch vektorielle Addition und anschließender Normierung der Ortszustandsvektoren aller Orte, die in dieser Domäne zusammengefaßt sind.

Die Abgrenzung der Domänen untereinander erfolgt so, daß eine stabile Domänenverfolgung möglich ist. Dieses Segmentationsproblem wird wie folgt gelöst:

Für jeden Ort wird der mit der maximalen Wahrscheinlichkeit vorliegende Verkehrszustand aus dessen Zustandsvektor bestimmt.

Beginnend mit dem Ort, dessen Zustandsvektor z.Bsp. "Stau" anzeigt, wird in beiden Richtungen gesucht, ob die Komponenten der Zustandsvektoren der Nachbarorte mit der größten Wahrscheinlichkeit den gleichen Verkehrszustand ausweisen oder die Komponente mit dem zu vergleichenden Verkehrszustand höchstens um den Hysteresewert unter der Maximalkomponente liegt. Durch diese Hysterese werden Orte, deren Zustandsvektoren für sich alleine gesehen eher für einen anderen Verkehrszustand sprechen, aber nur wenig vom Zustand des Ausgangsortes abwei-

chen, auch zur "Staudomäne" gezählt. Der Zustandsvektor der so gefundenen Verkehrsdomäne ist die normierte Summe der Zustandsvektoren der Orte der Domäne. Als Norm wird beispielsweise die Summe der Komponenten gleich 1 gewählt. Der Schwerpunkt der Domäne ist die Summe der Ortskoordinaten der Domäne, die mit dem Betrag der entsprechenden lokalen Ortszustandsvektoren gewichtet sind.

**[0056]** In gleicher Weise werden die Domänen für die Klassen der Verkehrszustände stockend, dicht und frei gebildet. Alternativ kann die Domänenbildung auch mittels einer Clusteranalyse mit anschließendem Relaxationsprozeß über den Ort gefunden werden. Als Ähnlichkeitsmaß für die Clustersuche können die Abstände der Zustandsvektoren und deren Ortsabstand dienen. Resultat bei dieser Methode sind örtliche Ballungen mit jeweils ähnlichem Verkehrszustand innerhalb der Ballungen. Dieses Vorgehen ist jedoch wesentlich rechenaufwendiger.

Die Domänenliste kann aufgrund des Verfahrens für ihre Bildung benachbarte Domänen enthalten, die einander sehr ähnlich bezüglich ihres Domänenzustandsvektors sind. Diese werden zusammengefaßt. Die Domänenliste wird dazu je Straße nach den Ortsschwerpunkten der Domänen sortiert. Domänen werden dann zusammengefaßt, wenn sie nur durch eine Lücke bis zu einer maximalen Länge getrennt sind und ihre Zustandswahrscheinlichkeiten gleich sind oder höchstens um den festgelegten Hysteresebetrag gemäß obiger Darstellung abweichen.

Das Resultat ist eine aktuelle Liste von Verkehrsdomänen für eine Straße oder das Straßenverkehrsnetz. Das ganze Straßenverkehrsnetz wird in die Strecken der Domänen zerlegt. Die Domänen enthalten u.a. wieder eine kontinuierliche Zustandbeschreibung. Die Domäneneinteilung des Straßennetzes wird in zeitlichen Intervallen wiederholt bestimmt und aktualisiert (Fig. 9 rechts).

Das erfindungsgemäße Verfahren zur dynamischen Domänenbildung gleicher Verkehrszustände ist also charakterisiert durch die folgenden Verarbeitungsschritte:

- Domänenbildung
  - Zusammenfassung der Orte mit ähnlichen Zustandsvektoren mit "Hysterese" zu Domänen
  - Domänenzustandsvektoren: vektorielle Addition und Normierung der Zustandsvektoren der Orte der Domänen
  - Ermittlung: Domänenschwerpunkt, Domänenlänge
- Resultat: Domäneneinteilung des Straßenverkehrsnetzes.
- Permanente Aktualisierung in zeitlichen Intervallen

#### Dynamische Domänenverfolgung und Meldungsmanagement

**[0057]** Das erfindungsgemäße Verfahren zur dynamischen Verfolgung von Domänen gleicher Verkehrszustände geht von Ortszustandsvektoren aus, welche aus den Merkmalsvektoren für jeden Meßort und durch eine gewichtete Extrapolation für jede wählbare Diskretisierung der Strecke zwischen den Meßpunkten, z.Bsp. alle 200m, ermittelt werden. Die Komponenten dieser Ortszustandsvektoren sind die Wahrscheinlichkeiten für das Vorliegen der differenzierten Verkehrszustände an jedem Ort. Die Ortszustandsvektoren sind also eine kontinuierliche Beschreibung der Verkehrszustände an jedem betrachteten Ort und das für jeden Ort des jeweiligen Streckenabschnitts und damit für das ganze Straßenverkehrsnetz.

Orte mit ähnlichen Verkehrszuständen, das heißt ähnlichen Ortszustandsvektoren, werden zu Verkehrsdomänen zusammengefaßt, um die Verkehrslage des ganzen Straßenverkehrsnetzes darstellen zu können. Der Vergleich der Verkehrszustandsbeschreibungen durch die Ortszustandsvektoren erfolgt komponentenweise durch ein probabilistisches Ähnlichkeitsmaß, wofür eine Metrik, das heißt ein Abstandsmaß verwendet wird.

Für jede dieser Verkehrsdomänen ergibt sich deren Domänenzustandsvektor durch vektorielle Addition der Ortszustandsvektoren aller Orte, die in dieser Domäne zusammengefaßt sind.

Das Resultat ist eine aktuelle Liste von Verkehrsdomänen für eine Straße oder das Straßenverkehrsnetz. Das ganze Straßenverkehrsnetz wird in die Strecken der Domänen zerlegt. Die Domänenzustandsvektoren enthalten u.a. wieder eine kontinuierliche Zustandbeschreibung. Die Domäneneinteilung des Straßennetzes wird in zeitlichen Intervallen wiederholt bestimmt und aktualisiert.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur dynamischen Verfolgung dieser Domänen funktioniert wie folgt:

Die in einem Aktualisierungslauf ermittelten aktuellen Domänen werden mit den im vorausgegangenen Aktualisierungslauf festgestellten Domänen, die jeweils in einer Meldeliste gespeichert worden sind, verglichen. Dabei werden die neu gefundenen Domänen den bereits vorhandenen Domänen über ein Ähnlichkeitsmaß zugeordnet. Basis des Ähnlichkeitsmaßes sind die kontinuierlichen Domänenzustandsvektoren sowie Lage und Länge der Strecken, die von den Domänen eingenommen werden. Ist eine Mindestähnlichkeit festgestellt, erfolgt die Zuordnung der betrachteten Domänenstrecke zu der entsprechenden Meldung bzw. der bereits vorhandenen Domäne. Dies wird für alle neu ermittelten Domänen und bereits vorhandenen Meldungen ausgeführt.

**[0058]** Diese Zuordnung basierend auf einem kontinuierlichen Ähnlichkeitsmaß für die kontinuierlichen Domänen-

zustandsvektoren läßt auch einen zeitlich graduellen Übergang des Verkehrszustandes im Lebenslauf einer Meldung zu.

Nach diesen Zuordnungen zwischen Domänen und Meldungen wird jeweils geprüft, welche bisherigen Meldungen in der Meldungsliste bestehen bleiben, ob es Änderungsmeldungen gibt, weil sich die Lage und/oder die Länge der bisherigen Domänen durch die Zuordnung neu gefundener Domänen verändert haben, und welche nicht zuordenbaren Domänen neu gemeldet werden müssen. Für neue Domänen wird gegebenenfalls eine Neumeldung erzeugt, für zu bestehenden Meldungen zugeordnete Domänen werden die Meldungsattribute aktualisiert und gegebenenfalls Änderungsmeldungen erzeugt, und Meldungen, die keiner Domäne oder nur einer Domäne mit dem Verkehrszustand "frei" zugeordnet werden konnten, werden gelöscht.

Dabei kann über einen Hystereseparameter gesteuert werden, wann Neu- und Änderungsmeldungen als signifikant betrachtet und tatsächlich ausgeführt werden. Damit kann die Meldungszahl reduziert werden, ohne die interne Information für die Domänenbildung und -verfolgung des Verfahrens zu beschneiden.

Das Resultat des erfindungsgemäßen Verfahrens ist eine mit jedem Aktualisierungsschritt dynamische Verfolgung der Domänen mit ähnlichen Verkehrszuständen und eine ständig aktualisierte Meldungsliste.

Die Meldungsliste mit den in jeder Meldung enthaltenen Domäneneigenschaften ist die Basis für die Information über die Verkehrszustände auf dem Straßenverkehrsnetz. Diese Informationen werden bis zum nächsten Aktualisierungsschritt gespeichert und in geeigneter Weise den Fahrzeuglenkern zur Kenntnis gebracht, z.Bsp. über Mobilfunk oder Signalanlagen, oder sie werden für Steuerungseingriffe in den Verkehr bzw. die direkte Beeinflussung der Fahrzeuge genutzt. Auch können die Informationen, die an die Verkehrsteilnehmer weitergegeben werden, individuell in Abhängigkeit von deren jeweiligen Positionen und Zielen im Straßenverkehrsnetz abgegeben werden.

#### Visualisierung

**[0059]** Für den Funktionstest der Verfahren mit realen historischen Verkehrsdaten und zur optischen Überwachung der Verfahren während des Betriebs sowie für die bildhafte Darstellung der Verkehrszustände auf Straßenabschnitten werden die Meldungsergebnisse der Verfahren erfindungsgemäß visualisiert und mit den ermittelten Verkehrsmeßwerten verglichen. Dazu werden die Verkehrsmeßwerte in dem betrachteten Straßenabschnitt durch unterschiedliche Grauwerte über der Zeit dargestellt. In diesem Koordinatensystem werden auch die Meldungen der Verkehrszustände bzw. die Domänen dargestellt. Mit der über das Bild wandernden Zeitachse kann man die Verkehrslage und ihre Dynamik und aus der Kongruenz zwischen Messung und Meldung die Güte der Verfahrensergebnisse erkennen (Fig. 10).

Beispiele dazu; die ein realisierter Prototyp erzeugt, sind in Fig. 11 und Fig. 12 gezeigt.

**[0060]** Über den gesamten Ort wird der Algorithmus wiederholt über die Zeit ausgeführt. In den Figuren wandert der Aktualisierungsabschnitt also von links nach rechts. Dazu werden die gespeicherten Werte links des aktuellen Auswertzeitpunkts betrachtet. Die Ortsbereiche von gefundenen Domänen werden durch senkrechte Linien dargestellt. Sind für diese Domänen Meldungen aktiviert, so wird dies durch einen weißen Fleck im Domänenschwerpunkt gekennzeichnet. Ebenfalls wird dann eine Verbindungslinie zwischen den Domänenschwerpunkten gezeichnet, welche die zeitliche Zuordnung durch das Verfahren zur dynamischen Verfolgung der Domänen visualisieren. Die verschiedenen Grauwerte der Linien entsprechen unterschiedlichen Farben, mit denen die Zustände gestaut, stockend, dicht und frei wiedergegeben werden.

Ebenfalls zu sehen sind kleine Rauten, welche die lokalen Verkehrszustände an den Orten anzeigen, an denen direkt Verkehrsmeßwerte vorliegen.

Im Hintergrund sind grau die Verkehrsmeßwerte angezeigt. In den Figuren sind z.Bsp. die Geschwindigkeitswerte zu sehen, wobei dunkle Grauwerte niedrige Geschwindigkeiten wiedergeben, und entsprechend helle Grauwerte für hohe Geschwindigkeiten stehen. Man sieht sofort, wie die erzeugten Meldungen im Verhältnis zu den Verkehrsmeßwerten in Ort und Zeit liegen.

In der Verkehrssituation, die in Fig. 11 dargestellt ist, wird die Domäne links unten beispielsweise als dicht gemeldet. Diese Meldung ändert sich kurz danach in gestaut (unterste quer verlaufende Linie). Diese Domänen können bis zum Ende des betrachteten Zeitabschnitts über einen längeren Bereich in x und t stabil verfolgt werden.

Oberhalb, bei größeren x-Werten, wird etwas später eine Domäne stockenden Verkehrs erkannt (mittlere Linie), die sich ebenfalls sehr stabil über die Zeit verfolgen läßt.

Noch darüber wird etwas später eine kleinere Domäne dichten Verkehrs erkannt.

**[0061]** In Fig. 12 werden die erzeugten Meldungen in Überlagerung mit den gemessenen Geschwindigkeitswerten im Hintergrund zusammen dargestellt.

Diese Darstellungsart gibt einen optischen Eindruck über die Verkehrsdynamik und einen Überblick über die gesamte Verkehrslage des Straßenverkehrsnetzes.

Ein Prototyp des Verfahrens zur Visualisierung wurde realisiert und im praktischen Betrieb erprobt.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur dynamischen Verfolgung und Zuordnung von Domänen gleicher Verkehrszu-

stände und das Meldungsmanagement ist also charakterisiert durch die folgenden Verarbeitungsschritte:

- Dynamische Verfolgung der Domänen

- 5        - Bei jedem Aktualisierungsschritt:

Zuordnung der neuen Domänen über ein Ähnlichkeitsmaß zu den vorhandenen Meldungen

- 10        - Resultat: Liste der Domänen und Meldungsliste auf der jeweiligen Straße

- Meldungsmanagement

- Meldungsliste: Informationen über Verkehrszustände und Verkehrslage
- Aktualisierung der Meldungsliste bei jedem Aktualisierungslauf Falls Zuordnung neuer Domänen in der Mel-

- 15                - bisherige Meldung bleibt bestehen oder Änderungsmeldung bezüglich Lage, Länge und Verkehrszustand

- 20                - Falls Zuordnung in der Meldungsliste nicht möglich:

- Neumeldung oder Löschung

- Visualisierung

- 25                - Optische Darstellung der Kongruenz zwischen Verkehrsmeßwerten und Meldungen
- Dynamik der Domänen bzw. der Verkehrszustände

- Überblick über die gesamte Verkehrslage

30        Wesentliche Details

**[0062]** Gegenstand der Erfindung sind Verfahren, die sich unabhängig voneinander einsetzen lassen , aber auch zu einem Verkehrslage-Klassifikations- und Meldungssystem für den Straßenverkehr, vorzugsweise für Autobahnen und Schnellstraßen, kombinieren lassen.

35        Es besteht ein dringender Bedarf an rechtzeitigen und aktuellen Informationen über die differenzierten Verkehrszustände in örtlich möglichst genau bezeichneten Streckenabschnitten aus Sicherheitsgründen, aber auch für zahlreiche andere Dienste und gegebenenfalls für die direkte Fahrzeugbeeinflussung und Verkehrslenkung. Kernprobleme, welche dazu gelöst werden müssen, sind:

- 40        - Die Verarbeitung der Verkehrsmeßdaten von unterschiedlichen Sensoren, die ortsfest und mobil sind, synchrone, asynchrone und ereignisinduzierte Meßwerte liefern, lückenhaft und sehr verrauscht sind.
- Die Klassifizierung der verschiedenen Verkehrszustände: gestaut, stockend, dicht und frei, die nicht eindeutig definierbar sind, und die dynamische Bildung und Verfolgung von Domänen gleicher Verkehrszustände, mit hoher örtlicher und zeitlicher Auflösung, auch ohne Streckenkenntnisse und ohne Bindung an ein systembedingtes, streckenabhängiges Raster.
- 45        - Ein Meldungsmanagement, das stabil und konsistent die Verkehrszustände bzw. Verkehrsdomänen anzeigt, permanent aktualisiert wird und auch das Wachstum der Domänen, ihre Wanderung und Teilung sowie ihre Übergänge in die anderen klassifizierten Verkehrszustände bis zu ihrer Auflösung in der Klasse "frei" darstellt.

50        Die Betrachtung des Standes der Technik und die kritische Analyse der bekannten Verfahren zeigen, daß es für diese Problemstellung noch keine befriedigende Lösung gibt.

Das erfindungsgemäßen Verfahren lösen diese Aufgabenstellungen, die durch die folgenden wesentlichen Verarbeitungsschritte charakterisiert sind:

- 55        - Aus den Quelldaten der Sensoren wird die lokale Verkehrsdichte ermittelt und für jeden Meßort und Meßzeitpunkt ein Meßvektor gebildet.
- Die Komponenten der Meßvektoren werden über mit den Aktualisierungsschritten gleitende Historienfenster als gleitende Orts-Zeitfunktionen dargestellt.

- Es folgt eine komponentenweise orts-zeitliche Filterung der Meßvektoren, aufgrund der Analyse der Zeitfunktionen hier bevorzugt mittels Medianfilter, Bildung der Standardabweichung und der dilatierten Tophat-Funktion. Es ergibt sich an jedem Ort ein resultierender Merkmalsvektor, der die lokalen Verkehrssituationen beschreibt.
- Den orts-zeitlich gefilterten Meßgrößen werden nun über eine Fuzzy-Klassifikation Wahrscheinlichkeiten für die Verkehrszustände zugeordnet. Damit ist es möglich, diese Komponenten der Zustände zu summieren und normiert zu einem einzigen Zustandsvektor für jeden Ort konsistent zusammenzuführen.
- Sind an einem Ort zu wenig Meßwerte vorhanden, gibt es dort auch keinen Zustandsvektor, es sind Lücken vorhanden. Zur Überbrückung wird eine Extrapolation mit z.Bsp. einem lokalen Gaußfilter vorgenommen. Die Stabilität wird weiter erhöht durch eine gleitende, komponentenweise Mittelung der Zustandsvektoren von jeweils zwei zeitlichen Aktualisierungsschritten (Autoregressives-Filter).
- Orte mit ähnlichen Zustandsvektoren werden zu Domänen zusammengefaßt. Durch vektorielle Addition der lokalen Zustandsvektoren und anschließender Normierung wird der Domänenzustandsvektor ermittelt. Es resultiert eine aktuelle Liste von Domänen mit kontinuierlicher Verkehrszustandsinformation für jede betrachtete Straße.
- Bei jedem weiteren Aktualisierungsschritt werden die identifizierten Domänen den bereits vorhandenen Domänen der Meldungsliste über ein kontinuierliches Ähnlichkeitsmaß zugeordnet. Die Domänen werden also über die Zeit dynamisch verfolgt, wobei auch eine graduelle Zustandsänderung über die Zeit möglich und erlaubt ist.
- Nach dieser Zuordnung wird die Meldungsliste für die betrachtete Straße aktualisiert, und es werden je nach Signifikanz Neu-, Änderungs- und Löschmeldungen ausgeführt. Die Signifikanz wird über einen Parameter gesteuert, womit die Meldungszahl ohne Beeinträchtigung des Verfahrens reduziert werden kann. Es resultiert eine aktuelle Meldungsliste je Straße.
- Die Meldungslisten sind die Basis für das Meldungsmanagement. In ihnen werden die Informationen über die Verkehrszustände gespeichert und stehen für die genannten Anwendungen zur Verfügung.
- Die Ergebnisse werden visualisiert. Die Darstellung kann der Überwachung dienen und gibt einen optischen Eindruck über die Verkehrsdynamik und einen Überblick über die gesamte Verkehrslage.

Die Verfahren wurden erprobt.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Erstellung von die Verkehrslage eines Straßenverkehrsnetzes repräsentierenden Verkehrsinformationen, bei dem die Verkehrsinformationen durch von zu mehreren Zeitpunkten erfassten Verkehrsmeßwerten bearbeitet werden und die erfassten Verkehrsmeßwerte je betrachteter Straße über den Ort (x) und die Zeit (t) ihrer Erfassung je Meßwertkategorie in wiederholt aktualisierten Historienfenstern eingetragen und abgespeichert werden,  
**gekennzeichnet dadurch,**

a) daß die Historienfenster eine bestimmte Zeitspanne vom aktuellen Zeitpunkt der Erstellung der Verkehrsinformationen in die Vergangenheit reichen und Ort und Zeit in Intervallen diskretisieren, wobei die erfassten Verkehrsmeßwerte in den jeweils aktuell betrachteten einzelnen Historienfenstern über ihren Zeit- und Ortsverlauf mit verschiedenen Filtern gefiltert werden, wobei je Filter ein Merkmal gebildet wird, woraus sich zu jeweils einem Ort des Verkehrsnetzes ein sich auf diesen Ort beziehender, die Verkehrssituation lückenlos beschreibender Ortszustandsvektor durch Zusammenfassen der einzelnen Merkmale ergibt,

b) dass die Verkehrsmeßwerte zur Verkehrslage des Straßenverkehrsnetzes durch stationär an Straßen des Verkehrsnetzes angeordnete Sensoren erfasst und/oder durch mobile Sensoren in im Straßenverkehrsnetz fahrenden Fahrzeugen gemessen werden,

c) dass in den Historienfenstern für die einzelnen Meßwertkategorien ein- und zweidimensionale morphologische Filter über Ort und Zeit auf bezüglich Ort und/oder Zeit lückenhaft vorliegende Verkehrsmeßwerte angewendet werden und

d) dass es auf den die lokale Verkehrssituation beschreibenden Ortszustandsvektoren basierende, ausgearbeitete Verkehrsinformationen erstellt,

e) des weiteren, dass Orte mit ähnlichen Ortszustandsvektoren und somit ähnlichen Verkehrszuständen zu Verkehrsdomänen mit frei definierbaren Enden zusammengefaßt werden,

f) dass eine Zuordnung der aus jedem weiteren Aktualisierungsschritt entstehenden Domänen zu bereits vorhandenen Domänen über ein kontinuierliches Ähnlichkeitsmaß zum Zweck der dynamischen Verfolgung, insbesondere in Übergangssituationen, und damit der möglichen graduellen Zustandsänderung über die Zeit vorgenommen wird,

g) dass die Domäneneinteilung des Straßenverkehrsnetzes in zeitlichen Abständen wiederholt bestimmt wird,

h) dass auf den Domäneneinteilungen basierende Verkehrsmeldungen erstellt werden  
i) und dass die Verkehrsinformationen mittels eines Senders oder eines Zugangs zu einem Sender zum Aus-  
senden von Verkehrsinformationen insbesondere per Mobilfunk an Verkehrsteilnehmer oder einen Service  
provider ausgegeben werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1,  
zur Erfassung des Verkehrszustandes eines Straßenverkehrsnetzes durch Bildung von Ortszustandsvektoren aus  
die Verkehrssituation an jedem Meßort beschreibenden Merkmalsvektoren oder direkt aus Verkehrsmeßwerten  
an den Meßorten

- wobei für jeden Ort die Merkmale, welche die Verkehrssituation an diesem Orten beschreiben, durch eine  
Fuzzy-Diskriminanzfunktion je Merkmal für jeden möglichen zu klassifizierenden Verkehrszustand (Fig. 6: ge-  
staut, stockend, dicht, frei) bewertet werden, worauf sich ein wertekontinuierlicher Zustandsvektor je Ort und  
je Merkmal ergibt (Fig. 7 rechts), dessen Komponenten die Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen eines Ver-  
kehrszustandes quantifizieren,
- worauf vorhandene Zustandsvektoren je Ort zu einem einzigen Zustandsvektor je Ort zusammengefaßt wer-  
den und der daraus resultierende Zustandsvektor je Ort als Ortszustandsvektor normiert wird (Fig. 7),
- wobei auf den Ortszustandsvektoren basierende, ausgebbare Verkehrsinformationen erstellt werden.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, zur Erstellung einer die Verkehrslage eines Straßenver-  
kehrsnetzes repräsentierenden lückenlosen Verkehrszustandsbeschreibung in Form von Ortszustandsvektoren.  
deren Komponenten die Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen eines Verkehrszustandes quantifizieren,

- wobei Lücken in der Ortszustandsbeschreibung von Orten aufgrund von an diesen Orten fehlenden Verkehrs-  
meßwerten durch eine Extrapolation der vorhandenen Ortszustandsvektoren durch eine Filterung in Form  
einer Faltung über die vorhandenen Ortszustandsvektoren überbrückt werden (Fig. 8),
- wobei aus der nun lückenlosen Beschreibung der Verkehrszustände über den Ort durch Ortszustandsvektoren  
ausgebbare Verkehrsinformationen erstellt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 1,  
zum Vergleich von Verkehrsinformationen in Form von Zustandsvektoren, deren Komponenten die Wahrschein-  
lichkeit für das Vorliegen eines Verkehrszustandes quantifizieren,

- wobei die Zustandsvektoren die Verkehrslage eines Straßenverkehrsnetzes beschreiben, durch die Ähnlich-  
keit von Verkehrszuständen repräsentierende Ähnlichkeitsmaße,
- wobei als Ähnlichkeitsmaß zwischen zwei Zustandsvektoren eine Metrik verwendet wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1-4,  
zur stetigen dynamischen Verfolgung von durch innerhalb einer Domäne gleiche Verkehrszustände charaktéri-  
sierten Domänen und Zuordnung von Domänen zu bereits durch frühere Verkehrsmeldungen ausgewiesene Do-  
mänen in einem Straßenverkehrsnetz,

- wobei die Domäneneinteilung des Straßennetzes in zeitlichen Abständen wiederholt bestimmt wird, die zum  
aktuellen Zeitpunkt gefundenen Domänen je betrachteter Straße über ein die zu den Domänen gehörenden  
Strecken- und Zustandsinformationen kontinuierlich bewertendes Ähnlichkeitsmaß mit den im vorherigen Aus-  
wertungszyklus ermittelten Domänen der jeweiligen Straßen verglichen werden (Fig. 10),
- worauf gegenüber dem vorherigen Auswertungszyklus durch ein Meldungsmanagement für neu hinzugekomme-  
ne Domänen Neumeldungen, für verschwundene Domänen Löschmeldungen und für

alle Domänen, die einer bereits gemeldeten Strecke zugeordnet werden konnten, Änderungsmeldungen an die  
Verkehrsteilnehmer oder Telematikdienstleister versendet werden, wobei hierauf erstellte Streckeninformationen  
bestehend aus Lage, Zustand und Länge der Verkehrsdomänen auf jeweils einer gesamten betrachteten Straße  
zur Generierung der ausgegebenen Verkehrsinformationen in den Neu-, Änderungs- und Löschmeldungen ver-  
wendet werden.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1-5,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**daß** aus den Ortszustandsvektoren der zusammengefaßten Orte ein die Verkehrstage dieser Domänen repräsen-

tierender Domänenzustandsvektor berechnet und einer Domäne zugewiesen wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1-6,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**daß** für die Berechnung des jeweiligen Domänenzustandsvektors der Mittelwert der Ortszustandsvektoren der in dieser Domäne zusammengefaßten Orte verwendet wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1-7,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**daß** die Verkehrsinformationen zur direkten Übermittlung an Verkehrsteilnehmer in Form von Neu-, Änderungs- und Löschmeldungen erstellt werden.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1-8,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**daß** die Domäneneinteilung des Straßennetzes in zeitlichen Abständen wiederholt bestimmt wird.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**daß** die Verkehrsinformationen in Form von Neu-, Änderungs- und Löschmeldungen in einer ohne weitere Verarbeitung tauglichen Form erstellt werden zur indirekten Verkehrsbeeinflussung und/oder zur direkten Verkehrslenkung.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**daß dadurch gekennzeichnet, daß**  
die Verkehrsinformationen verwendet werden zur Erstellung von Meldungen an Verkehrsteilnehmer im Straßenverkehrsnetz betreffend den aktuellen Verkehrszustand und/oder einen prognostizierten Verkehrszustand und/oder Navigationsanweisungen unter Berücksichtigung des aktuellen und/oder prognostizierten Verkehrszustandes und/oder Geschwindigkeitsanweisungen.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**daß** die Verkehrsmeßwerte von zumindest einigen Sensoren zueinander zeitlich synchron in regulären Zeitintervallen gemessen werden.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, daß** Verkehrsmeßwerte zumindest von einigen Sensoren ereignisinduziert nur bei Eintritt vorgegebener Ereignisse zur Verfügung stehen oder gemessen werden.
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche.  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**daß** zeitlich asynchrone Verkehrsmeßwerte von zumindest einigen Sensoren vorliegen.
15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche.  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**daß** Merkmale aus Verkehrsdaten verschiedenen physikalischen Inhalts (Fluß  $f$ , Dichte  $d$ , Geschwindigkeit  $v$  in Fig. 4)) gebildet und konsistent über wertekontinuierliche Wahrscheinlichkeiten als Klassifikationsergebnis zusammengeführt werden.
16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**daß** das zu klassifizierende Merkmal Geschwindigkeit durch abgeleitete Werte berechnet wird, insbesondere durch Reisegeschwindigkeiten.
17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**daß** als Filterfunktion zur Berechnung eines Merkmals für stockenden Verkehr eine morphologische Tophat-Filterung der Verkehrsmeßwerte in der Meßwertkategorie Geschwindigkeit verwendet wird.

18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**daß** als Filterfunktion zur Glättung der Verkehrsmeßwerte in den Meßwertkategorien Geschwindigkeit und Dichte eine morphologische Medianfilterung verwendet wird.
19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**daß** die örtliche Auflösung über die Ortsdiskretisierung der Historienfenster und der nachfolgenden Verarbeitung frei wählbar ist.
20. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**daß** Zustandsvektoren aller Merkmale je Ort zum Ortszustandsvektor je Ort zusammengefaßt werden (Fig. 7).
21. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**daß** auch aus anderen Quellen verfügbare Zustandsvektoren je Ort bei der Zusammenfassung zum Ortszustandsvektor je Ort unter Berücksichtigung von Gewichtungsfaktoren eingehen,
22. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, daß**
  - die Zusammenfassung der merkmalsbasierten Zustandsvektoren je Ort durch Summation dieser Vektoren je Ort erfolgt und dann eine Normierung auf Summe = 1 vorgenommen wird, oder
  - die Zusammenfassung der merkmalsbasierten Zustandsvektoren je Ort durch ein komponentenweises Produkt dieser Vektoren je Ort erfolgt und dann eine Normierung auf Betrag = 1 vorgenommen wird,
23. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**daß** die Fuzzy-Diskriminanzfunktion auf Orte angewendet wird, welche unabhängig von einer festen Streckeneinteilung von Straßenverkehrsnetz-Segmenten einer digitalen Karte sind.
24. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**daß** über eine Schwelle für den Betrag der extrapolierten Zustandsvektoren die maximale Extrapolationsweite begrenzt wird.
25. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**daß** die Filterung durch einen Gaußfilter (Faltung mit einer Gaußkurve) erfolgt.
26. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**daß** je betrachteter Straße eine gleitende zeitliche Glättung der aktuell ermittelten extrapolierten Zustandsvektoren je Ort mit den im vorangegangenen Aktualisierungsschritt für diese Straße je Ort ermittelten extrapolierten Ortszustandsvektoren vorgenommen wird.
27. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**daß** für diese Glättung ein Autoregressives Filter (AR) eingesetzt wird.
28. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**daß** der Filterparameter des AR-Fitters in Abhängigkeit von der Länge der Aktualisierungsintervalle so umgerechnet wird, daß die Filterung unabhängig von den gewählten Aktualisierungsintervallen ist.
29. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**



**daß** als Ähnlichkeitsmaß für die Ortszustandsvektoren der Zustand maximaler Wahrscheinlichkeit verwendet wird, insbesondere der Index der maximalen Komponente eines Zustandsvektors relativ zu den anderen Komponenten.

- 5     **30.** Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
       **dadurch gekennzeichnet,**  
       **daß** als Metrik für die Ortszustandsvektoren die euklidische Vektormorm verwendet wird.
  
- 10    **31.** Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
       **dadurch gekennzeichnet,**  
       **daß** als Ähnlichkeitsmaß für Verkehrsdomänen eine Metrik verwendet wird, welche eine Metrik für Zustandsvektoren auf die Domänenzustandsvektoren anwendet und auch zumindest die örtliche Lage und/oder Länge der Domänen berücksichtigt.
  
- 15    **32.** Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche.  
       **dadurch gekennzeichnet,**  
       **daß** das Domänenwachstumsverfahren direkt auf die wertekontinuuiertichen extrapolierten Zustandsvektoren der Orte einer betrachteten Strecke angewandt wird.
  
- 20    **33.** Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
       **dadurch gekennzeichnet,**  
       **daß** die Verkehrssituation durch eine Verkehrsdomäne angegeben wird, welche die Lage im Streckennetz, die Länge sowie den Verkehrszustand in insbesondere vier Stufen (gestaut, stockend, dicht, frei) als Wahrscheinlichkeiten in Form des Domänenzustandsvektors enthält.
  
- 25    **34.** Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
       **dadurch gekennzeichnet,**  
       **daß** die Domänenbildung auch Orte, deren Zustandsvektor für sich alleine gesehen einen anderen Zustand als den der hinsichtlich der Domänenbildung betrachteten Domäne signalisiert, dieser Domäne zuordnen kann.
  
- 30    **35.** Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
       **dadurch gekennzeichnet,**  
       **daß** die Komponenten der Ortszustandsvektoren als kontinuierliche Wahrscheinlichkeitswerte anstatt diskreten Werten (0/1) für die an diesen Orten herrschenden Verkehrszustände interpretiert werden,
  
- 35    **36.** Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
       **dadurch gekennzeichnet,**  
       **daß** durch einen die Zustandsvektorkomponenten betreffenden zu addierenden Hysteresewert der Grad der Zusammenfassung von Orten mit einer anderen maximalen Zustandskomponente als der, die für die Domänenbildung gerade betrachtet wird, gesteuert wird.
  
- 40    **37.** Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
       **dadurch gekennzeichnet,**  
       **daß** über einen Rückgriff auf zurückliegende Verkehrsmeßwerte über ein örtliches Gedächtnis für die eingegangenen Verkehrsmeßwerte zwischen "kein Verkehr" und "Totalstau" unterschieden wird.
  
- 45    **38.** Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
       **dadurch gekennzeichnet,**  
       **daß** für die Zuordnung von neu ermittelten Domäneninformationen zu bereits vorliegenden Domäneninformationen ein Ähnlichkeitsmaß verwendet wird, das kontinuierlich die Länge, den Ort und den Zustandsvektor dieser Domänen berücksichtigt.
  
- 50    **39.** Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
       **dadurch gekennzeichnet,**  
       **daß** die Sensitivität des Verfahrens hinsichtlich der Berücksichtigung schneller Änderungen im Verkehrsgeschehen bei der Erstellung von Verkehrsinformationen in Form der Merkmalsvektoren über die Filterparameter der **Meßwerthiter** als auch des autoregressiven Filters einstellbar ist.
  
- 55    **40.** Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

**dadurch gekennzeichnet,**

**daß** die Sensitivität des Verfahrens hinsichtlich der Ortsauflösung der extrapolierten Ortszustandsbeschreibung über die Filterparameter des Extrapolationsfilters einstellbar ist.

- 5     **41.** Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**daß** die Sensitivität des Verfahrens hinsichtlich der Tendenz, Domänen zusammenzufassen und so die Meldungs-  
zahl zu reduzieren, über die Filterparameter des Extrapolationsfilters einstellbar ist.
- 10    **42.** Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**daß** Zustandsübergänge während des Lebenslaufes einer Meldung zugelassen werden.
- 15    **43.** Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**daß** über Signifikanzkriterien von Änderungen bzgl. Lage, Länge und Verkehrszustand der Meldungsinformationen  
die Zahl der erzeugten Meldungen bei Bedarf reduziert wird.
- 20    **44.** Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**daß** die Ausgabe von Verkehrsinformationen ereignisinduziert im Falle bestimmter vorgegebener Ereignisse er-  
folgt.
- 25    **45.** Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**daß** eine Visualisierung der Verkehrslage sowie deren Dynamik und zur Betriebsüberwachung in einem Orts-/  
Zeit-Koordinatensystem die Meldungsergebnisse in Kongruenz mit den Meßdaten wiedergegeben werden (Fig.  
10, Fig. 11, Fig. 12).
- 30    **46.** Verkehrstagefassungszentrale, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehen-  
den Ansprüche, mit
- einer Eingabeeinrichtung zur Eingabe von Verkehrsmeßwerten in die Verkehrslageerfassungszentrale,
  - einem Speicher für eingegebene Verkehrsmeßwerte,
  - 35    - einer Ausgabereinrichtung zur Ausgabe von Verkehrsinformationen an Verkehrsteilnehmer,
  - einer Verkehrsmeßdaten-Bearbeitungs-Vorrichtung, die so ausgebildet ist, daß sie nach einem der Ansprüche  
1 bis 45 arbeitet.
- 40    **47.** Verkehrslageerfassungszentrale nach Anspruch 46,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**daß** die Eingabeeinrichtung ein Empfänger oder Zugang zu einem Empfänger zum Empfang von von den Sensoren  
insbesondere per Mobilfunk gesendeten Verkehrsmeßwerten ist.
- 45    **48.** Verkehrslageerfassungszentrale nach Anspruch 46 oder 47,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**daß** die Ausgabereinrichtung ein Sender oder ein Zugang zu einem Sender zum Aussenden von Verkehrsinforma-  
tionen insbesondere per Mobilfunk an Verkehrsteilnehmer oder einen Serviceprovider ist.

## 50     **Claims**

1. Method of producing traffic information representing the traffic situation in a road traffic network, in which the traffic  
information is processed by measured traffic values detected at several different times, and the detected measured  
traffic values for each road observed are entered and stored - in terms of the place (x) and time (t) of their detection  
55    for each measured value category - in repeatedly updated history windows,  
characterised

a) in that the history windows extend for a specific period into the past from the current time of the production

of the traffic information, and discretise the time and place at intervals, whereby the detected measured traffic values in the individual history windows which are currently being viewed are filtered, using a variety of filters, in terms of their time and location progressions, a characteristic being formed for each filter from which, for a single location in the road network in each case, there is produced - by combining the individual characteristics - a location status vector which relates to this location and describes the traffic situation comprehensively,

b) in that the measured traffic values of the traffic situation of the road traffic network are recorded by fixed sensors positioned along roads in the road network, and/or measured by mobile sensors within vehicles travelling on the road traffic network,

c) in that, in the history windows for the individual measurement categories, one- and two-dimensional morphological filters for place and time are applied to the measured traffic values relating to place and/or time which are present in incomplete form,

d) in that it produces traffic information which is capable of being issued, based on the location status vectors which describe the local traffic situation,

e) furthermore in that locations with similar location status vectors, and thus similar traffic statuses, are combined into traffic domains with freely definable ends,

f) in that an allocation to existing domains is carried out on the domains arising from each further update stage, by means of a continuous similarity measure, for the purpose of dynamic tracking - in particular in transitional situations - and so that a possible gradual change in status can take place over time,

g) in that the domain partitioning of the road traffic network is specified repeatedly at intervals of time,

h) in that traffic reports are produced on the basis of the domain partitioning

i) and in that the traffic information is issued, by means of a transmitter or by access to a transmitter for broadcasting traffic information, in particular by mobile phone, to road users or to a service provider.

## 2. Method as in Claim 1

for detecting the traffic status of a road traffic network by forming location status vectors from the characteristics vectors that describe the traffic situation at each measuring location, or directly from measured traffic values at the measuring locations,

- whereby, for each location, the characteristics that describe the traffic situation at this location are evaluated by means of a fuzzy discrimination function per characteristic for each possible classifiable traffic status (Fig. 6: jammed, stop-start, heavy, free-moving), the result being a value-continuous status vector for each location and each characteristic (Fig. 7, right), the components of which quantify the probability of the presence of a traffic status,
- after which, existing status vectors for each location are combined into a single status vector for each location, and the resulting status vector for each location is standardised as the location status vector (Fig. 7),
- whereby traffic information which is capable of being issued is produced on the basis of the location status vectors.

## 3. Method as in one of the preceding Claims

for producing a comprehensive traffic status description representing the traffic situation in a road traffic network, in the form of location status vectors, the components of which quantify the probability of the presence of a traffic status,

- whereby gaps in the location status descriptions of locations (caused by the absence of measured traffic values at these locations) are covered by extrapolating the existing location status vectors by means of a filtering process in the form of a convolution over the existing location status vectors (Fig. 8),
- whereby traffic information which is capable of being issued can be produced by means of traffic status vectors from the now complete description of traffic conditions across the location.

## 4. Method as in Claim 1

for comparing traffic information in the form of status vectors, the components of which quantify the probability of the presence of a traffic status,

- whereby the status vectors describe the traffic situation of a road traffic network by means of similarity measures which represent the similarity of traffic statuses,
- whereby metrics are used as the similarity measure between two status vectors.

## 5. Method as in one of the preceding Claims 1-4,

for the constant dynamic tracking of domains **characterised by** the same traffic statuses within a domain, and the allocation of domains to domains, already identified by earlier traffic messages, in a road traffic network,

- whereby the division into domains of the road network is established repeatedly at intervals of time, the domains found at the current time for each road under observation being compared, by means of a similarity measure which continuously evaluates the section and status information belonging to the domains, with the domains established in the previous evaluation cycle of the roads concerned (Fig. 10),
- after which new messages are sent, using a message management system, for domains which have been newly added compared with the previous evaluation cycle, cancel messages are sent for domains which have disappeared, and

change messages are sent for all domains which it has been possible to allocate to a section which has already been reported, the messages being sent to the road users or telematics service providers, section information produced on this basis - consisting of situation, status and length of the traffic domains of an entire observed road in each case - being used to generate the traffic information which is issued in the new, change and cancel messages.

6. Method as in one of the preceding Claims 1-5,

**characterised in that**

a domain status vector, representing the traffic situation in these domains, is calculated from the location status vectors of the combined locations and is assigned to a domain.

7. Method as in one of the preceding Claims 1-6,

**characterised in that**

the average value of the location status vectors of the locations combined in this domain is used to calculate the relevant domain status vector.

8. Method as in one of the preceding Claims 1-7,

**characterised in that**

the traffic information is produced for direct transmission to road users in the form of new, change and cancel messages.

9. Method as in one of the preceding Claims 1-8,

**characterised in that**

the division into domains of the road network is established repeatedly at intervals of time.

10. Method as in one of the preceding Claims,

**characterised in that**

the traffic information is produced - in the form of new, change and cancel messages

- in a form which is suitable, without any further processing, to indirectly influence traffic and/or to directly manage the traffic.

11. Method as in one of the preceding Claims,

**characterised in that**

the traffic information is used to produce messages to road users in the road network relating to the current traffic status and/or a predicted traffic status and/or instructions for navigation, taking into account the current and/or predicted traffic status and/or speed instructions.

12. Method as in one of the preceding Claims,

**characterised in that**

the measured traffic values from at least some of the sensors are measured, chronologically synchronised with each other, at regular intervals of time.

13. Method as in one of the preceding Claims,

**characterised in that**

measured traffic values, at least from some of the sensors, are induced by events and are available or measured only when predetermined events occur.

14. Method as in one of the preceding Claims,  
**characterised in that**  
chronologically asynchronous measured traffic values are present from at least some of the sensors.
- 5 15. Method as in one of the preceding Claims,  
**characterised in that**  
characteristics from traffic data with different physical contents (flow  $f$ , density  $d$ , speed  $v$  in Fig. 4) are formed and brought together as a classification event consistently over value-continuous probabilities.
- 10 16. Method as in one of the preceding Claims,  
**characterised in that**  
the speed characteristic which is to be classified is calculated by derived values, in particular by travel speeds.
- 15 17. Method as in one of the preceding Claims,  
**characterised in that,**  
as a filtering function for calculating a characteristic for stop-start traffic, a morphological top-hat filtering of measured traffic values is used in the speed measured value category.
- 20 18. Method as in one of the preceding Claims,  
**characterised in that,**  
as a filtering function for smoothing out the measured traffic values in the speed and density measured value categories, a morphological median filtering process is used.
- 25 19. Method as in one of the preceding Claims,  
**characterised in that**  
local resolution can be selected at will for the local discretising of the history windows and subsequent processing.
- 30 20. Method as in one of the preceding Claims,  
**characterised in that**  
status vectors of all characteristics for each location are combined to form the location status vector for each location (Fig. 7).
- 35 21. Method as in one of the preceding Claims,  
**characterised in that**  
status vectors available also from other sources for each location are included in the process of combination into location status vectors, taking weighting factors into account.
- 40 22. Method as in one of the preceding Claims,  
**characterised in that**
  - the combining of the characteristics-based status vectors for each location is effected by adding these vectors for each location, and then a standardisation on to total = 1 is carried out, or
  - the combining of the characteristics-based status vectors for each location is effected by a component-wise product of these vectors for each location, and then a standardisation on to value = 1 is carried out.
- 45 23. Method as in one of the preceding Claims,  
**characterised in that**  
the fuzzy discrimination function is applied to locations which are independent of the fixed sectional division of the road traffic network segments of a digital map.
- 50 24. Method as in one of the preceding Claims,  
**characterised in that,**  
above a threshold for the amount of the extrapolated status vectors, the maximum extrapolation breadth is restricted.
- 55 25. Method as in one of the preceding Claims,  
**characterised in that**  
the filtering process is carried out by means of a Gaussian filter (convolution with a Gaussian curve).

26. Method as in one of the preceding Claims,  
**characterised in that,**  
 for each road under observation, a sliding chronological smoothing of the currently established status vectors for each location is carried out with the extrapolated location status vectors established for each location for that road at the previous updating stage.
27. Method as in one of the preceding Claims,  
**characterised in that**  
 an autoregressive (AR) filter is used for this smoothing process.
28. Method as in one of the preceding Claims,  
**characterised in that**  
 the filter parameters of the AR filter are converted in dependence on the length of the update intervals in such a way that the filtering process is independent of the update intervals selected.
29. Method as in one of the preceding Claims,  
**characterised in that**  
 the status of maximum probability is used as the similarity measure for the location status vectors, in particular the index of the maximum components of a status vector relative to the other components.
30. Method as in one of the preceding Claims,  
**characterised in that**  
 the euclidian vector norm is used as the metrics for the location status vectors.
31. Method as in one of the preceding Claims,  
**characterised in that**  
 the metrics used as the similarity measure for traffic domains apply metrics for status vectors to the domain status vectors, and also take into account at least the local situation and/or the length of the domains.
32. Method as in one of the preceding Claims,  
**characterised in that**  
 the domain growth process is applied directly to the value-continuous extrapolated status vectors of the locations of a road which is being observed.
33. Method as in one of the preceding Claims,  
**characterised in that**  
 the traffic situation is indicated by a traffic domain which contains the position in the section network, the length, and the traffic status in - in particular - four stages (jammed, stop-start, heavy, free-moving) as probabilities in the form of the domain status vector.
34. Method as in one of the preceding Claims,  
**characterised in that**  
 where there are locations whose status vector in itself indicates a different status from that of the domains observed for the purpose of domain formation, the domain formation is able to allocate these locations to these domains.
35. Method as in one of the preceding Claims,  
**characterised in that**  
 the components of the location status vectors are interpreted as continuous probability values instead of discrete values (0/1) for traffic statuses prevailing at these locations.
36. Method as in one of the preceding Claims,  
**characterised in that,**  
 by means of a hysteresis value - relating to the status vector components - which is to be added, the level of combination of locations is controlled with a different maximum status component from that which is currently being considered for domain formation.
37. Method as in one of the preceding Claims,  
**characterised in that,**

by referring to earlier measured traffic values, a distinction is made, using a local memory for the measured traffic values already received, between "no traffic" and "complete blockage".

38. Method as in one of the preceding Claims,

**characterised in that,**

for the allocation of newly established domain information to existing domain information, a similarity measure is used which continuously takes into account the length, location and status vector of these domains.

39. Method as in one of the preceding Claims,

**characterised in that**

the sensitivity of the method with regard to the consideration of rapid changes in traffic events when producing traffic information in the form of characteristics vectors can be adjusted by means of the filter parameters of the measured value filters and of the autoregressive filter.

40. Method as in one of the preceding Claims,

**characterised in that**

the sensitivity of the method with regard to the local resolution of the extrapolated location status description can be adjusted by means of the filter parameters of the extrapolation filter.

41. Method as in one of the preceding Claims,

**characterised in that**

the sensitivity of the method with regard to the tendency to combine domains, and thus to reduce the number of messages, can be adjusted by means of the filter parameters of the extrapolation filter.

42. Method as in one of the preceding Claims,

**characterised in that**

status transitions during the life of a message are permitted.

43. Method as in one of the preceding Claims,

**characterised in that**

the number of messages generated can be reduced if necessary by means of the significance criteria of changes relating to position, length and traffic status of the message information.

44. Method as in one of the preceding Claims,

**characterised in that**

the issue of traffic information is effected on an event-induced basis in the case of certain predetermined events.

45. Method as in one of the preceding Claims,

**characterised in that**

a visualisation is provided of the traffic situation and of its dynamics, and the message results are provided in congruence with the measured data for the purpose of monitoring operations in a place-time coordinate system (Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12).

46. Central unit for detecting traffic situations, in particular for implementing the method as in one of the preceding Claims, having

- an input device for entering measured traffic values into the traffic situation detection centre,
- a memory for measured traffic values entered,
- an output device for issuing traffic information to road users,
- a device for processing measured traffic data, designed in such a way that it operates in accordance with one of Claims 1 to 45.

47. Central unit for detecting traffic situations as in Claim 46,

**characterised in that**

the input device is a receiver, or access to a receiver, for receiving measured traffic values transmitted by the sensors, in particular by means of mobile telephony.

48. Central unit for detecting traffic situations as in Claim 46 or 47,

**characterised in that**

the output device is a transmitter, or access to a transmitter, for transmitting traffic information, in particular by means of mobile telephony, to road users or to a service provider.

**Revendications**

1. Procédé pour produire des informations de circulation représentant la situation du trafic d'un réseau de circulation routière, dans lequel les informations de circulation provenant de valeurs de mesure de trafic obtenues à plusieurs instants sont traitées et les valeurs de mesure de trafic mesurées sont inscrites et mises en mémoire, par route considérée, en fonction du lieu (x) et du temps (t) de leur mesure, par catégorie de valeur de mesure, dans des fenêtres historiques actualisées de manière répétée,

**caractérisé en ce que**

a) les fenêtres historiques couvrent un certain laps de temps à partir de l'instant actuel de l'établissement des informations de circulation jusque dans le passé et discrétisent le lieu et le temps en intervalles, les valeurs de mesure de trafic obtenues étant filtrées avec différents filtres dans les différentes fenêtres historiques actuellement considérées sur leur tracé de temps et de lieu, une caractéristique étant formée par filtre, d'où il résulte, en un lieu du réseau routier, un vecteur d'état de lieu se rapportant à ce lieu, décrivant sans lacune la situation du trafic par la réunion des différentes caractéristiques,

b) les valeurs de mesure de trafic relatives à la situation du trafic du réseau de circulation routière sont déterminées par des capteurs disposés de manière fixe sur des routes du réseau routier et/ou mesurées par des capteurs mobiles à bord de véhicules circulant dans le réseau de circulation routière,

c) des filtres morphologiques à une et deux dimensions dans les fenêtres historiques pour les différentes catégories de valeurs de mesure en fonction du lieu et du temps sont appliqués à des valeurs de mesure de trafic existantes présentant des lacunes en ce qui concerne le lieu et/ou le temps, et

d) il produit des informations de circulation basées sur les vecteurs d'état de lieu décrivant la situation locale du trafic et pouvant être sorties,

e) en outre, des lieux ayant des vecteurs d'état de lieu identiques et, par conséquent, des états de circulation identiques, sont réunis en domaines de circulation ayant des extrémités librement définissables,

f) une association des domaines résultant de chaque opération d'actualisation ultérieure à des domaines déjà existants est effectuée par l'intermédiaire d'une mesure de similitude continue à des fins de suivi dynamique, en particulier dans des situations de transition et, par conséquent, de modification d'état graduelle éventuelle dans le temps,

g) la répartition en domaines du réseau de circulation routière est déterminée de manière répétée à intervalles de temps donnés,

h) des messages de circulation basés sur les répartitions en domaines sont produits,

i) et les informations de circulation sont émises au moyen d'un émetteur ou d'un accès à un émetteur pour l'émission d'informations de circulation, en particulier par radiotéléphonie mobile, à des usagers de la route ou à un prestataire de services.

2. Procédé selon la revendication 1 pour déterminer l'état de la circulation d'un réseau de circulation routière par formation de vecteurs d'état de lieu à partir de vecteurs de caractéristiques décrivant la situation du trafic en chaque lieu de mesure ou directement à partir de valeurs de mesure de trafic sur les lieux de mesure,

- les caractéristiques pour chaque lieu, lesquelles décrivent la situation du trafic en ce lieu, étant évaluées par une fonction discriminante floue par caractéristique, pour chaque état de trafic possible à classifier (fig. 6 : bouchon, ralentissement, dense, fluide), d'où il résulte un vecteur d'état continu en valeurs par lieu et par caractéristique (fig. 7, à droite), dont les composantes quantifient la probabilité de l'existence d'un état de circulation,

- après quoi les vecteurs d'état existants par lieu sont réunis en un seul vecteur d'état par lieu et le vecteur d'état en résultant par lieu est normalisé en tant que vecteur d'état local (fig. 7),

- des informations de circulation, basées sur les vecteurs d'état de lieu et pouvant être sorties, étant produites.

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes pour produire une description d'état de circulation sans lacune représentant la situation du trafic d'un réseau de circulation routière sous la forme de vecteurs d'état de lieu, dont les composantes quantifient la probabilité de l'existence d'un état de la circulation,



- des lacunes dans la description d'état de lieux dues à l'absence de valeurs de mesure de trafic en ces lieux étant comblées par une extrapolation des vecteurs d'état de lieu existants par un filtrage sous la forme d'une convolution sur les vecteurs d'état de lieu existants (fig. 8),
  - des informations de circulation étant produites, à partir de la description désormais sans lacune des états de circulation, lesquelles peuvent être émises en fonction du lieu par des vecteurs d'état local.
- 5
4. Procédé selon la revendication 1 pour comparer des informations de circulation sous la forme de vecteurs d'état, dont les composantes quantifient la probabilité de l'existence d'un état de circulation,
- 10
- les vecteurs d'état décrivant la situation du trafic d'un réseau de circulation routière par des mesures de similitude représentant la similitude d'états du trafic,
  - une métrique étant utilisée comme mesure de similitude entre deux vecteurs d'état.
- 15
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4 précédentes pour le suivi dynamique constant de domaines **caractérisés par** des états de trafic identiques à l'intérieur d'un domaine et pour l'association de domaines à des domaines déjà indiqués par des messages antérieurs relatifs à la circulation dans un réseau de circulation routière,
- 20
- la répartition en domaines du réseau routier étant déterminée de manière répétée à intervalles de temps donnés, les domaines trouvés au moment actuel par route considérée étant comparés avec les domaines des routes concernées obtenus au cours du cycle d'évaluation précédent (Fig. 10), par l'intermédiaire d'une mesure de similitude évaluant en continu les informations de section et d'état associées aux domaines,
  - après quoi, par rapport au cycle d'évaluation précédent, par une gestion des messages, des messages nouveaux pour des domaines nouvellement ajoutés, des messages d'annulation pour des domaines disparus, et
- 25
- des messages de modification pour tous les domaines qui ont pu être associés à une section déjà signalée, sont envoyés aux usagers de la route ou aux prestataires de services de télématique, les informations de section ainsi produites et comprenant la situation, l'état et la longueur des domaines de circulation, étant appliquées à toute une route considérée dans les messages nouveaux, de modification et d'annulation pour générer les informations de circulation émises.
- 30
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5 précédentes, **caractérisé en ce qu'**à partir des vecteurs d'état de lieu des lieux réunis un vecteur d'état de domaine représentant la situation du trafic de ces domaines est calculé et affecté à un domaine.
- 35
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 précédentes, **caractérisé en ce qu'on** utilise, pour le calcul de chaque vecteur d'état de domaine, la moyenne des vecteurs d'état de lieu des lieux réunis dans ce domaine.
- 40
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7 précédentes, **caractérisé en ce que** les informations de circulation sont produites pour être directement transmises à des usagers de la route sous la forme de messages nouveaux, de messages de modification et de messages d'annulation.
- 45
9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8 précédentes, **caractérisé en ce que** la répartition en domaines du réseau routier est déterminée de manière répétée à intervalles de temps donnés.
- 50
10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les informations de circulation sont produites sous la forme de messages nouveaux, de messages de modification et de messages d'annulation sous une forme fonctionnelle sans autre traitement afin d'influer indirectement sur la circulation et/ou de guider directement le trafic.
- 55
11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les informations de circulation sont utilisées pour produire des messages destinés à des usagers de la route dans le réseau de circulation routière concernant l'état actuel de la circulation et/ou un état de la circulation pronostiqué et/ou des instructions de navigation tenant compte de l'état de la circulation actuel et/ou pronostiqué et/ou des consignes de vitesse.
12. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,

**caractérisé en ce que** les valeurs de mesure de trafic sont mesurées par au moins quelques capteurs à des intervalles de temps réguliers de manière synchrone dans le temps.

13. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
**caractérisé en ce que** des valeurs de mesure de trafic d'au moins quelques capteurs sont disponibles ou sont mesurées de manière induite par l'événement seulement lors de la survenue d'événements prédéterminés.

14. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
**caractérisé en ce qu'on** dispose de valeurs de mesure de trafic asynchrones dans le temps d'au moins quelques capteurs.

15. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
**caractérisé en ce que** des caractéristiques sont formées à partir de données de circulation de contenu physique différent (flux  $f$ , densité  $d$ , vitesse  $v$  sur la figure 4) et sont réunies de manière stable par l'intermédiaire de probabilités continues en valeurs en tant que résultat de classification.

16. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
**caractérisé en ce que** la caractéristique à classer vitesse est calculée par des valeurs dérivées, en particulier par des vitesses de déplacement.

17. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
**caractérisé en ce qu'on** utilise, comme fonction de filtrage, pour le calcul d'une caractéristique pour une circulation bloquée, un filtrage morphologique topographique des valeurs de mesure de trafic dans la catégorie de valeur de mesure vitesse.

18. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
**caractérisé en ce qu'on** utilise, comme fonction de filtrage, un filtrage médian morphologique pour lisser les valeurs de mesure de trafic dans les catégories de valeurs de mesure vitesse et densité.

19. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
**caractérisé en ce que** la résolution locale par l'intermédiaire de la discrétisation locale des fenêtres historiques et du traitement qui suit peut être choisie librement.

20. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
**caractérisé en ce que** des vecteurs d'état de toutes les caractéristiques par lieu sont réunis par lieu pour former le vecteur d'état de lieu (fig. 7).

21. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
**caractérisé en ce que** des vecteurs d'état par lieu disponibles également à partir d'autres sources interviennent lors de la réunion en un vecteur d'état de lieu par lieu en tenant compte de facteurs de pondération.

22. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
**caractérisé en ce que**

- la réunion des vecteurs d'état par lieu basés sur les caractéristiques est effectuée par addition de ces vecteurs par lieu et **en ce qu'une** normalisation à la somme = 1 est ensuite effectuée, ou bien
- la réunion des vecteurs d'état par lieu basés sur les caractéristiques est effectuée par un produit de ces vecteurs par lieu à la manière de composantes et **en ce qu'une** normalisation au montant = 1 est ensuite effectuée.

23. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
**caractérisé en ce que** la fonction discriminante floue est appliquée à des lieux qui sont indépendants d'une répartition fixe par section des segments de réseau de circulation routière d'une carte numérique.

24. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
**caractérisé en ce que** la largeur d'extrapolation maximale est limitée par un seuil pour le montant des vecteurs d'état extrapolés.

25. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,

**caractérisé en ce que** le filtrage est effectué par un filtre de Gauss (convolution avec une courbe de Gauss).

26. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
**caractérisé en ce que**, par route considérée, un lissage glissant dans le temps des vecteurs d'état par lieu extrapolés obtenus actuellement est effectué avec les vecteurs d'état de lieu extrapolés obtenus par lieu dans l'opération d'actualisation précédente pour cette route.

27. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
**caractérisé en ce qu'un** filtre autorégressif (AR) est utilisé pour ce lissage.

28. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
**caractérisé en ce que** le paramètre de filtrage du filtre AR est recalculé en fonction de la longueur des intervalles d'actualisation, de telle sorte que le filtrage est indépendant des intervalles d'actualisation choisis.

29. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
**caractérisé en ce qu'on** utilise, comme mesure de similitude pour les vecteurs d'état de lieu, l'état de probabilité maximale, en particulier l'indice de la composante maximale d'un vecteur d'état relativement aux autres composantes.

30. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
**caractérisé en ce qu'on** utilise, comme métrique pour les vecteurs d'état de lieu, la norme vectorielle euclidienne.

31. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
**caractérisé en ce qu'on** utilise, comme mesure de similitude pour des domaines de circulation, une métrique qui applique une métrique pour vecteurs d'état aux vecteurs d'état de domaines et prend en compte aussi au moins la situation locale et/ou la longueur des domaines.

32. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
**caractérisé en ce que** le procédé de croissance des domaines est appliqué directement aux vecteurs d'état extrapolés, continus en valeurs, des lieux d'une section considérée.

33. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
**caractérisé en ce que** la situation du trafic est indiquée par un domaine de circulation, lequel contient, comme probabilités sous la forme du vecteur d'état de domaine, la situation dans le réseau routier, la longueur, ainsi que l'état du trafic en particulier en quatre niveaux (bouchon, ralentissement, dense, fluide).

34. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
**caractérisé en ce que** la formation de domaine peut associer à ce domaine aussi des lieux dont le vecteur d'état, considéré pour lui seul, signale un autre état que celui du domaine considéré du point de vue de la formation de domaine.

35. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
**caractérisé en ce que** les composantes des vecteurs d'état de lieu sont interprétées comme des valeurs de probabilité continues au lieu de valeurs discrètes (0/1) pour les états de circulation régnant en ces lieux.

36. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
**caractérisé en ce que**, par une valeur d'hystérésis à ajouter concernant les composantes de vecteur d'état, on peut commander le degré de réunion de lieux avec une autre composante d'état maximale que celle qui est justement considérée pour la formation de domaine.

37. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
**caractérisé en ce que** la distinction est faite entre « absence de circulation » et « bouchon », par un retour à des valeurs de mesure de trafic précédentes par l'intermédiaire d'une mémoire locale pour les valeurs de mesure de trafic entrées.

38. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
**caractérisé en ce que**, pour associer des informations de domaine nouvellement obtenues à des informations de domaine déjà existantes, on utilise une mesure de similitude qui tient compte en continu de la longueur, du lieu

et du vecteur d'état de ces domaines.

39. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
**caractérisé en ce que** la sensibilité du procédé en ce qui concerne la prise en compte de modifications rapides dans le trafic lors de la production d'informations de circulation peut être réglée sous la forme des vecteurs de caractéristiques par l'intermédiaire des paramètres de filtrage des filtres de valeurs de mesure ainsi que du filtre autorégressif.

40. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
**caractérisé en ce que** la sensibilité du procédé en ce qui concerne la résolution de lieu de la description de l'état de lieu extrapolée peut être réglée par l'intermédiaire des paramètres de filtrage du filtre d'extrapolation.

41. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
**caractérisé en ce que** la sensibilité du procédé en ce qui concerne la tendance à réunir des domaines et donc à réduire le nombre de messages, peut être réglée par l'intermédiaire des paramètres de filtrage du filtre d'extrapolation.

42. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
**caractérisé en ce que** des transitions d'état sont admises pendant la durée de vie d'un message.

43. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
**caractérisé en ce que** le nombre des messages produits est réduit, en cas de besoin, par l'intermédiaire de critères de différence significative de modifications concernant la situation, la longueur et l'état de circulation des informations annoncées.

44. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
**caractérisé en ce que** l'émission d'informations de circulation s'effectue de manière induite par l'événement dans le cas de certains événements prédéterminés.

45. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
**caractérisé en ce que** pour visualiser la situation du trafic, ainsi que sa dynamique, et pour surveiller le fonctionnement, les résultats de messages sont reproduits en concordance avec les données de mesure dans un système de coordonnées lieu/temps (fig. 10, fig. 11, fig. 12).

46. Centrale de détermination de la situation de la circulation, en particulier pour mettre en oeuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant

- un dispositif d'entrée de données pour entrer des valeurs de mesure de trafic dans la centrale de détermination de la situation de la circulation,
- une mémoire pour les valeurs de mesure de trafic entrées,
- un dispositif de sortie pour fournir des informations de circulation à des usagers de la route,
- un dispositif de traitement des données de mesure de trafic qui est conçu de manière à fonctionner selon l'une quelconque des revendications 1 à 45.

47. Centrale de détermination de la situation de la circulation selon la revendication 46,  
**caractérisée en ce que** le dispositif d'entrée de données est un récepteur ou un accès à un récepteur pour recevoir des valeurs de mesure de trafic envoyées par les capteurs, en particulier par radiotéléphonie mobile.

48. Centrale de détermination de la situation de la circulation selon la revendication 46 ou 47,  
**caractérisée en ce que** le dispositif de sortie de données est un émetteur ou un accès à un émetteur pour fournir des informations de circulation, en particulier par radiotéléphonie mobile, à des usagers de la route ou à un prestataire de services.

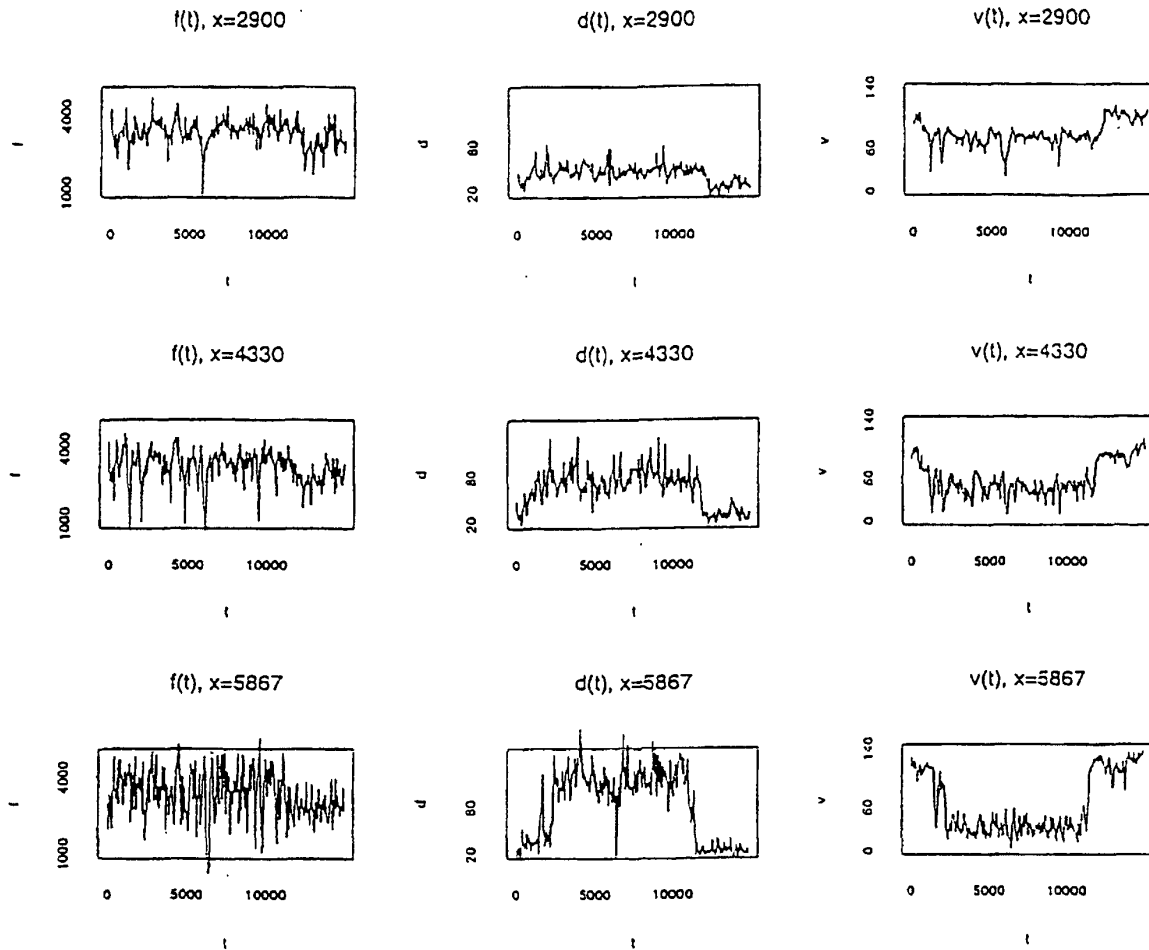


Fig. 1: Zeitfunktionen der Meßwerte von Induktionsschleifen für ein Stauereignis;

Meßgrößen je Spalte: Fluß ( $f$ ), Dichte ( $d$ ) und Geschwindigkeit ( $v$ );  
 Orte: oberste Zeile: nach dem Stau; mittlere Zeile: am Stauende; untere Zeile: im Stau  
 Fluß in KFZ/h; Dichte in KFZ/km; Geschwindigkeit in km/h

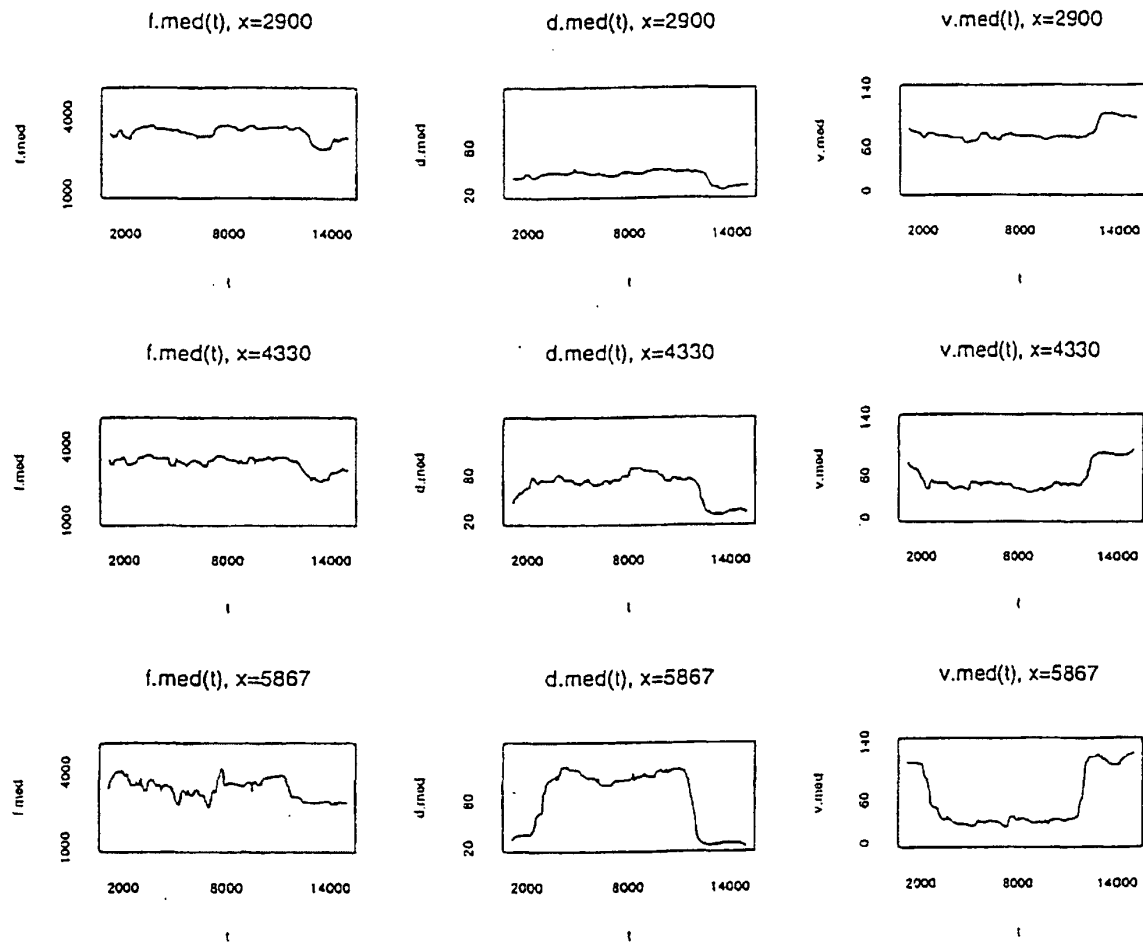


Fig. 2: Mediangefilterte Zeitfunktionen aus Fig. 1

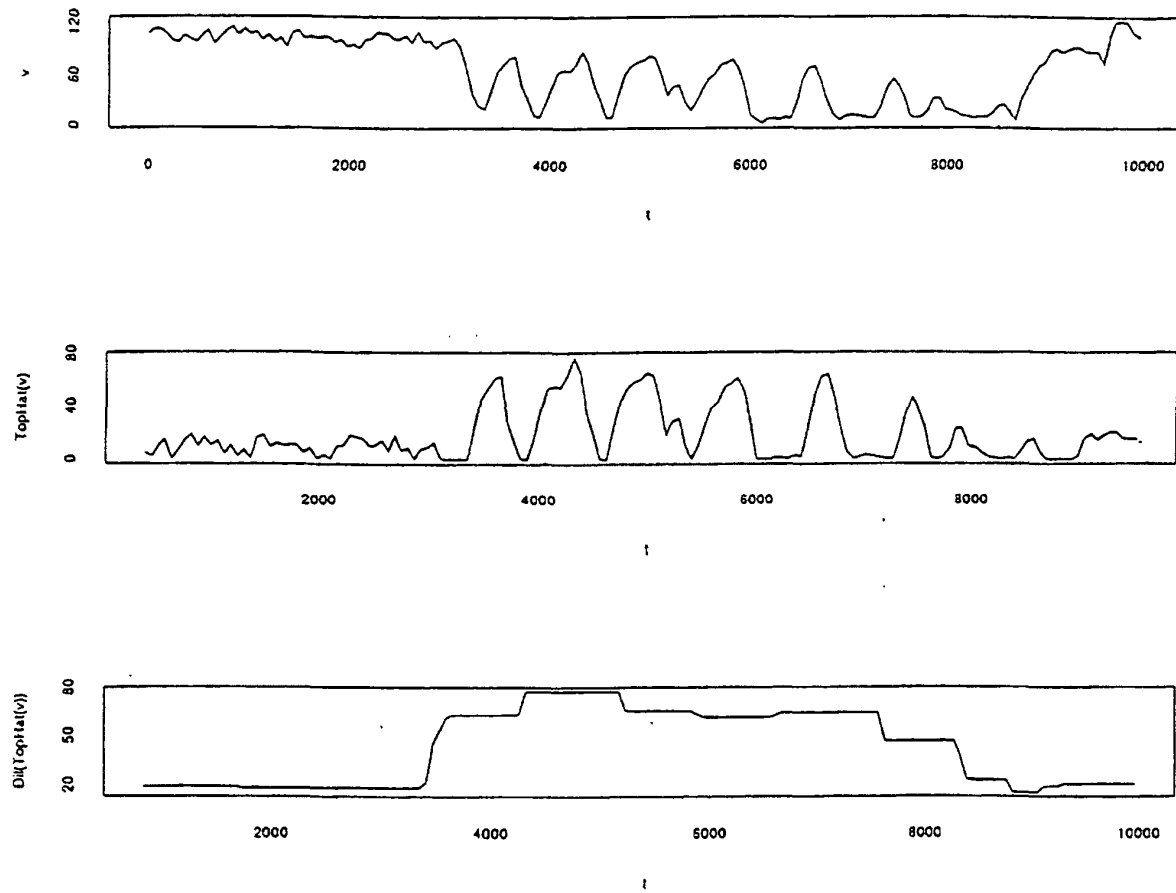


Fig. 3: Dilatierte Tophat-Funktion der Breite 15 Minuten angewendet auf die Geschwindigkeitsmeßwerte bei stockendem Verkehrszustand

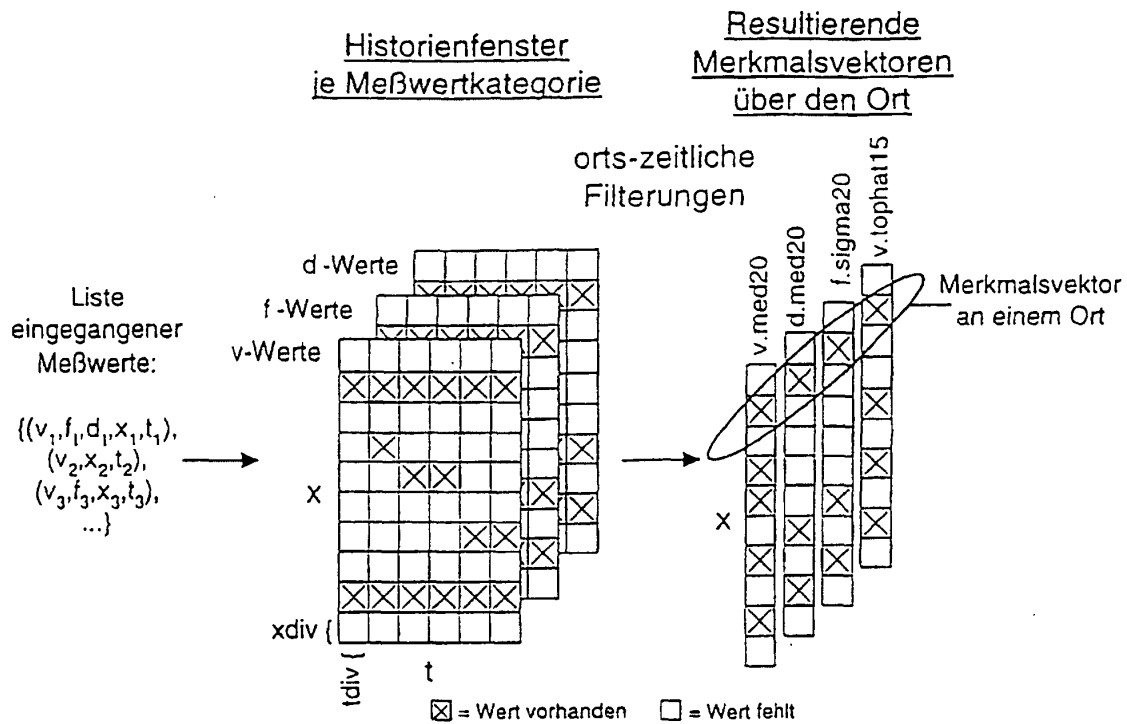


Fig. 4: Schematische Darstellung der Verarbeitungskette:  
Eingehende Verkehrsmeßwerte: v=Geschwindigkeit, f=Fluß, d=Dichte,  
Eintrag in die Historienfenster über Ort x und Zeit t,  
Merkmalsvektoren je Ort nach den orts-zeitlichen Filterungen der Meßwerte

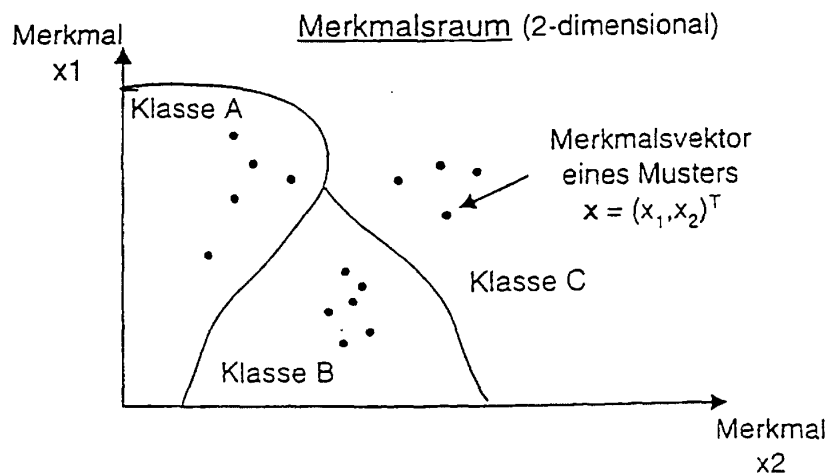


Fig. 5: Skizze eines Merkmalsraumes mit Klasseneinteilung



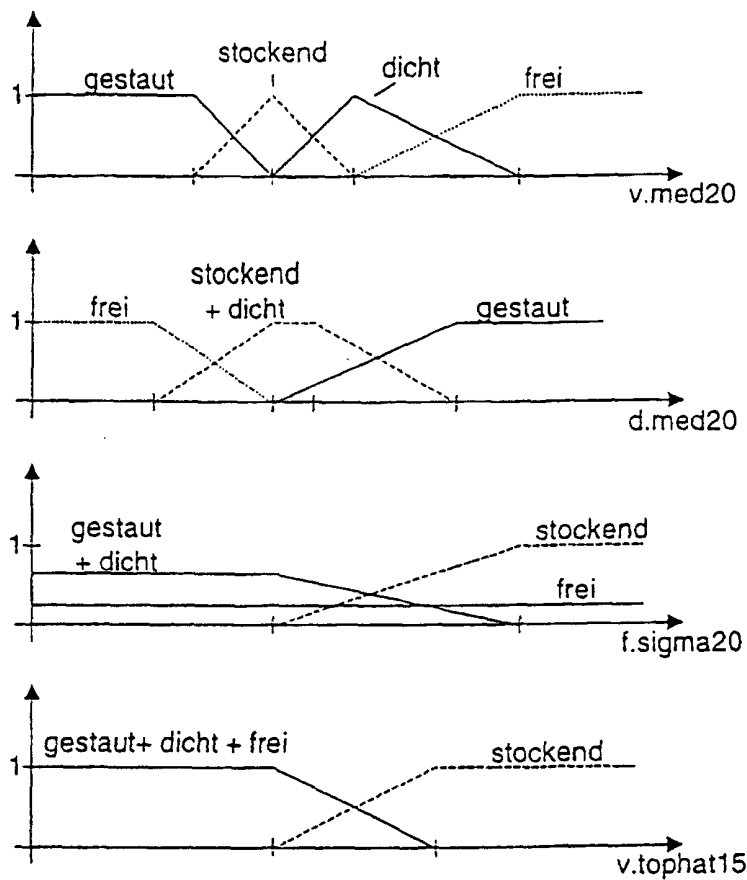


Fig. 6: Fuzzy-Klassifikations- bzw. Diskriminanzfunktionen für die örtlich und zeitlich gefilterten Meßgrößen (die Merkmale)

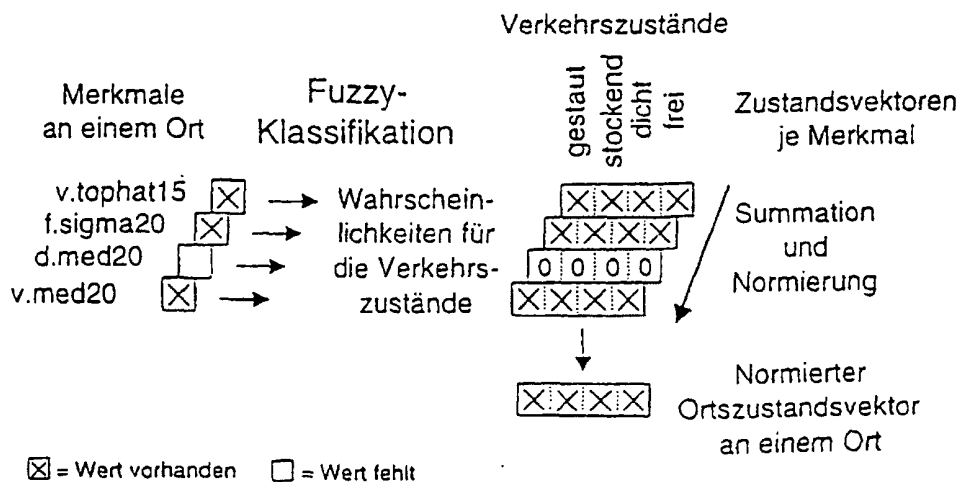


Fig. 7: Bestimmung des normierten Ortszustandsvektors an einem Ort x aus den Zustandsvektoren je Merkmal, die sich aus den Merkmalen durch Fuzzy-Klassifikation ergeben.

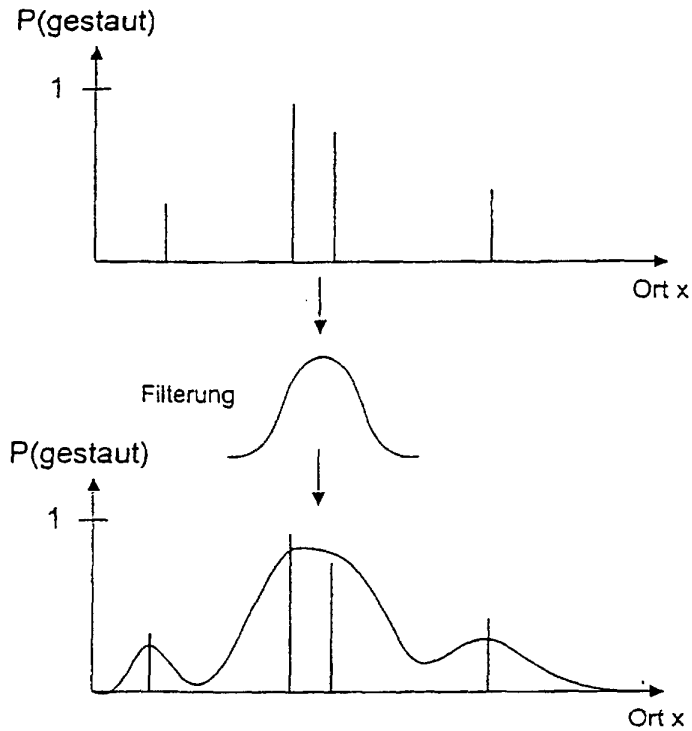


Fig. 8: Zustandsextrapolation der Zustandsvektorkomponenten über den Ort mit z.Bsp. einem lokalen Gaußfilter; Hier ist lediglich die Extrapolation einer Vektorkomponente skizziert. Entsprechend ist mit den anderen Komponenten zu verfahren.

Ortszustandsvektoren

Verkehrsdomänen  
über Ort und Zeit

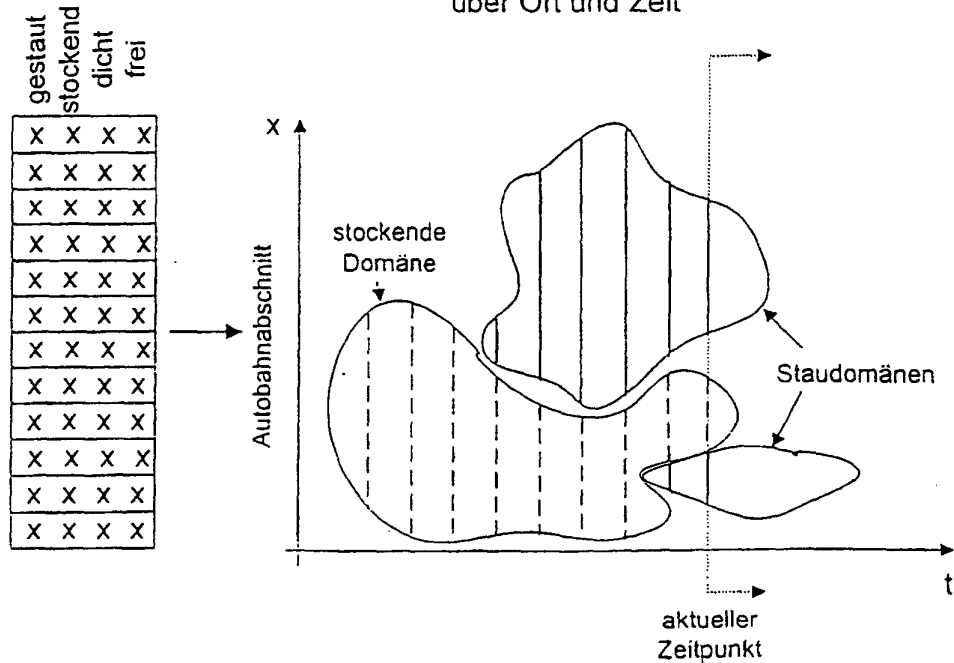


Fig. 9: Skizze zur Visualisierung der Ergebnisse: Die zu einem Zeitpunkt durch das Domänenwachstumsverfahren auf Basis der Ortszustandsvektoren gefundenen Verkehrsdomänen werden hier als senkrechte Linien dargestellt.

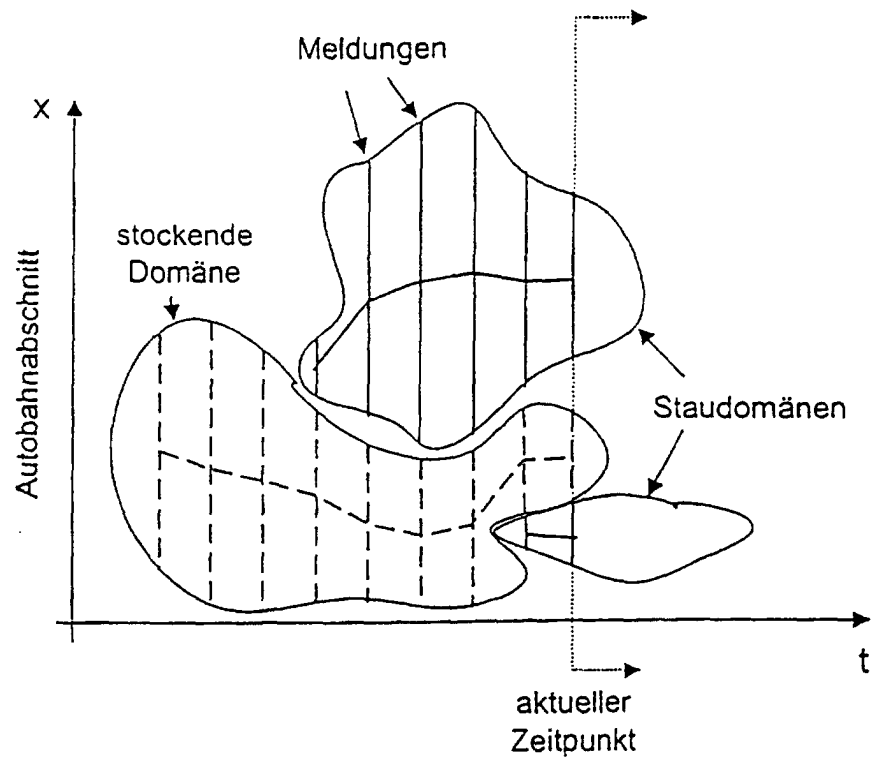


Fig. 10: Skizze zur Visualisierung der Ergebnisse: Die zeitliche Zuordnungen der durch die Meldungen ausgewiesenen Verkehrsdomänen zu aufeinanderfolgenden Zeitpunkten sind durch die horizontal verlaufenden Verbindungslinien dargestellt. Meldungen werden hier als senkrechte Linien dargestellt. Siehe hierzu auch Fig. 11 und Fig. 12.

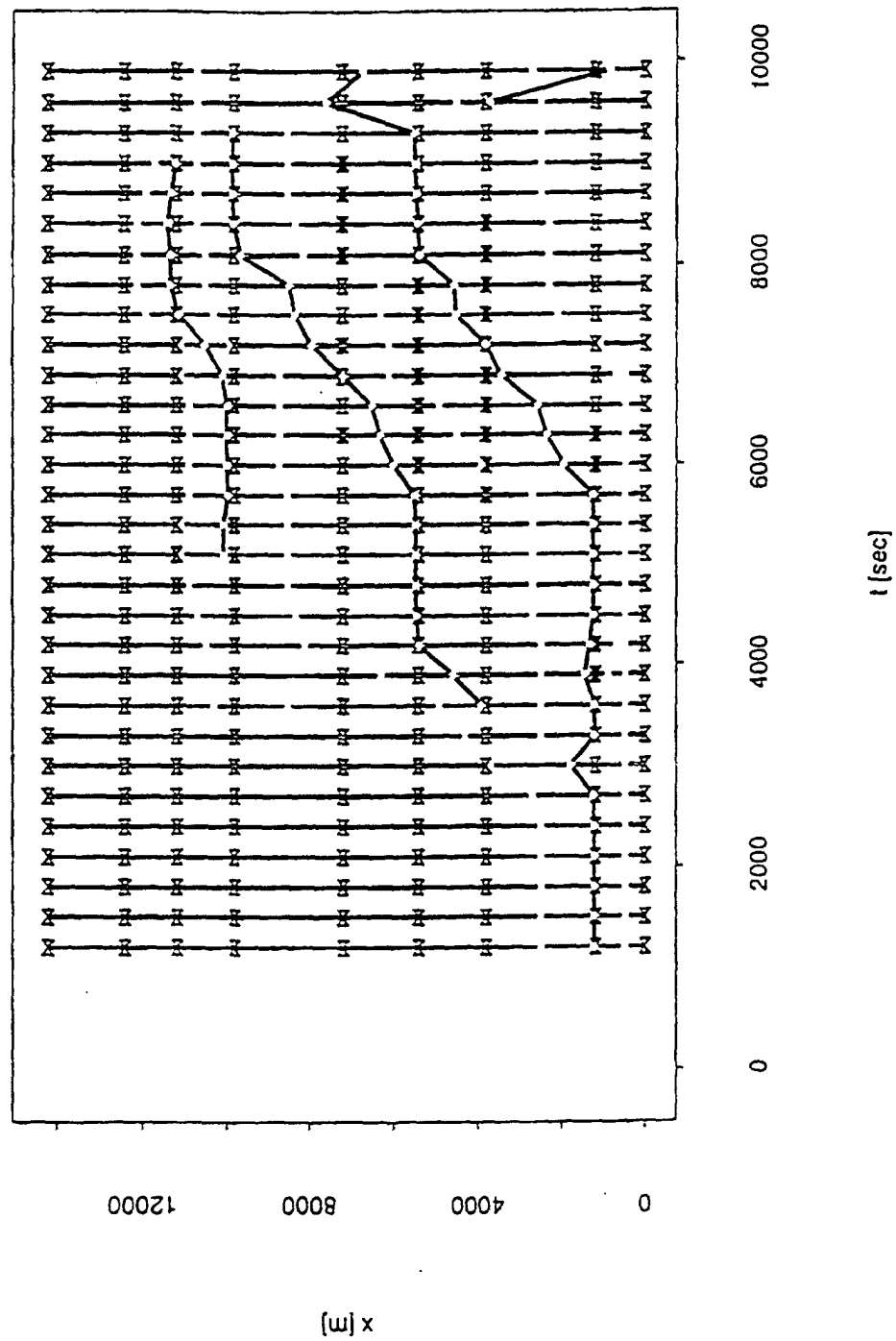


Fig.11: Erzeugte Verkehrsmeldungen des realisierten Prototyps am Beispiel eines Stauereignisses

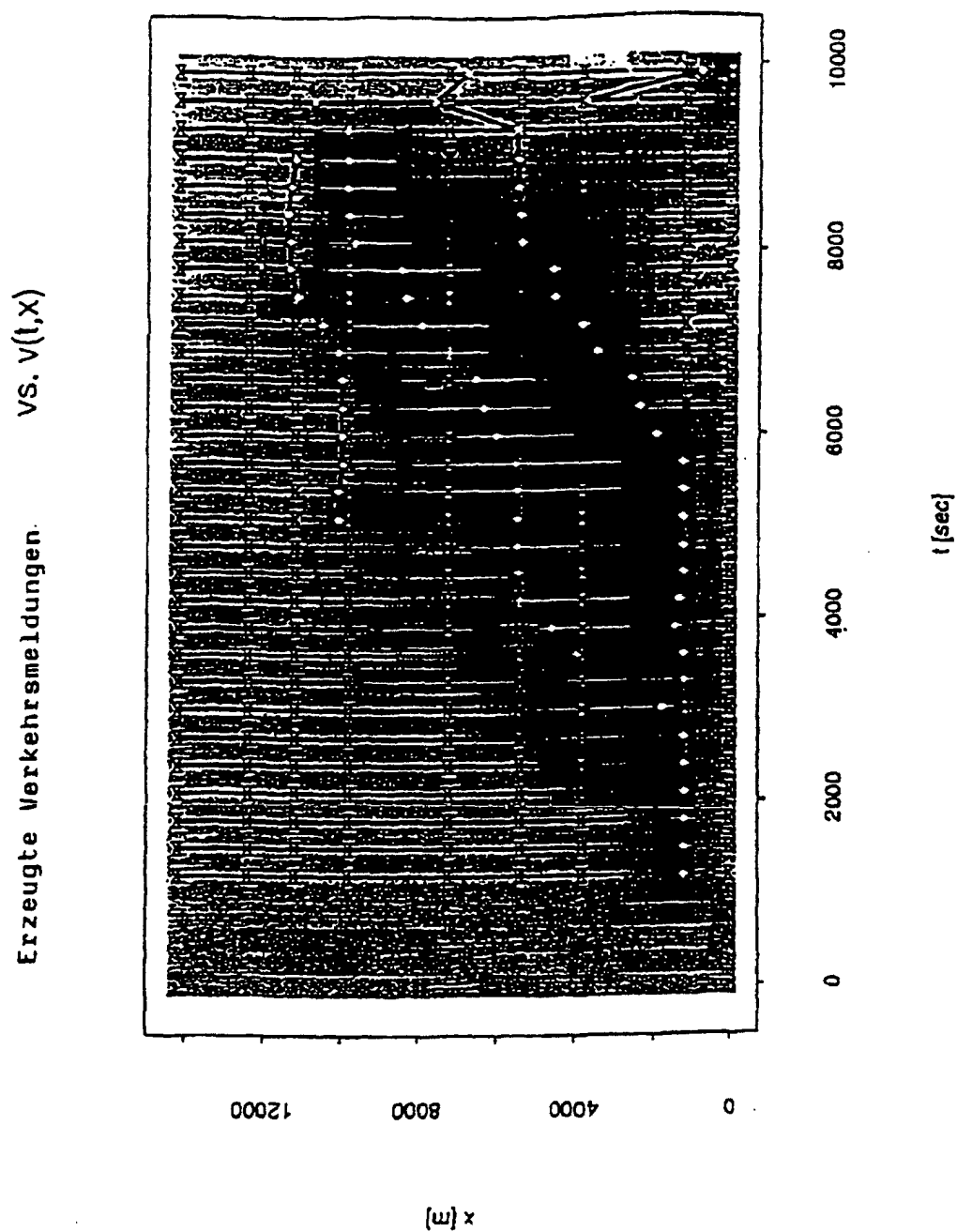


Fig. 12: Erzeugte Verkehrsmeldungen des realisierten Prototyps am Beispiel eines Stauereignisses bei gleichzeitiger Darstellung der Geschwindigkeitsmeßwerte im Hintergrund