

(19)



(11)

EP 2 047 448 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
10.09.2014 Patentblatt 2014/37

(51) Int Cl.:
G08G 1/01 (2006.01) G08G 1/0967 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **07785629.2**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/DE2007/001255

(22) Anmeldetag: **13.07.2007**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2008/009271 (24.01.2008 Gazette 2008/04)

(54) **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR GENERIERUNG VON FRÜHWARNUNGEN VOR VERKEHRSZUSAMMENBRÜCHEN AN ENGSTELLEN**

METHOD AND DEVICE FOR GENERATING EARLY WARNINGS SIGNALLING TRAFFIC COLLAPSES AT NARROW POINTS

PROCÉDÉ ET DISPOSITIF POUR GÉNÉRER DES ALERTES PRÉCOCES SIGNALANT DES RUPTURES DE TRAFIC AU NIVEAU DE GOULOTS D'ÉTRANGLEMENT

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL PL PT RO SE SI SK TR

• **BECKER, Markus**
45239 Essen (DE)

(30) Priorität: **20.07.2006 DE 102006033532**

(74) Vertreter: **2K Patentanwälte Blasberg Kewitz & Reichel**
Partnerschaft
Schumannstrasse 27
60325 Frankfurt am Main (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
15.04.2009 Patentblatt 2009/16

(73) Patentinhaber: **Deutsche Telekom AG**
53113 Bonn (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 1 657 693 DE-A1- 19 954 971
US-A1- 2002 120 389

(72) Erfinder:
• **FASTENRATH, Ulrich**
53121 Bonn (DE)

EP 2 047 448 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

Gebiet der Erfindung:

5 **[0001]** Verkehrsinformationsdienste, die über so unterschiedliche Medien wie den Rundfunk, Mobilfunk oder das Internet verbreitet werden, konzentrieren sich heutzutage auf die Beschreibung der aktuellen Verkehrssituation.

[0002] Im Allgemeinen ist jedoch die zukünftige Information, dh. die während der Fahrt noch zu erwartende Verkehrslage, für einzelne Verkehrsteilnehmer wichtiger, insbesondere bei der dynamischen Navigation. Es gibt daher bereits einen ersten Versuch, Verkehrsprognosen mit einem Horizont von 30 oder 60 Minuten online verfügbar zu machen (www.autobahn.nrw.de). Dieser Ansatz hat jedoch wesentliche Nachteile.

10 **[0003]** Einerseits steht die Information nicht während der Fahrt zur Verfügung und kann daher für Navigationszwecke nicht genutzt werden.

[0004] Andererseits ist die Prognose mit einem deterministischen Simulationsverfahren berechnet und kommt zu einem eindeutigen Ergebnis für die Verkehrslage in 30 oder 60 Minuten, welches wegen der stochastischen Natur von Verkehrszusammenbrüchen häufig nicht korrekt ist.

15 **[0005]** Ein Forschungsergebnis aus jüngster Zeit erhärtet diesen letzten Aspekt ([1] Brilon, W.; Zurlinden, H.: Kapazität von Straßen als Zufallsgröße. Straßenverkehrstechnik 4/2004, S. 164-172). Die Kapazität einer Straße, insbesondere einer Engstelle, ist keine feste Größe, bei deren Überschreitung der Verkehr unweigerlich zum Erliegen kommt, sondern eine Zufallsgröße, dh. mit ansteigender Verkehrsmenge steigt zwar die Wahrscheinlichkeit für einen Verkehrszusammenbruch, die kritische Menge jedoch, und damit der Zeitpunkt, zu dem ein Ereignis eintritt, bleibt solange unbestimmt wie kein Ereignis eintritt. Daher ist eine Prognose der Entstehung von Verkehrsstaus prinzipiell unsicher (ob) und unscharf (wann). Intuitiv ist dies verständlich, da ein Zusammenbruch von nicht vorhersehbaren Ereignissen wie abruptem Bremsen oder Lkw-Überholmanövern ausgelöst werden kann.

25 **[0006]** In der EP-A-1657 693 werden Systeme und Verfahren zur Erzeugung von vorausschauenden Modellen beschrieben, die auf statistischen Maschinen-Lernverfahren basieren, mit Hilfe derer Voraussage für Verkehrsfluss und Stauungen, basierend auf einer Abstraktion eines Verkehrssystems in einem Satz von Zufallsvariablen getroffen werden können. Diese Verfahren umfassen Variablen, die die Zeitdauer und den Ort, an dem ein Verkehrsstau entsteht, bestimmen, und die Zeit, bis ein Stau aufgelöst wird. Die verwendeten Überwachungsdaten umfassen Verkehrsflüsse und anderen Kontextdaten, wie zum Beispiel Uhrzeit, Tag, Woche, Ferien, Schulzeiten, Zeitpunkte von wichtigen Ereignissen, wie Sportereignissen, Feiertage, Wettersituation und Baustellen.

30 **[0007]** DE 19954971 A 1 bezieht sich auf ein System zur Beeinflussung des Verkehrsflusses von Fahrzeugen. Ein weiterer Teil bezieht sich auf das Verkehrslageerfassungsmittel zum Erfassen und Abgeben von verkehrslageindikativen Daten, eine rechnergestützte Verkehrszentrale zum Empfangen und Auswerten der verkehrslageindikativen Daten zwecks Gewinnung abgegebener Verkehrsflußbeeinflussungsdaten sowie einen jeweiligen fahrzeugseitigen Systemteil, das die Verkehrsflußbeeinflussungsdaten empfängt und verwertet.

35 **[0008]** Erfindungsgemäß ist die Verkehrszentrale zur Ermittlung von verkehrsflußstörungsamplitudenmindernden Verkehrsflußbeeinflussungsdaten eingerichtet, die beschleunigungs-, geschwindigkeits- und/oder abstandsbezogene Daten für individuelle Fahrzeuge umfassen. Der jeweilige fahrzeugseitige Systemteil umfasst Längsbewegungssteuermittel, denen die empfangenen Verkehrsflußbeeinflussungsdaten zugeführt werden und die in Abhängigkeit davon die Fahrzeuglängsbewegung beeinflussende Steuerungseingriffe vornehmen. Dieser Ansatz kann verwendet werden z. B. zur Optimierung der Verkehrsleistung eines Straßenverkehrsnetzes.

40 **[0009]** Die US 202/120389 A1 offenbart ein Verfahren zur Vorhersage von Verkehrszuständen, zur Implementierung einer Voraussage und Annahme von Verkehrsstörungssituation in einem Bereich, in dem Probefahrzeuge momentan nicht reisen, indem die Programme Flussdaten senden, die die Zeit, Position und bereiste Bereiche betreffen, die dann an eine zentrale Vorrichtung gesendet werden. Die zentrale Vorrichtung akkumuliert die Flussdaten in einer Datenbank mit Verkehrszuständen und Annahmemittel, und bestimmt ebenfalls die Verkehrsvoraussage hinsichtlich von Staus in den beobachteten Bereichen der Flussfahrzeuge, und kann somit in Richtung vor den Flussfahrzeuge eine Voraussage treffen und auch Informationen hinsichtlich der rückwärtig gerichteten Verkehrszustände bestimmen. Somit können zukünftige Ereignisse und Ereignisse der Vergangenheit erfasst werden.

50 Überblick über die Erfindung:

[0010] Somit stellt sich die Aufgabe, ein Verfahren und eine Vorrichtung bereitzustellen, die eine Form der Verkehrsprognose finden, welche die og. Nachteile überwinden und eine Reihe von Vorteilen in sich vereinigen. Die Erfindung soll über existierende Kanäle für codierte Verkehrsmeldungen verbreitbar sein, um auch während der Fahrt zur Verfügung zu stehen.

[0011] Ferner soll sie zur Verwendung in der dynamischen Navigation geeignet sein.

[0012] Auch soll sie objektive Qualitätsaussagen treffen, die der Überprüfung auf der Straße standhalten. Ferner soll

die stochastische Natur von Verkehrszusammenbrüchen berücksichtigt werden.

[0013] Weiter ist für die Anwendung von Bedeutung, wie sich die stochastische Natur von Verkehrszusammenbrüchen konkret auf Qualitätsmerkmale auswirkt und welche Qualitätsaussagen realistischerweise getroffen werden können. Diese Fragestellung ist für Vorhersagen über die Entstehung von Verkehrszusammenbrüchen auf Autobahnen bislang nicht beantwortet.

[0014] Gelöst wird die Aufgabe durch eine Erfindung mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche. Vorteilhafte Ausführungsformen werden in den Unteransprüchen beschrieben.

Kurze Beschreibung der Figuren:

[0015] Zum besseren Verständnis der Erfindung wird auf die Figuren verwiesen, wobei

Fig. 1 ein Beispiel für eine Engstelle auf einer Netzkante darstellt;

Fig. 2 die Zusammenbruchswahrscheinlichkeit als Funktion der Verkehrsstärke zeigt;

Fig. 3 zeigt die Abhängigkeit des Verfahrensparameters Warnschwelle von dem Verfahrensparameter Vorhersagezeitraum.;

Fig. 4 Die Arbeitscharakteristik, bei der auf der x-Achse die Kennzahl FPR (Kosten) und auf der y-Achse die Kennzahl TPR (Nutzen) dargestellt sind.

Bevorzugte Ausführungsform:

[0016] Zur Lösung des vorstehenden Problems ist es erforderlich, die Stautenstehung an Engstellen zu verstehen. Die Fig. 1 zeigt ein Beispiel für eine Engstelle. Auf einer Netzkante (zwischen zwei Anschlussstellen) reduziert sich die Anzahl der Spuren von 3 auf 2.

[0017] Andere Beispiele für Engstellen können Zuflüsse an den Anschlussstellen selbst oder an Autobahnkreuzen, Baustellen, Spurverengungen etc. sein. Da das in einer Zentrale vorhandene Wissen über Vorhandensein und Art von Engstellen in einem landesweiten Straßennetz mit hoher Wahrscheinlichkeit zu keinem Zeitpunkt vollständig und aktuell ist, besteht ein pragmatischer Ansatz darin, jede Netzkante als potenzielle Engstelle aufzufassen.

[0018] Für alle angenommenen Engstellen kann nun z.B. mit Hilfe der nach empirischen Untersuchungen [1] als geeignet befundenen Funktion (Weibull-Verteilung)

$$P_{bd}(q) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{q}{b}\right)^a\right) \quad (\text{Gleichung 1})$$

die Wahrscheinlichkeit für Verkehrszusammenbrüche P_{bd} in Abhängigkeit von der gemessenen, auf die Engstelle zuströmenden Verkehrsmenge gebracht werden. Es versteht sich, dass diese Funktion auch eine andere Form aufweisen kann und nur als Beispiel dient. Grundlage dazu sind aufgezeichnete Messungen der Verkehrsmenge durch Detektoren, z.B. Induktionsschleifen oder Überkopfdetektoren, und Beobachtungen von Verkehrsstaus, die sich tatsächlich ereignen haben. Hierbei bezeichnet A den Flaschenhals, der durch Wegfall einer Spur entsteht, B einen weiteren Flaschenhals, der durch den Zufluss an der stromabwärtigen Anschlussstelle gegeben ist. Die Fig. 1 zeigt die entsprechenden Engstellen.

[0019] Bei der obigen Gleichung sind a und b Fit-Parameter der Weibull-Verteilung. Für den Engpass A gilt $q=Q_{arr}(A)$, und für den Engpass B gilt $q=Q_{arr}(B)$, jeweils solange die Engpässe inaktiv sind, dh. solange sich noch keine Verkehrsstörung ausgebildet hat. Hierbei messen die jeweiligen Messquerschnitte den Verkehrsfluss, der durch die Engpässe hindurchströmt, und der bei Zunahme mit immer höherer Wahrscheinlichkeit zum Verkehrszusammenbruch führt.

[0020] Bei dieser Prozedur werden Fit-Parameter (im obigen Beispiel a und b) für alle Engstellen im betrachteten Straßennetz bestimmt. Die Figur 2 zeigt ein Beispiel für das Ergebnis. Die Funktion Q_{arr} ist durch die Messwerte für den Verkehrsfluss des jeweiligen Messquerschnitts gegeben. Die Parameter a und b können durch gängige mathematische Fit-Verfahren bestimmt werden. Es ist aus der Vergangenheit bekannt, bei welchen Verkehrsflüssen ($q(t)=Q_{arr}(A, t)$) sich Verkehrszusammenbrüche ereignen haben. Die Zusammenbruchswahrscheinlichkeit am Engpass A als Funktion des Verkehrsflusses q kann beispielsweise mit dem Kaplan-Meier Estimator für die "Survival Probability" ermittelt werden. Die so bestimmten Vergangenheitswerte können an die Weibullverteilung angepasst werden, z.B. durch ein least-square-fit-Verfahren.

[0021] Bis zu diesem Punkt laufen alle Verfahrensschritte in der bevorzugten Ausführungsform offline ab und bereiten

EP 2 047 448 B1

die Generierung von Prognosemeldungen in Echtzeit lediglich vor.

[0022] Um nach den vorbereitenden Schritten in Echtzeit vor Verkehrszusammenbrüchen zu warnen, die sich noch nicht ereignet haben, ist zunächst die Kenntnis der aktuellen Nachfrage erforderlich. Diese kann als aus Detektormessungen bekannt vorausgesetzt werden. Sie wird als nächstes für einen anwendungsabhängigen Prognosehorizont prognostiziert. Für kurze Prognosehorizonte von wenigen Minuten sind dazu lineare oder quadratische Extrapolationen geeignet, für längere (30 oder 60 Minuten, wie oben) wird man stärker auf erlernte Nachfrageganglinien zurückgreifen. Alternativen sind jedoch auch für diesen Ansatz denkbar. Für den Übergang von kurzfristiger Extrapolation zur Nutzung der Ganglinie sind verschiedene Techniken möglich, die im Folgenden aufgeführt werden:

- Zwischen dem Zeitbereich, für den Messwerte extrapoliert werden, und dem Zeitbereich, für den die Ganglinie zum Tragen kommt, wird interpoliert.
- Zwischen dem Zeitbereich, für den Messwerte extrapoliert werden, und dem Zeitbereich, für den die Ganglinie zum Tragen kommt, werden Werte aus der Extrapolation und der Ganglinie gewichtet gemittelt.
- Zwischen dem Zeitbereich, für den Messwerte extrapoliert werden, und dem Zeitbereich, für den die Ganglinie zum Tragen kommt, bestimmen extrapolierte Werte das absolute Niveau und die Ganglinie die Kurvenform.

[0023] Mit Hilfe der prognostizierten Nachfrage lässt sich aus der für jede relevante Engstelle vorliegenden Fit-Funktion (Fig. 2) die Zusammenbruchswahrscheinlichkeit ablesen. Überschreitet die über den durch den Prognosehorizont begrenzten Zeitraum kumulierte Zusammenbruchswahrscheinlichkeit einen Grenzwert (z.B. 80%, die "Warnschwelle"), so ist die Ausgabe einer Frühwarnung vor einer Verkehrsstörung angebracht.

[0024] Da aufgrund der stochastischen Natur von Verkehrszusammenbrüchen keine absolute Qualität (vor jedem Zusammenbruch wird sicher und frühzeitig gewarnt) erreichbar ist, ist die Untersuchung der Qualitätsaspekte wichtig. Ansonsten besteht die Gefahr, dass gar keine oder unrealistische Qualitätsaussagen oder gar -Zusagen getroffen werden, unter denen letztlich die Akzeptanz der Information leidet.

[0025] Bei vollständiger Kenntnis der Abhängigkeit, die als Funktion einstellbarer Parameter eines Frühwarnsystems zwischen i.d.R. konkurrierenden Qualitätsmerkmalen besteht, können tatsächlich einstellbare Qualitätskompromisse gezielt mit den Anforderungen bestimmter Anwendungen wie Verkehrsinformationsdiensten abgeglichen werden.

[0026] Zur Bildung statistischer Einheiten, auf die sich Qualitätsmerkmale beziehen, werden räumlich und zeitlich eng korrelierte Frühwarnungen (Typ g) und Störungsmeldungen (Typ z) typübergreifend zu Ereignissen ($e=g \cup z$) vereinigt und die folgenden Ereignismengen gebildet:

- Ereignis $e \in$ Bedingung
- Z Störungsmeldungen sind Bestandteil von e.
- G Frühwarnungen sind Bestandteil von e.
- $Z \cap G$ Störungsmeldungen und Frühwarnungen sind Bestandteil von e.
- $!Z \cap G$ Ausschließlich Frühwarnungen sind Bestandteil von e.
- $Z \cap !G$ Ausschließlich Störungsmeldungen sind Bestandteil von e.

[0027] Die nachfolgende Konfusionsmatrix verdeutlicht die Bedeutung dieser Ereignismengen.

		Frühwarnung: Besteht die Gefahr (G) eines Zusammenbruchs ?		Z
		Ja	Nein	
Störungsmeldung: Hat sich tatsächlich ein	Ja	Frühwarnung $Z \cap G$	unterlassene Frühwarnung $Z \cap !G$	
Zusammenbruch (Z) ereignet ?	Nein	Blindalarm $!Z \cap G$		
G				

[0028] Für eine Gesamtheit statistischer Einheiten sind nachfolgend Qualitätskennzahlen definiert, wobei die Mächtigkeit einer Ereignismenge X mit $|X|$ bezeichnet ist. Eine kompakte Beschreibung der Informationsqualität ist der mittlere Merkmals- bzw. Anteilswert aller Qualitätskennzahlen in der Grundgesamtheit. Diese Werte können anhand einer Datenstichprobe mit statistischen Methoden geschätzt werden.

Z-bezogene Qualitätskennzahlen

[0029] True Positive Rate: $TPR = |Z \cap G| / |Z|$, d.h. der Anteil Störungsereignisse, die durch ein Frühwarnereignis abgedeckt sind (**Frühwarnrate**).

[0030] False negative Rate: $FNR = |Z \cap !G| / |Z|$, d.h. der Anteil Störungsereignisse, die nicht durch ein Frühwarnereignis abgedeckt sind.

[0031] Es gilt die Beziehung $FNR = 1 - TPR$.

G-bezogene Qualitätskennzahlen

[0032] Positive Predictive Value: $PPV = |Z \cap G| / |G|$, d.h. der Anteil Frühwarnereignisse, die sich auf Störungsereignisse beziehen (relevante Frühwarnereignisse).

[0033] False Positive Rate: $FPR = |!Z \cap G| / |G|$, d.h. der Anteil Frühwarnereignisse, die sich nicht auf Störungsereignisse beziehen (**Blindalarmrate**).

[0034] Es gilt die Beziehung $FPR = 1 - PPV$.

$Z \cap G$ - bezogene Qualitätskennzahlen

[0035] Vorwarnzeit (**VWZ**): Der Zeitraum, der zwischen der Anmeldung der Gefahr eines Verkehrszusammenbruchs und der Anmeldung des Verkehrszusammenbruchs vergeht.

[0036] Zu den einstellbaren Parametern des Frühwarnsystems zählen der Vorhersagezeitraum (ΔT) und die Warnschwelle (P_{bd}), d.h. der Schwellwert für die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Zusammenbruchs, der die An- und Abmeldung der Frühwarnung steuert.

[0037] Die Warnschwelle P_{bd} besitzt eine Abhängigkeit vom Vorhersagezeitraum ΔT , die sich aus der Bedingung ableitet, dass Frühwarnungen mit unterschiedlich langen Vorhersagezeiträumen ΔT gleiche Verkehrssituationen gleich bewerten sollen:

$$P_{bd}(\Delta T) = 1 - \left(1 - P_{bd}(\Delta t)\right)^{\frac{\Delta T}{\Delta t}}$$

mit

P_{bd} = Warnschwelle der Frühwarnung [%],

ΔT = gewünschter Vorhersagezeitraum (z.B. 15 Minuten) [min],

Δt = Referenzvorhersagezeitraum (z.B. 5 Minuten) [min].

[0038] Fig. 3 Die Warnschwelle x einer Frühwarnung mit einem Vorhersagezeitraum von = 5 Minuten entspricht der Warnschwelle y einer Frühwarnung mit einem Vorhersagezeitraum von = 15 Minuten.

[0039] Zur Ermittlung der Arbeitscharakteristik des Frühwarnsystems werden alle Einstellungen für die Parameter Vorhersagezeitraum und Warnschwelle durchgespielt, die resultierenden Gesamtheiten von Frühwarn- und Störungsereignissen ermittelt, die Qualitätskennzahlen vermessen und in ein Qualitätsdiagramm eingetragen.

[0040] Dabei variiert die Kennzahl TPR zwischen dem Wert eins (null) für den kleinsten (größten) Wert der Warnschwelle, da eine kleine (große) Warnschwelle bedeutet, dass praktisch vor jeder (keiner) Störung gewarnt wird. Die Kennzahl FPR nimmt für den kleinsten Wert der Warnschwelle einen Wert an, der spezifisch für eine betrachtete Engstelle ist und teilweise deutlich kleiner als eins ausfallen kann; beim Aufdrehen der Warnschwelle zeigt die Kennzahl FPR eine fallende Tendenz.

[0041] Der Wert, den die Kennzahl FPR für den kleinsten Wert der Warnschwelle annimmt, ist definitionsgemäß die Wahrscheinlichkeit dafür, dass sich an der Engstelle im kritischen Bereich der Verkehrsnachfrage überhaupt kein Verkehrszusammenbruch ereignet.

[0042] Die Figur 4 zeigt die Arbeitscharakteristik, bei der auf der x-Achse die Kennzahl FPR (Kosten) und auf der y-Achse die Kennzahl TPR (Nutzen) dargestellt sind. Diese Arbeitscharakteristik wird als Receiver Operating Characteristics (ROC) bezeichnet. Jeder (Arbeits-) Punkt auf dem Graph der ROC markiert den maximalen Nutzen des Informationsprodukts Frühwarnung unter der Randbedingung, dass die Kosten einen vorgegebenen Wert nicht überschreiten.

[0043] Ein Arbeitspunkt, der einer konservativen Einstellung des Frühwarnsystems mit einer hohen Warnschwelle entspricht (Kreis), bedeutet einen geringen Anteil an falsch-positiv klassifizierten Verkehrssituationen (Staugefahr gemeldet, aber es ereignet sich kein Stau) gleichzeitig aber auch eine geringe TPR, d.h. einen geringen Anteil Verkehrszusammenbrüche, vor denen gewarnt wird.

[0044] Die gegensätzliche Einstellung des Systems wird durch eine niedrig gewählte Warnschwelle erreicht (Rechteck)

und führt dazu, dass praktisch vor jedem Zusammenbruch gewarnt wird aber auch häufig Blindalarme auftreten.

[0045] Das vorgeschlagene Verfahren löst das eingangs formulierte Problem.

[0046] Frühwarnungen der hier beschriebenen Art lassen sich durch gängige Medien wie z.B. den TMC-Kanal verbreiten. Für Frühwarnungen können existierende Codes, wie etwa "stationary traffic expected" oder "queueing traffic expected" verwendet werden.

[0047] Sie sind zur Verwendung in der dynamischen Navigation geeignet, denn jede Frühwarnung trägt auf natürliche Weise einen Gewichtungsfaktor mit sich (die Zusammenbruchswahrscheinlichkeit), den der Routingalgorithmus zusammen mit dem Prognosehorizont zur Konstruktion der dynamischen Kostenfunktion verwenden kann.

[0048] Sie sind auf die lokalen Gegebenheiten im gesamten Netz angepasst und haben daher bei regelmäßiger Kalibrierung optimale Früh- und Blindwarnraten sowie Vorwarnzeiten.

[0049] Sie berücksichtigen die zufällige Natur von Verkehrszusammenbrüchen und gaukeln dem Nutzer nicht vor, die Stautenstehung können auf die Minuten genau vorhergesagt werden.

[0050] Ihre Informationsqualität ist anhand messbarer Qualitätskriterien objektiv bewertbar und kann anhand der Arbeitscharakteristik gezielt speziellen Qualitätsanforderungen einer Anwendung angepasst werden.

[0051] Es versteht sich, dass die bevorzugten Ausführungsbeispiele keine Einschränkung des Anmeldegegenstandes darstellen sollen. Vielmehr dienen Sie zum Verständnis. Folglich dienen die Ansprüche zur Bestimmung des Schutzesumfangs.

Literatur

[0052]

[1] Brilon, W.; Zurlinden, H. : Kapazität von Straßen als Zufallsgröße. Straßenverkehrstechnik 4/2004, S. 164-172

Patentansprüche

1. Verfahren zur Generierung von Frühwarnungen vor Verkehrszusammenbrüchen umfassend die folgenden Schritte:

- dynamisches Schätzen der Kapazität von Engstellen im Straßennetz,
- Ermitteln der aktuellen Nachfrage an Engstellen,
- Ermitteln der voraussichtlichen Nachfrage an Engstellen für einen wählbaren Prognosehorizont, auf der Basis der aktuellen Nachfrage an Engstellen,
- Auslösen von Frühwarnungen, sobald die sich aus voraussichtlicher Nachfrage und dynamischer Kapazität ergebende Zusammenbruchswahrscheinlichkeit einen Grenzwert, die Warnschwelle, übersteigt.

2. Das Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, weiterhin umfassend:

Schätzen der Kapazität von Engstellen im Straßennetz unter Berücksichtigung, dass die Kapazität von Engstellen eine Weibull-verteilte Zufallsgröße ist.

3. Das Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, weiterhin umfassend, dass die Gleichung

$$P_{bd}(q) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{q}{b}\right)^a\right)$$

(die Weibull-Verteilung) die Wahrscheinlichkeit für Verkehrszusammenbrüche P_{bd} in Abhängigkeit von der gemessenen, auf die Engstelle zuströmenden Verkehrsmenge berechnet, wobei die Parameter a und b durch gängige mathematische Fit-Verfahren aus Beobachtungen oder Messungen bestimmt werden, die zum Inhalt haben, bei welchen Verkehrsflüssen ($q(t)=Q_{arr}(A,t)$) sich Verkehrszusammenbrüche ereignet haben.

4. Das Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, weiterhin umfassend: Ermitteln der aktuellen Nachfrage an Engstellen mittels aktueller und/oder historischer Daten für die Verkehrsmenge.

5. Das Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, weiterhin umfassend: Ermitteln der voraussichtlichen Nachfrage für einen wählbaren Prognosehorizont mittels Extrapolation, insbesondere mittels ganglinienbasierter Extrapolation.

EP 2 047 448 B1

6. Das Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, weiterhin umfassend, dass zwischen dem Zeitbereich, für den Messwerte extrapoliert werden, und dem Zeitbereich, für den die Ganglinie zum Tragen kommt, interpoliert wird.
- 5 7. Das Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, weiterhin umfassend, dass zwischen dem Zeitbereich, für den Messwerte extrapoliert werden, und dem Zeitbereich, für den die Ganglinie zum Tragen kommt, Werte aus der Extrapolation und der Ganglinie gewichtet gemittelt werden.
- 10 8. Das Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, weiterhin umfassend, dass zwischen dem Zeitbereich, für den Messwerte extrapoliert werden, und dem Zeitbereich, für den die Ganglinie zum Tragen kommt, extrapolierte Werte das absolute Niveau und die Ganglinie die Kurvenform bestimmen.
- 15 9. Das Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, weiterhin umfassend, dass jede Netzkante in einem Straßennetz als potenzielle Endstelle aufzufassen ist.
- 20 10. Das Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, weiterhin umfassend, dass die Frühwarnungen über gängige Medien wie den TMC-Kanal verbreitet werden.
- 25 11. Das Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, wobei zur Bildung der statistischen Einheiten ein Verfahren nach einem oder mehreren der folgenden Verfahrensansprüche 12-17 verwendet wird.
- 30 12. Verfahren nach Anspruch 1, auf die sich Qualitätsmerkmale beziehen, um Verkehrssituationen zu bestimmen, **dadurch gekennzeichnet, dass** räumlich und zeitlich eng korrelierte Frühwarnungen (Typ g) und Störungsmeldungen (Typ z) typübergreifend zu Ereignissen ($e=g \cup z$) vereinigt werden, wobei die Frühwarnung definiert ob die Gefahr eines Zusammenbruch des Verkehrs besteht und die Störungsmeldung definiert, ob sich tatsächlich ein Zusammenbruch ereignet hat .
- 35 13. Das Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei eine oder mehrere der folgenden Ereignismengen gebildet werden, um Qualitätskennzahlen zu bilden, wobei gilt:
- Z: Störungsmeldungen sind Bestandteil von e,
G: Frühwarnungen sind Bestandteil von e,
Z n G: Störungsmeldungen und Frühwarnungen sind Bestandteil von e,
! $Z \cap G$: Ausschließlich Frühwarnungen sind Bestandteil von e,
Z \cap !G: ausschließlich Störungsmeldungen sind Bestandteil von e, und wobei als z-bezogene Qualitätskennzahlen die
True Positive Rate **TPR** = $|Z \cap G| / |Z|$ und die False Negative Rate: **FNR** = $|Z \cap !G| / |Z|$ herangezogen werden, wobei immer die Beziehung **FNR** = 1 - **TPR** erfüllt ist,
40 und wobei
als G-bezogene Qualitätskennzahlen der Positive Predictive Value: **PPV** = $|Z \cap G| / |G|$ und die False Positive Rate: **FPR** = $|!Z \cap G| / |G|$ herangezogen werden, wobei immer die Beziehung **FPR** = 1 - **PPV** gilt.

- 45 14. Das Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden zwei Ansprüche, weiterhin umfassend, dass die Warnschwelle P_{bd} gemäß der Beziehung

$$P_{bd}(\Delta T) = 1 - \left(1 - P_{bd}(\Delta t)\right)^{\frac{\Delta T}{\Delta t}}$$

- 50 mit P_{bd} = Warnschwelle der Frühwarnung [%],
 ΔT = gewünschter Vorhersagezeitraum (z.B. 15 Minuten) [min],
 Δt = Referenzvorhersagezeitraum [min]
bei Variation des Vorhersagezeitraums nachgeführt wird.
- 55

15. Das Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden drei Ansprüche, weiterhin umfassend dass zur Ermittlung der Arbeitscharakteristik des Frühwarnsystems alle Einstellungen für die Parameter Vorhersagezeitraum und Warnschwelle durchgespielt werden, die resultierenden Gesamtheiten von Frühwarn- und Störsereignissen

EP 2 047 448 B1

ermittelt, die Qualitätskennzahlen vermessen und in ein Qualitätsdiagramm eingetragen wird.

5 **16.** Das Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, weiterhin umfassend, dass die Informationsqualität der Frühwarnung gezielt durch Rückgriff auf die Arbeitscharakteristik des Frühwarnsystems eingestellt wird.

17. Vorrichtung zur rechnergestützten Generierung von Frühwarnungen vor Verkehrszusammenbrüchen umfassend Mittel

- 10
- zum dynamisches Schätzen der Kapazität von Engstellen im Straßennetz,
 - zum Ermitteln der aktuellen Nachfrage an Engstellen,
 - zum Ermitteln der voraussichtlichen Nachfrage für einen wählbaren Prognosehorizont, auf der Basis der aktuellen Nachfrage an Engstellen,
 - zum Auslösen von Frühwarnungen, sobald die sich aus voraussichtlicher Nachfrage und dynamischer Kapazität ergebende Zusammenbruchswahrscheinlichkeit einen Grenzwert, die Warnschwelle, übersteigt.
- 15

18. Die Vorrichtung nach dem vorhergehenden Anspruch, weiterhin umfassend Mittel zum Schätzen der Kapazität von Engstellen im Straßennetz unter Berücksichtigung, dass die Kapazität von Engstellen eine Weibull-verteilte Zufallsgröße ist.

20 **19.** Die Vorrichtung nach dem vorhergehenden Anspruch, weiterhin umfassend, dass Mittel unter Berücksichtigung der Gleichung

$$P_{bd}(q) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{q}{b}\right)^a\right)$$

25 (der Weibull-Verteilung) die Wahrscheinlichkeit für Verkehrszusammenbrüche P_{bd} in Abhängigkeit von der gemessenen, auf die Engstelle zuströmenden Verkehrsmenge berechnen, wobei die Parameter a und b durch gängige mathematische Fit-Verfahren aus Beobachtungen oder Messungen bestimmt werden, die zum Inhalt haben, bei welchen Verkehrsflüssen ($q(t)=Q_{arr}(A,t)$) sich Verkehrszusammenbrüche ereignet haben.

30

20. Die Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorhergehenden Vorrichtungsansprüche, weiterhin umfassend Mittel zum Ermitteln der aktuellen Nachfrage an Engstellen mittels aktueller und/oder historischer Daten für die Verkehrsmenge.

35 **21.** Die Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorhergehenden Vorrichtungsansprüche, weiterhin umfassend Mittel zum Ermitteln der voraussichtlichen Nachfrage für einen wählbaren Prognosehorizont mittels Extrapolation, insbesondere mittels ganglinienbasierter Extrapolation.

40 **22.** Die Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorhergehenden Vorrichtungsansprüche, weiterhin umfassend Mittel, bei denen zwischen dem Zeitbereich, für den Messwerte extrapoliert wird, und dem Zeitbereich, für den die Ganglinie zum Tragen kommt, interpoliert wird.

45 **23.** Die Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorhergehenden Vorrichtungsansprüche, weiterhin umfassend, Mittel die so ausgelegt sind, dass zwischen dem Zeitbereich, für den Messwerte extrapoliert werden, und dem Zeitbereich, für den die Ganglinie zum Tragen kommt, Werte aus der Extrapolation und der Ganglinie gewichtet gemittelt werden.

50 **24.** Die Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorhergehenden Vorrichtungsansprüche, weiterhin umfassend, Mittel, die so ausgelegt sind, dass zwischen dem Zeitbereich, für den Messwerte extrapoliert werden, und dem Zeitbereich, für den die Ganglinie zum Tragen kommt, extrapolierte Werte das absolute Niveau und die Ganglinie die Kurvenform bestimmen.

55 **25.** Die Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorhergehenden Vorrichtungsansprüche, weiterhin umfassend Mittel, die jede Netzkante in einem Straßennetz als potenzielle Engstelle aufzufassen.

26. Die Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorhergehenden Vorrichtungsansprüche, weiterhin umfassend Mit-

tel, die Frühwarnungen über gängige Medien wie den TMC-Kanal verbreitet und/oder empfangen.

27. Die Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorhergehenden Vorrichtungsansprüche, umfassend eine Vorrichtung nach einem oder mehreren der folgenden Vorrichtungsansprüche.

28. Die Vorrichtung nach Anspruch 17 zur rechnergestützten Berechnung von Qualitätsmerkmalen von Verkehrszuständen, zur Bildung statistischer Einheiten, auf die sich Qualitätsmerkmale beziehen, wobei Mittel vorhanden sind, die räumlich und zeitlich eng korrelierte Frühwarnungen (Typ g) und Störungsmeldungen (Typ z) typübergreifend zu Ereignissen ($e=g \cup z$) vereinigen, wobei die Frühwarnung definiert, ob die Gefahr eines Zusammenbruchs des Verkehrs besteht, und die Störungsmeldung definiert, ob sich tatsächlich ein Zusammenbruch ereignet hat.

29. Die Vorrichtung nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei Mittel vorhanden sind, um eine oder mehrere der folgenden Ereignismengen zu bilden, um Qualitätskennzahlen zu bilden, wobei gilt:

Z: Störungsmeldungen sind Bestandteil von e,

G: Frühwarnungen sind Bestandteil von e,

$Z \cap G$: Störungsmeldungen und Frühwarnungen sind Bestandteil von e,

$!Z \cap G$: Ausschließlich Frühwarnungen sind Bestandteil von e,

$Z \cap !G$: ausschließlich Störungsmeldungen sind Bestandteil von e, und wobei als

Z-bezogene Qualitätskennzahlen die

True Positive Rate $TPR = |Z \cap G| / |Z|$ ist und

die

False negative Rate: $FNR = |Z \cap !G| / |Z|$ herangezogen werden, wobei immer die Beziehung $FNR = 1 - TPR$ erfüllt ist

und wobei

als G-bezogene Qualitätskennzahlen der Positive Predictive Value: $PPV = |Z \cap G| / |G|$ und die

False Positive Rate: $FPR = |!Z \cap G| / |G|$ herangezogen werden, wobei immer die Beziehung $FPR = 1 - PPV$ gilt.

30. Die Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorhergehenden zwei Vorrichtungsansprüche, weiterhin umfassend Mittel zum Nachführen der Warnschwelle bei Variation des Vorhersagezeitraums gemäß der Beziehung

$$P_{bd}(\Delta T) = 1 - (1 - P_{bd}(\Delta t))^{\frac{\Delta T}{\Delta t}}$$

mit P_{bd} = Warnschwelle der Frühwarnung [%],

ΔT = gewünschter Vorhersagezeitraum (z.B. 15 Minuten) [min],

Δt = Referenzvorhersagezeitraum [min].

31. Die Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorhergehenden drei Ansprüche, weiterhin umfassend Mittel zur Ermittlung der Arbeitscharakteristik des Frühwarnsystems, wobei alle Einstellungen für die Parameter Vorhersagezeitraum und Warnschwelle durchgespielt werden, die resultierenden Gesamtheiten von Frühwarn- und Störungsereignissen ermittelt, die Qualitätskennzahlen vermessen und in ein Qualitätsdiagramm eingetragen werden.

32. Die Vorrichtung nach dem vorhergehenden Ansprüche, weiterhin umfassend dass die Informationsqualität der Frühwarnung gezielt durch Rückgriff auf die Arbeitscharakteristik des Frühwarnsystems eingestellt wird.

33. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorhergehenden Vorrichtungsansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Netzwerkverbindung zu externen Sensoren besteht, von denen aktuelle Verkehrsdaten erlangt werden.

Claims

1. Method for generating early warnings of traffic crashes comprising the following steps:

- dynamically estimating the capacity of bottlenecks in the road network,
- determining the current demand at bottlenecks,
- determining the expected demand at bottlenecks for a selectable forecast horizon, based on the current

demand at bottlenecks,

- triggering early warnings as soon as the probability of a traffic breakdown calculated by the expected demand and dynamic capacity exceeds a limit, the warning threshold.

5 2. The method according to the preceding claim, further comprising:

estimating the capacity of bottlenecks in the road network, taking into account that the capacity of bottlenecks is a Weibull distributed random variable.

10 3. The method according to the preceding claim, further comprising that the equation

$$Pbd(q)=1-\exp(-(q/b)^a)$$

15 (the Weibull distribution) calculates the probability Pbd of a traffic breakdown, according to the measured traffic volume, flowing to the bottlenecks, wherein the parameters a and b are determined by common mathematical fit methods from observations or measurements, that have as information, in which traffic flows ($q(t)=Q_{arr}(A,t)$) traffic crashes have occurred.

20 4. The method according to one or more of the preceding claims, further comprising: determining the current demand at bottlenecks by means of current and / or historical data for the traffic volume.

25 5. The method according to one or more of the preceding claims, further comprising: determining the expected demand for a selectable forecast horizon by means of extrapolation, in particular by means of transition line based extrapolation.

6. The method according to one or more of the preceding claims, further comprising, that between the time domain, for which measured values are extrapolated and the time domain, for which the transition line has effect, interpolation is done.

30 7. The method according to one or more of the preceding claims, further comprising that within the time domain, for which measured values are extrapolated, and the time domain, for which the transition line has effect, values from the extrapolation and the transition line are weighted averaged.

35 8. The method according to one or more of the preceding claims, further comprising, that between the time domain, for which measured values are extrapolated, and the time domain, for which the transition line has effect, extrapolated values determine the absolute level and the transition line determines the curve shape.

40 9. The method according to one or more of the preceding claims, further comprising that each network edge has to be considered as a potential bottleneck in a road network.

10. The method according to one or more of the preceding claims, further comprising that early warnings are spread on common media, such as TMC channel.

45 11. The method according to one or more of the preceding claims, wherein a method according to one or more of the following process claims 12-17 is used for the formation of statistical units.

50 12. The method of claim 1, to which quality characteristics are related, to determine traffic conditions, **characterized in that** spatially and temporally closely correlated early warnings (type g) and fault messages (type z) type overlapping are combined to events ($e = g \cup z$), wherein the early warning defines whether the risk of a collapse of traffic exists and the fault message defines whether in fact a collapse has occurred.

55 13. The method according to the preceding claim, wherein one or more of the following sets of events are formed to form quality indicators, wherein:

Z: fault messages are part of e,

G: early warnings are part of e,

Z ∩ G: fault reports and early warnings are part of e,
 I Z ∩ G: only early warnings are part of e,
 Z ∩ ! G: only error messages are part of e, and wherein taking as Z -related quality indicators the
 true positive rate $TPR = |Z \cap G| / |Z|$, and the
 false negative rate : $FNR = |Z \cap !G| / |Z|$ are used , while always maintaining the relationship $FNR = 1 - TPR$
 is fulfilled,
 and wherein
 as G -related quality indicators of
 positive predictive value : $PPV = |Z \cap G| / |G|$ and the false positive rate : $FPR = |!Z \cap G| / |G|$ are used ,
 while always maintaining the relationship $FPR = 1 - PPV$ applies.

14. The method according to one or more of the preceding two claims, further comprising that the warning level P_{bd} according to the relation

$$P_{bd}(\Delta T) = 1 - (1 - P_{bd}(\Delta t))^{\frac{\Delta T}{\Delta t}}$$

with P_{bd} = warning level of early warning [%],
 Δt = desired forecast period (e.g. 15 minutes) [min],
 ΔT = reference forecast period [min]
 is tracked with a variation of the forecast period.

15. The method according to one or more of the preceding three claims, further comprising that to determine the operating characteristics of the early warning system, all settings for the parameters of the forecast period and warning threshold are run through, the resulting total of early warning and error events are determined, the quality indicators are measured and entered in a quality chart.

16. The method according to the preceding claim, further comprising that the information quality of early warning is specifically set by recourse to the operating characteristic of the early warning system.

17. Apparatus for computer aided generation of early warnings of traffic crashes, comprising means

- for dynamic estimation of the capacity of bottlenecks in the road network,
- for determining the current demand at bottlenecks,
- for determining the expected demand for a selectable forecast horizon, based on the current demand at bottlenecks,
- for triggering early warnings as soon as the probability of a traffic breakdown based on expected demand and dynamic capacity exceeds a limit, the warning threshold.

18. The apparatus according to the preceding claim, further comprising means for estimating the capacity of bottlenecks in the road network, taking into account that the capacity of bottlenecks is a Weibull distributed random variable.

19. The apparatus according to the preceding claim, further comprising means that, taking into account the equation

$$Pbd(q) = 1 - \exp(-(q/b)^a)$$

(the Weibull distribution) calculating the probability of a traffic breakdown Pbd , according to the measured traffic volume, flowing to the bottlenecks, wherein the parameters a and b are determined by common mathematical fit methods from observations or measurements, that have the information, in which traffic flows $(q(t) = Q_{arr}(A, t))$ traffic crashes have occurred.

20. The apparatus according to one or more of the preceding apparatus claims, further comprising means to determine the current demand at bottlenecks by means of current and / or historical data for the traffic volume.

21. The apparatus according to one or more of the preceding apparatus claims, further comprising means for determining the expected demand for a selectable forecast horizon by means of extrapolation, in particular by means of transition line based extrapolation.

22. The apparatus according to one or more of the preceding apparatus claims, further comprising means, in which between the time domain, for which the measured values are extrapolated, and the time domain, for which the transition line has effect, interpolation is done.
- 5 23. The apparatus according to one or more of the preceding apparatus claims, further comprising means which are designed so that between the time domain, for which measured values are extrapolated, and for the and the time domain, for which the transition line has effect, values from the extrapolation and from transition line are averaged weighted.
- 10 24. The apparatus according to one or more of the preceding apparatus claims , further comprising means which are designed so that between the time domain, for which the measured values are extrapolated, and the time domain, for which the transition line has effect, extrapolated values determine the absolute level and the hydrograph determine the curve shape.
- 15 25. The apparatus according to one or more of the preceding apparatus claims, further comprising means which consider each network edge in a road network as a potential bottleneck.
26. The apparatus according to one or more of the preceding apparatus claims, further comprising means which spread and / or receive early warnings of common media, such as TMC channel.
- 20 27. The apparatus according to one or more of the preceding device claims, comprising a device according to one or more of the following apparatus claims.
28. The apparatus of claim 17 for computer-aided calculation of quality characteristics of traffic conditions, to form statistical units on which quality characteristics are related to, to determine traffic conditions, **characterized in that** spatially and temporally closely correlated early warnings (type g) and fault messages (type z) are combined for all types to events ($e = g \cup z$), wherein early warning defines whether the risk of a collapse of traffic exists and the fault message defines whether in fact a collapse has occurred.
- 25 29. The device according to the preceding claim, wherein means are provided to form one or more of the following sets of events, in order to form the quality metrics, wherein:
- 30 Z: fault messages are part of e,
 G: early warnings are part of e,
 35 $Z \cap G$: fault reports and early warnings are part of e,
 $! Z \cap G$: only early warnings are part of e,
 $Z \cap !G$: only fault messages are part of e, and wherein when
Z -related quality indicators the
 true positive rate $TPR = | Z \cap G | / | Z |$, and the
 40 false negative rate : $FNR = | Z \cap !G | / | Z |$ are used, while always maintaining the relationship $FNR = 1 - TPR$
 is fulfilled
 and wherein
as G -related quality indicators of
 positive predictive value : $PPV = | Z \cap G | / | G |$ and the false positive rate : $FPR = | !Z \cap G | / | G |$ are used,
 45 while always maintaining the relationship $FPR = 1 - PPV$ applies.
30. The device according to one or more of the preceding two apparatus claims, further comprising means for tracking the warning threshold for variation in the forecast period, according to the relationship
- 50
- $$P_{bd}(\Delta T) = 1 - (1 - P_{bd}(\Delta t))^{\frac{\Delta T}{\Delta t}}$$
- with P_{bd} = warning level of early warning [%],
 ΔT = desired forecast period (e.g. 15 minutes) [min]
 55 Δt = reference forecast period [min].
31. The device according to one or more of the preceding three claims, further comprising means for determining the

operating characteristic of the early warning system, and all the settings for the parameters of the forecast period and warning threshold are run through, determining the resulting amount of early warnings and fault events, the quality indicators are measured and entered in a quality graph.

- 5 32. The device according to the preceding claims, further comprising that the information quality of early warning is specifically set by recourse to the operating characteristic of the early warning system.
33. Device according to one or more of the preceding device claims, **characterized in that** a network connection to external sensors exists, of which current traffic data will be obtained.

10

Revendications

- 15 1. Une méthode pour générer des alertes précoces signalant des ruptures de trafic comportant les étapes suivantes :
- une estimation dynamique de la capacité de goulots d'étranglement dans le réseau de routage,
 - la détermination de la demande courant au niveau des goulots d'étranglement,
 - la détermination de la demande attendue d'un horizon prédictible sélectionné au niveau des goulots d'étranglement, sur la bases des demandes courant au niveau des goulots d'étranglement,
 - 20 - le déclenchement d'alertes précoces dès que la probabilité d'une rupture de trafic calculée à partir de la demande attendue et de la capacité dynamique, excède une limite, un seuil d'alerte.

- 25 2. La méthode selon la revendication précédente, comprenant en outre :
- l'estimation de la capacité des goulots d'étranglement au sein du réseau de routage, en prenant en compte le fait que la capacité des goulots d'étranglement est une variable aléatoire suivant une distribution de Weibull.

- 30 3. La méthode selon la revendication précédente, comprenant en outre l'équation

$$Pbd(q)=1-\exp(-(q/b)^a)$$

(la distribution Weibull) calculant la probabilité Pbd d'une rupture de trafic, en fonction du niveau de trafic mesuré, circulant vers les goulots d'étranglement, dans laquelle les paramètres a et b sont déterminés par des méthodes conventionnelles d'ajustement mathématique à partir d'observations ou de mesures, ayant pour information les circulations de trafic ($q(t)=Q_arr(A,t)$) pour lesquelles des ruptures de trafic sont intervenues.

- 35 4. La méthode selon l'une ou plusieurs des revendications précédentes, comportant en outre :

40 la détermination de la demande courante au niveau des goulots d'étranglement au moyen de données courantes et/ou historiques relatives au volume de trafic.

- 45 5. La méthode selon l'une ou plusieurs des revendications précédentes, comprenant en outre la détermination de la demande attendue pour un horizon prévisible sélectionnable au moyen d'une extrapolation, en particulier au moyen d'une extrapolation à base de ligne de transition.

6. La méthode selon l'une ou plusieurs des revendications précédentes, comprenant en outre le fait qu'entre le domaine temporel pour lequel des valeurs mesurées sont extrapolées et le domaine temporel pour lequel la ligne de transition est effective, on réalise une interpolation.

- 50 7. La méthode selon l'une ou plusieurs des revendications précédentes, comprenant en outre le fait qu'entre le domaine temporel pour lequel des valeurs mesurées sont extrapolées et le domaine temporel pour lequel la ligne de transition est effective, les valeurs de l'extrapolation et de la ligne de transition sont moyennées et pondérées.

- 55 8. La méthode selon l'une ou plusieurs des revendications précédentes, comprenant en outre le fait qu'entre le domaine temporel pour lequel des valeurs mesurées sont extrapolées et le domaine temporel pour lequel la ligne de transition est effective, les valeurs extrapolées déterminent le niveau absolu et la ligne de transition détermine la forme d'onde.

EP 2 047 448 B1

9. La méthode selon l'une ou plusieurs des revendications précédentes, comprenant en outre le fait que chaque arrête de réseau doit être considérée comme un goulot d'étranglement potentiel au sein du réseau de routage.

5 10. La méthode selon l'une ou plusieurs des revendications précédentes, comprenant en outre des alertes précoces diffusées sur un média commun, tel qu'un canal TMC.

11. La méthode selon l'une ou plusieurs des revendications précédentes, dans laquelle une méthode selon l'une ou plusieurs des revendications de procédés 12-17 est utilisée pour la formation d'unités statistiques.

10 12. La méthode selon la revendication 1, à laquelle sont liées des caractéristiques de qualité, pour la détermination de conditions de trafic, **caractérisée en ce que** des alertes précoces (de type g) étroitement corrélées au niveau spatial et temporel ainsi que des recouvrement de type de messages d'erreur (type z) sont combinés à des événements (e = g ∪ z), dans laquelle l'alerte précoce définit s'il existe un risque de rupture de trafic tandis que le message d'erreur définit si une rupture est intervenue.

15 13. La méthode selon la revendication précédente, dans laquelle un ou plusieurs des événements qui suivent servent d'indicateurs de qualité, dans lesquels :

Z: messages d'erreur parties de e,

20 G: alertes précoces parties de e,

Z ∩ G: rapport d'erreur et alertes précoces parties de e,

! Z ∩ G: uniquement des alertes précoces sont parties de e,

Z ∩ | G: uniquement des messages d'erreur sont parties de e, et dans laquelle on considère comme étant des indicateurs de qualité relatifs à Z :

25 le niveau positif vrai **TPR** = | Z ∩ G | / | Z | , et

le niveau négatif faux : **FNR** = | Z ∩ !G | / | Z | utilisé, tout en maintenant en permanence la relation **FNR** = 1 - TPR , et dans laquelle on considère comme étant des indicateurs de qualité relatives à G :

la valeur prédictive positive **PPV** = | Z ∩ G | / | G | et

30 le niveau positif faux : **FPR** = | !Z ∩ G | / | G | utilisé, tout en maintenant en permanence la relation **FPR** = 1 - PPV.

14. La méthode selon l'une ou plusieurs des deux revendications précédentes, comprenant en outre le suivi du niveau d'alerte

35
$$P_{bd}(\Delta T) = 1 - (1 - P_{bd}(\Delta t))^{\frac{\Delta T}{\Delta t}}$$

avec P_{bd} = niveau d'alerte de l'alerte précoce [%],

Δt = période prévisionnelle souhaitée (par exemple 15 minutes) [min],

ΔT = période prévisionnelle de référence [min]

40 au sein d'une variation de la période prévisionnelle.

15. La méthode selon l'une ou plusieurs des trois revendications précédentes, comprenant en outre le fait que pour déterminer les caractéristiques fonctionnelles du système d'alerte précoce, tous les réglages de paramètres de la période prévisionnelle et du seuil d'alerte sont parcourus, pour la détermination du total des cas d'erreur et alertes précoces, des indicateurs de qualité étant mesurés et saisis au sein d'une courbe de qualité.

16. La méthode selon la revendication précédentes, comprenant en outre le fait que la qualité d'information d'une alerte précoces est spécifiquement fixée en recourant à la caractéristique fonctionnelle du système d'alerte précoce.

50 17. Un appareil pour la génération assistée par ordinateur d'alertes précoces de ruptures de trafic, comprenant des moyens :

- d'estimation dynamique de la capacité de goulots d'étranglement au sein du réseau de routage,

- de détermination de la demande courante au niveau des goulots d'étranglement,

55 - de détermination de la demande attendue pour un horizon prévisionnel sélectionnable, sur la base de la demande courante au niveau des goulots d'étranglement,

- de déclenchement d'alertes précoces dès que la probabilité d'une rupture de trafic, calculée sur la base de

la demande attendue et de la capacité dynamique excède une limite, le seuil d'alerte.

18. L'appareil selon la revendication précédente, comportant en outre des moyens pour estimer la capacité des goulots d'étranglement au sein du réseau de routage, en prenant en compte le fait que la capacité des goulots d'étranglement est une variable aléatoire suivant une distribution de Weibull.

19. L'appareil selon la revendication précédente, comportant en outre des moyens prenant en compte l'équation

$$Pbd(q)=1-\exp(-(q/b)^a)$$

(la distribution Weibull) calculant la probabilité Pbd d'une rupture de trafic, en fonction du niveau de trafic mesuré, circulant vers les goulots d'étranglement, dans lequel les paramètres a et b sont déterminés par des méthodes conventionnelles d'ajustement mathématique à partir d'observations ou de mesures, ayant pour information les circulations de trafic ($q(t)=Q_{arr}(A,t)$) pour lesquelles des ruptures de trafic sont intervenues.

20. L'appareil selon l'une ou plusieurs des revendications de dispositif précédente, comportant en outre des moyens :

de détermination de la demande courante au niveau des goulots d'étranglement au moyen de données courantes et/ou historiques relatives au volume de trafic.

21. L'appareil selon l'une ou La méthode selon l'une ou plusieurs des revendications précédente, comprenant en outre la détermination de la demande attendue pour un horizon prévisible sélectionnable au moyen d'une extrapolation, en particulier au moyen d'une extrapolation à base de ligne de transition.

22. L'appareil selon l'une ou plusieurs des revendications de dispositifs précédente, comprenant en outre des moyens grâce auxquels, entre le domaine temporel pour lequel des valeurs mesurées sont extrapolées et le domaine temporel pour lequel la ligne de transition est effective, on réalise une interpolation.

23. L'appareil selon l'une ou plusieurs des revendications de dispositifs précédente, comprenant en outre des moyens qui sont conçus de manière à ce qu'entre le domaine temporel pour lequel des valeurs mesurées sont extrapolées et le domaine temporel pour lequel la ligne de transition est effective, on moyenne et on pondère les valeurs de l'extrapolation et de la ligne de transition.

24. L'appareil selon l'une ou plusieurs de revendications de dispositif précédente, comprenant en outre des moyens conçus grâce auxquels entre le domaine temporel pour lequel des valeurs mesurées sont extrapolées et le domaine temporel pour lequel la ligne de transition est effective, les valeurs extrapolées déterminent le niveau absolu et la ligne de transition détermine la forme d'onde.

25. L'appareil selon l'une ou plusieurs des revendications de dispositif précédente, comprenant en outre des moyens pour considérer chaque arrête de réseau comme un goulot d'étranglement potentiel au sein du réseau de routage.

26. L'appareil selon l'une ou plusieurs de revendications de dispositif précédent, comprenant en outre des moyens de diffusion et/ou de réception d'alertes précoces sur un média commun, tel qu'un canal TMC.

27. L'appareil selon l'une ou plusieurs des revendications de dispositif précédent, comprenant un dispositif selon l'une ou plusieurs des revendications d'appareil qui suivent.

28. L'appareil selon la revendication 17 pour un calcul assisté par ordinateur des caractéristiques de qualité des conditions de trafic, pour la formation d'unités statistiques afférentes aux caractéristiques de qualité, pour la détermination des conditions de trafic, **caractérisé en ce que** des alertes précoces (de type g) étroitement corrélées au niveau spatial et temporel ainsi que des recouvrement de type de messages d'erreur (type z) sont combinés à des événements ($e = g \cup z$), dans laquelle l'alerte précoce définit s'il existe un risque de rupture de trafic tandis que le message d'erreur définit si une rupture est intervenue.

29. Le dispositif selon la revendication précédente, dans lequel on dispose de moyens pour former un ou plusieurs des événements qui suivent, à des fins d'indicateurs de qualité, dans lesquels :

EP 2 047 448 B1

Z: messages d'erreur parties de e,

G: alertes précoces parties de e,

$Z \cap G$: rapport d'erreur et alertes précoces parties de e,

$!Z \cap G$: uniquement des alertes précoces sont parties de e,

$Z \cap |G$: uniquement des messages d'erreur sont parties de e, et dans laquelle on considère comme étant des indicateurs de qualité relatifs à Z :

le niveau positif vrai $TPR = |Z \cap G| / |Z|$, et

le niveau négatif faux : $FNR = |Z \cap !G| / |Z|$ utilisé, tout en maintenant en permanence la relation $FNR = 1 - TPR$, et dans laquelle on considère comme étant des indicateurs de qualité relatives à G :

la valeur prédictive positive $PPV = |Z \cap G| / |G|$ est

le niveau positif faux : $FPR = |!Z \cap G| / |G|$ utilisé, tout en maintenant en permanence la relation $FPR = 1 - PPV$.

30. Le dispositif selon l'une ou plusieurs des deux revendications de dispositif précédentes, comprenant en outre des moyens de suivi du niveau d'alerte au sein d'une variation de la période prévisionnelle, en fonction de la relation :

$$P_{bd}(\Delta T) = 1 - (1 - P_{bd}(\Delta t))^{\frac{\Delta T}{\Delta t}}$$

avec P_{bd} = niveau d'alerte de l'alerte précoce [%],

Δt = période prévisionnelle souhaitée (par exemple 15 minutes) [min],

ΔT = période prévisionnelle de référence [min].

31. Le dispositif selon l'une ou plusieurs des trois revendications précédentes, comprenant en outre des moyens pour déterminer les caractéristiques fonctionnelles du système d'alerte précoce, et tous les réglages de paramètres de la période prévisionnelle et du seuil d'alerte qui sont parcourus, pour la détermination du nombre total des cas d'erreur et alertes précoces, des indicateurs de qualité étant mesurés et saisis au sein d'une courbe de qualité.

32. Le dispositif selon les revendications précédentes, dans lequel la qualité de l'information d'une alerte précoce est spécifiquement fixée par le recours aux caractéristiques de fonctionnement du système d'alerte précoce.

33. Le dispositif selon l'une ou plusieurs des revendications de dispositif précédentes, **caractérisé en ce qu'**une connexion réseau est établie avec des capteurs externes, pour l'obtention de données de trafic courant.

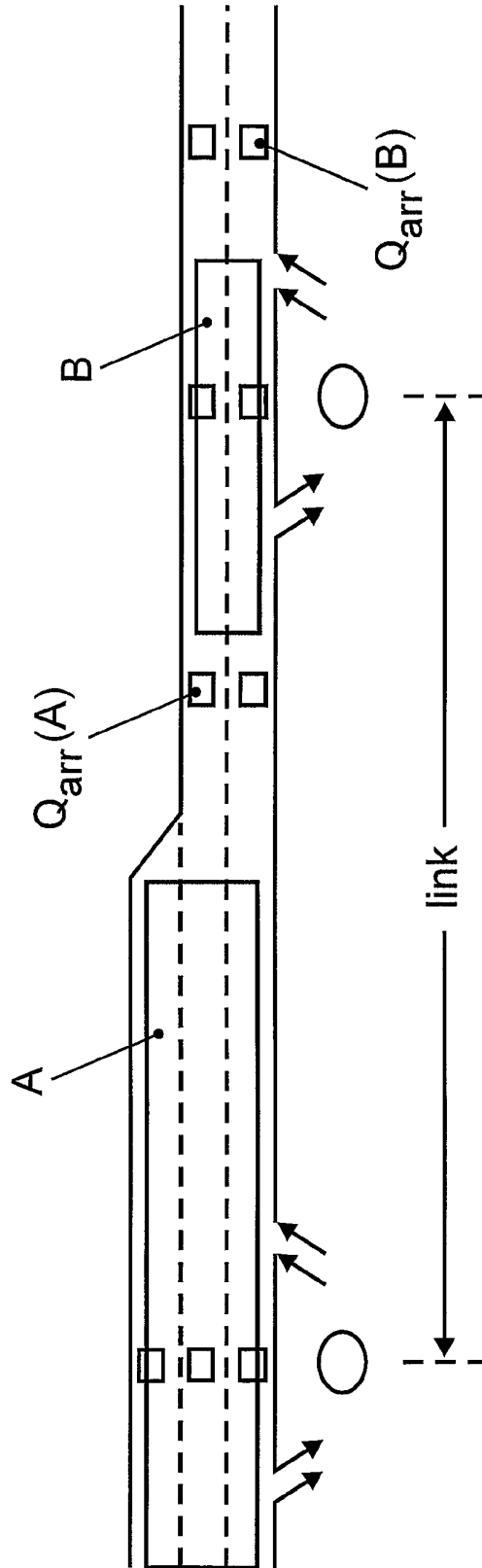


Fig. 1

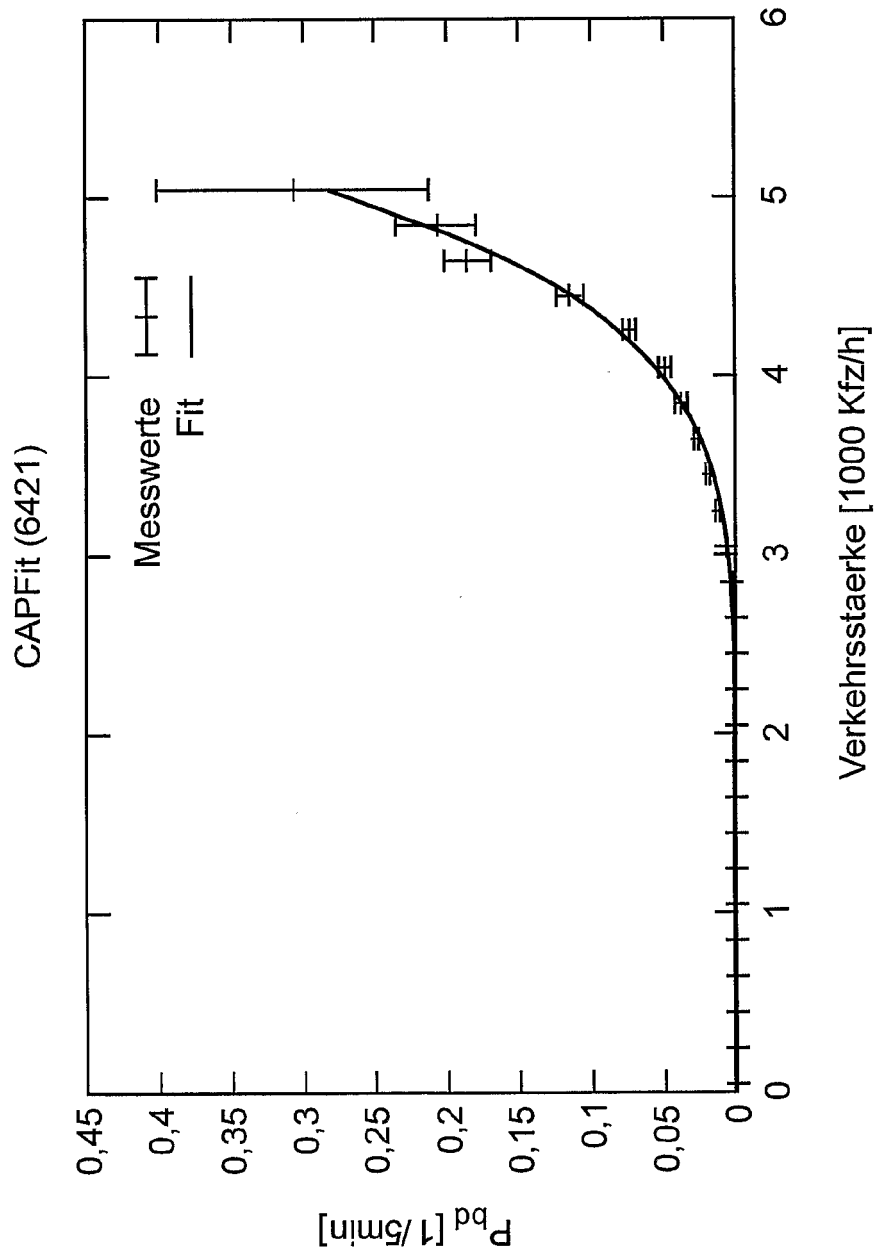


Fig. 2

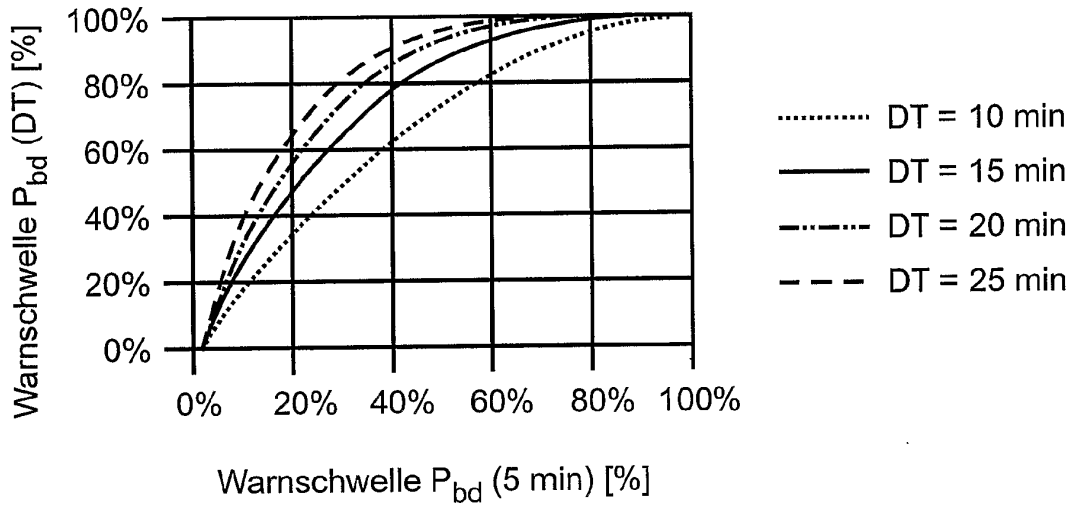


Fig. 3

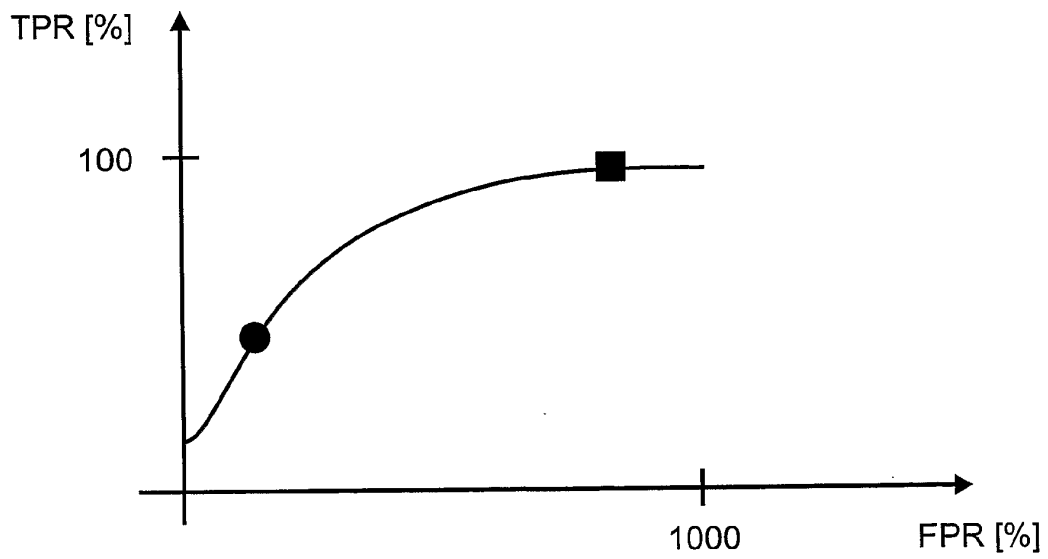


Fig. 4

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 1657693 A [0006]
- DE 19954971 A1 [0007]
- US 202120389 A1 [0009]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- Kapazität von Straßen als Zufallsgröße. **BRILON, W. ; ZURLINDEN, H.** Straßenverkehrstechnik. April 2004, 164-172 [0005]
- **BRILON, W. ; ZURLINDEN, H.** Kapazität von Straßen als Zufallsgröße. *Straßenverkehrstechnik*, April 2004, 164-172 [0052]