

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 480 183 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

24.11.2004 Patentblatt 2004/48

(51) Int Cl.7: **G08G 1/07**, G08G 1/08

(21) Anmeldenummer: **03011372.4**

(22) Anmeldetag: **19.05.2003**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IT LI LU MC NL PT RO SE SI SK TR**

Benannte Erstreckungsstaaten:

AL LT LV MK

(71) Anmelder: **TransVer GmbH**

80538 München (DE)

(72) Erfinder: **Mück, Jürgen**

81539 München (DE)

(74) Vertreter: **Grünecker, Kinkeldey,**

**Stockmair & Schwanhäusser Anwaltssozietät
Maximilianstrasse 58**

80538 München (DE)

(54) Verfahren zur Bestimmung von Verkehrskenngrößen an Bedienstationen

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung von Verkehrskenngrößen an Bedienstationen zur Abfertigung einzeln bewegter Einheiten mit sich abwechselnden Sperr- und Durchlassphasen und mit einem vor der Bedienstation angeordneten Detektor mit

den Schritten eines Bereitstellens der Punkte eines Fundamentaldiagramms für die Bedienstation unter Verwendung der Detektordaten und eines Bestimmens wenigstens einer Untermenge von Punkten des Fundamentaldiagramms, die einem Verkehrszustand entspricht.

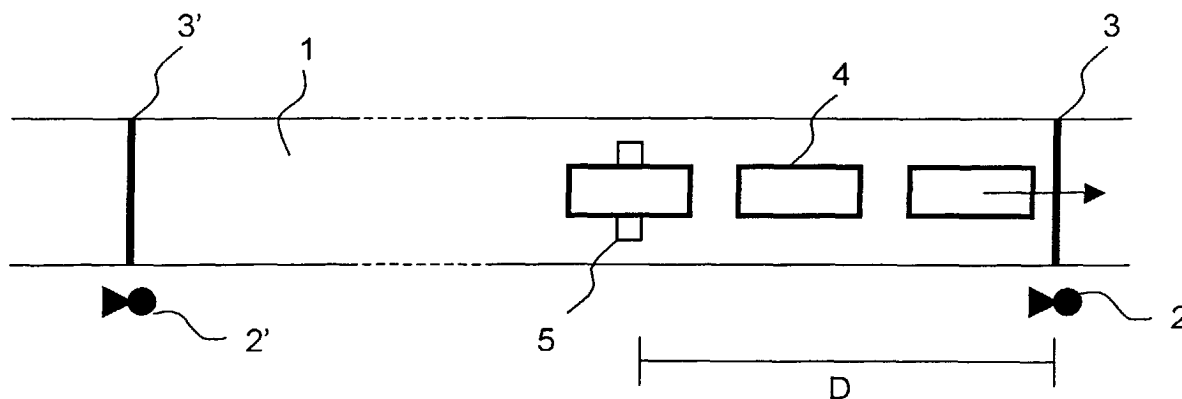


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung von Verkehrskenngrößen an Bedienstationen zur Abfertigung einzeln bewegter Einheiten mit sich abwechselnden Sperr- und Durchlassphasen und mit einem vor der Bedienstation angeordneten Detektor.

[0002] Die genannten Bedienstationen, wie beispielsweise Lichtsignalanlagen oder Schleusen, dienen üblicherweise dazu, den Verkehr einzeln bewegter Einheiten, wie beispielsweise Kraftfahrzeuge, zu regeln. Die Bedienstationen weisen Abfertigungsphasen auf, die aus einer Sperrphase und einer Durchlassphase bestehen.

[0003] Gerade bei dem heutigen Verkehrsaufkommen ist es von großer Bedeutung, die Verkehrsströme auf den Straßen in optimaler Weise zu lenken und zu steuern. Um beispielsweise Lichtsignalanlagen geeignet einzustellen und zu steuern, ist es nötig, Aussagen über die Verkehrsqualität von signalisierten Streckenabschnitten oder Lichtsignalanlagen-(LSA)Zufahrten zu treffen. Für die Messung der Qualität des Verkehrsflusses in LSA-Zufahrten oder der Qualität von "Grünen Wellen" gibt es bisher kein in der Praxis eingesetztes Verfahren, das mit Hilfe einfacher Detektion Verkehrskenngrößen von LSA-Zufahrten, wie die Kapazität (abfertigbare Anzahl von Fahrzeugen in einer Abfertigungsphase), Qualität der Koordinierung aufeinanderfolgender LSA in Abhängigkeit von der Auslastung, Informationen über die zeitliche Ausdehnung und Häufigkeit von Störungen und Überlastungen, bestimmen kann. Verkehrskenngrößen der zuvor genannten Art konnten bisher nur über aufwändige Messfahrten oder über Nachstellungen des Verkehrsflusses in Simulationen durchgeführt werden.

[0004] Die aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren weisen verschiedene Nachteile auf. Zum einen unterliegt die Beurteilung der Qualität von Grünen Wellen subjektiven Kriterien. Die Optimierung Grüner Wellen erfordert weiterhin einen hohen planerischen und EDV-gestützten Aufwand, wobei die entsprechenden Ergebnisse dennoch von Praktikern in Zweifel gezogen werden. Außerdem ist ein systematisches Qualitätsmanagement von Lichtsignalanlagen nur mit hohem Messaufwand möglich (z.B. Messfahrten). Auch der Vergleich der Leistungsfähigkeit (Performance) verschiedener Steuerungsverfahren für Lichtsignalanlagen kann nur mit großem Aufwand durchgeführt werden.

[0005] Es ist daher die Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren bereitzustellen, mit dem Verkehrskenngrößen an Bedienstationen mit geringem Aufwand bestimmt werden können.

[0006] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1. Dementsprechend stellt die Erfindung ein Verfahren zur Bestimmung von Verkehrskenngrößen an Bedienstationen zur Abfertigung einzeln bewegter Einheiten mit sich abwechselnden Sperr- und Durchlassphasen und mit einem vor der Bedienstation angeordneten Detektor mit den Schritten:

a) Bereitstellen der Punkte eines Fundamentaldiagramms für die Bedienstation unter Verwendung von Detektordaten und

b) Bestimmen wenigstens einer Untermenge von Punkten des Fundamentaldiagramms, die einem Verkehrszustand entspricht.

[0007] Unter einem Fundamentaldiagramm wird eine grafische Darstellung verstanden, welche die Beziehung zwischen der Verkehrsstärke (Zahl der Einheiten pro Zeiteinheit) und der Verkehrsdichte (Zahl der Einheiten pro Weglänge) angibt. Beide Größen, die Verkehrsstärke und die Verkehrsdichte, werden üblicherweise jeweils für vorbestimmte Zeitintervalle bestimmt und dann für jedes Zeitintervall als ein Punkt in dem Fundamentaldiagramm dargestellt. Jeder Punkt eines Fundamentaldiagramms gibt also die Beziehung zwischen der Verkehrsstärke und der Verkehrsdichte während eines Zeitintervalls an. Beide Größen können in geeigneter Weise normiert sein, indem sie beispielsweise durch ein Zeit- und/oder Längenintervall geteilt werden. In einem Fundamentaldiagramm kann die Verkehrsstärke über der Verkehrsdichte aufgetragen werden; alternativ können die Achsen auch vertauscht sein.

[0008] Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Verkehrsstärke und die Verkehrsdichte zu bestimmen und in dem Fundamentaldiagramm anzugeben. Beispielsweise kann die Verkehrsdichte durch explizites Beobachten und Zählen der Einheiten bestimmt werden. Alternativ kann die Verkehrsdichte auch durch die Belegungsdauer eines Detektors (Summe der Dauern der Belegung) innerhalb eines (Mess-) Intervalls angegeben werden. Die Belegungsdauer kann auch durch die Zeitdauer des Messintervalls dividiert werden, so dass dann die Verkehrsdichte durch den sogenannten Belegungsgrad angegeben wird. In dem Fundamentaldiagramm können in diesen Fällen, wie bereits zuvor erwähnt, Verkehrsstärke über Belegungsdauer bzw. Belegungsgrad oder mit vertauschten Achsen dargestellt werden.

[0009] In dem Fundamentaldiagramm wird erfindungsgemäß wenigstens eine Untermenge von Punkten bestimmt, die einem Verkehrszustand entspricht. Unter einem Verkehrszustand wird der Zustand des Verkehrsflusses insbesondere bei der Bedienstation verstanden, beispielsweise ob während eines Beobachtungsintervalls alle ankommenden Einheiten die Bedienstation passieren oder ein Stau entsteht. Es versteht sich, dass die Untermenge in dem Fundamentaldiagramm auch von der Anordnung des Detektors bezüglich der Bedienstation abhängt. Durch die Punkteuntermenge wird ein Bereich in dem Fundamentaldiagramm definiert.

[0010] Aus der wenigstens einen bestimmten Untermenge bzw. aus dem entsprechenden Bereich können dann Verkehrskenngrößen bestimmt werden. Insbesondere können aus der Anordnung und Form des Bereichs und/oder der Anzahl Punkte in der Untermenge Aussagen über Verkehrskenngrößen getroffen werden. Da ein Fundamentaldiagramm ohne großen Aufwand bestimmt werden kann, ermöglicht das erfindungsgemäße Verfahren eine einfache Bestimmung von Verkehrskenngrößen.

[0011] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung kann Schritt a) ein Bestimmen der Verkehrsstärke und der Belegungsdauer des Detektors umfassen. Beide Größen können auf verschiedene einfache Arten bestimmt werden. Für die Verkehrsstärke kann der Detektor beispielsweise während eines Beobachtungsintervalls einfach die Zahl der passierenden Einheiten zählen. Die Belegungsdauer kann in analoger Weise durch Addieren der Einzelbelegungsdauern des Detektors durch die Einheiten während eines Beobachtungsintervalls bestimmt werden. Alternativ können die Größen auch aus anderen Messgrößen bestimmt werden. Beispielsweise kann bei Kenntnis des Beginns der Sperrphase und der Verkehrsstärke (Zahl der Einheiten) Z die Belegungsdauer B durch die Näherung bestimmt werden:

$$B = Z \cdot B_{Fz} + (r - dt),$$

wobei B_{Fz} die mittlere Einzelbelegungsdauer einer Einheit (insbesondere eines Fahrzeugs), r die Dauer der Sperrphase (beispielsweise Rotphase bei einer Lichtsignalanlage) und dt die über den Detektor gemessene Füllzeit (Dauer von Beginn der Sperrphase bis Dauerbelegung des Detektors) bezeichnen.

[0012] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung kann in Schritt a) jeder Punkt des Fundamentaldiagramms jeweils für eine Abfertigungsphase bestimmt werden. Auf diese Weise kann bei Kenntnis der Menge der Abfertigungsphasen ein sehr präzises Fundamentaldiagramm erstellt werden. Allerdings müssen in diesem Fall die dargestellten Größen geeignet normiert werden, falls sich die Abfertigungsintervalle über einen längeren Beobachtungszeitraum gesehen ändern, wie dies für Lichtsignalanlagen häufig der Fall ist.

[0013] Alternativ kann in Schritt a) jeder Punkt des Fundamentaldiagramms für ein Zeitintervall unabhängig von der Länge der Abfertigungsphase bestimmt werden. Auf diese Weise ist ein Bestimmen des Fundamentaldiagramms auch ohne Kenntnis der genauen Abfertigungsphasen möglich. Insbesondere kann auf diese Weise eine Glättung des Fundamentaldiagramms erreicht werden. Außerdem wird auch das gesamte Verfahren vereinfacht, da auf Grund jeweils gleicher Zeitintervalle eine Normierung der dargestellten Größen nicht nötig ist; eine Normierung kann allerdings trotzdem durchgeführt werden, beispielsweise wenn ein Vergleich mit anderen Daten ermöglicht werden soll.

[0014] Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung aller zuvor beschriebenen Verfahren kann Schritt b) ein Bestimmen von wenigstens zwei Bereichen von Punkten, die durch eine vorbestimmte Funktion, vorzugsweise lineare Funktion, voneinander getrennt sind, umfassen.

[0015] Auf diese Weise erhält man eine einfache Aufteilung des Fundamentaldiagramms in verschiedene Bereiche, was auch eine einfache Zuordnung der Punkte des Fundamentaldiagramms zu den verschiedenen Bereichen ermöglicht. Die Punkte in einem Bereich bilden dann eine Untermenge.

[0016] Alternativ kann Schritt b) der zuvor beschriebenen Verfahren ein Aufteilen der Menge der Punkte in dem Fundamentaldiagramm in eine vorbestimmte Zahl von Untermengen oder in eine Zahl von Untermengen, wobei die Zahl zwischen 1 und einer vorbestimmten Maximalzahl liegt, umfassen.

[0017] In dieser Alternative sind insbesondere keine Vorkenntnisse über die Struktur der Punkteanordnung und/oder Größenordnungen des Fundamentaldiagramms nötig, da die Bestimmung der Untermengen direkt mittels der Punkte des Fundamentaldiagramms erfolgt. Falls jedoch Zusatzinformation vorhanden ist, beispielsweise über die Geometrie oder Kapazität einer Bedienstation, können diese Zusatzinformationen bei dem Aufteilen der Menge der Punkte in eine vorbestimmte Zahl von Untermengen verwendet werden.

[0018] In einer vorteilhaften Weiterbildung kann Schritt b) weiterhin ein Approximieren der Punkte jeder Untermenge durch eine Funktion, vorzugsweise lineare Funktion, umfassen.

[0019] Für die Approximation kann die Art der Funktion, beispielsweise dass es sich um eine lineare Funktion handelt, vorbestimmt sein; die Parameter der Ausgleichsfunktion werden dann durch die Approximierung bestimmt. Aus den Parametern der Ausgleichsfunktion (bspw. der Steigung und dem Ordinatenabschnitt bei einer Geraden) lassen sich in einfacher Weise gewünschte Verkehrskenngrößen bestimmen.

[0020] Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung kann Schritt b) ein Bestimmen eines Gütewerts für jede Approximation umfassen und die Schritte des Bereichsbestimmens bzw. Aufteilens, des Approximierens und des Gütewertbestimmens wiederholt werden, bis der Gütewert optimal ist.

[0021] Als Gütewert kann beispielsweise die quadratische Abweichung verwendet werden. Somit ergeben sich die Punkteuntermengen bzw. die Bereiche des Fundamentaldiagramms, für welche die Punkte durch beispielsweise vorbestimmte Arten von Funktionen optimal approximiert werden. In diesem Fall ist für das Bestimmen der Untermengen keine Vorkenntnis über das System nötig. Falls mehrere Optima auftreten, können zusätzliche Kriterien, beispielsweise bzgl. der relativen Anordnung der Bereiche, herangezogen werden, um die geeignetste Bereichsbestimmung zu er-

halten.

[0022] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung kann Schritt b) aller zuvor beschriebenen Verfahren ein Zuordnen jeder Untermenge zu einem Verkehrszustand umfassen. Dieses Zuordnen kann beispielsweise unter Verwendung von Fuzzy-Logic erfolgen. Daraus lässt sich dann in einfacher Weise die Qualität des Verkehrsflusses bestimmen, indem überprüft wird, welche Verkehrszustände auftreten. Wenn außerdem jeder Punkt noch mit der Uhrzeit indiziert ist, zu der sein Wert ermittelt wurde, kann auch bestimmt werden, welche Verkehrszustände zu welchen Zeiten auftreten.

[0023] Vorzugsweise können die zuvor beschriebenen Verfahren ein Bestimmen von Verkehrskenngrößen zur Koordinierung in Bezug auf eine stromaufwärts angeordnete Bedienstation umfassen. Auf diese Weise kann die Qualität aufeinanderfolgender Bedienstationen ermittelt und durch eine geeignet modifizierte Einstellung bzw. Steuerung einer oder beider Bedienstation optimiert werden.

[0024] Bei den zuvor beschriebenen Verfahren ist vor der Bedienstation ein Detektor angeordnet. Vorzugsweise kann wenigstens ein weiterer Detektor in einem vorbestimmten Abstand vor der Bedienstation angeordnet werden. Dieser vorbestimmte Abstand kann auch 0 sein, so dass der Detektor direkt bei der Bedienstation angeordnet ist. Durch einen weiteren Detektor kann insbesondere ein zweites Fundamentaldiagramm bereitgestellt werden. Für gewisse Verkehrszustände (bspw. bei einer idealen Koordinierung aufeinanderfolgender Bedienstationen, so dass kein Fahrzeug oder nur wenige vor der Bedienstation zum Halten kommen) können präzisere Informationen gewonnen werden, wenn ein Detektor nahe der Bedienstation angeordnet ist. Umgekehrt ist es bspw. bei einem ungeordneten Ansammeln von Einheiten vor der Bedienstation von Vorteil, wenn ein Detektor einen weiteren Abstand von der Bedienstation aufweist. Diese unterschiedlichen Szenarien können durch ein Bereitstellen von wenigstens zwei Detektoren und ein Bestimmen von jeweiligen Fundamentaldiagrammen in verbesserter Form berücksichtigt werden.

[0025] Die vorliegende Erfindung stellt außerdem ein Verfahren zur Kalibrierung von Pulkmodellen mit den Schritten bereit:

Bereitstellen eines Pulkmodells mit Anfangsparametern für eine Bedienstation, Bestimmen von Verkehrskenngrößen an der Bedienstation gemäß einem der zuvor beschriebenen Verfahren,

[0026] Anpassen der Parameter des Pulkmodells in Abhängigkeit der bestimmten Verkehrskenngrößen.

[0027] Pulkmodelle bilden das Verhalten von Strömen von einzeln bewegten Einheiten zwischen Bedienstationen ab. Das erfindungsgemäße Verfahren bietet somit eine Möglichkeit, mit geringem Aufwand ein solches Pulkmodell zu kalibrieren, was eine theoretische Beschreibung (Modellierung) des Verkehrs an den Bedienstation ermöglicht. Damit kann dann auch die Einstellung aufeinanderfolgender Bedienstationen optimiert werden.

[0028] Weiterhin stellt die Erfindung ein Verfahren zur Steuerung einer Bedienstation zur Abfertigung einzeln bewegter Einheiten mit den Schritten bereit:

[0029] Bestimmen von Verkehrskenngrößen an der Bedienstation gemäß einem der zuvor beschriebenen Verfahren,

[0030] Steuern der Bedienstation in Abhängigkeit der bestimmten Verkehrskenngrößen.

[0031] Eine solche Steuerung kann offline oder online erfolgen. In ersterem Fall werden die Daten über einen bestimmten Zeitraum bestimmt und anschließend mittels des Verfahrens ausgewertet. Bei einer online-Steuerung können beispielsweise einmal zu Beginn die Punkteuntermengen und damit auch die Bereiche in einem Fundamentaldiagramm bestimmt werden. Anschließend werden weiterhin Punkte für das Fundamentaldiagramm berechnet, und es wird direkt für jeden Punkt ausgewertet, in welchen Bereich er fällt. Dies bedeutet insbesondere, dass bei einer Verschlechterung der Verkehrsqualität, beispielsweise bei Auftreten eines Staus, die Bedienstation in geeigneter veränderter Weise angesteuert werden kann.

[0032] Durch die Erfindung wird außerdem ein Computerprogrammprodukt bereitgestellt, welches direkt in den Arbeitsspeicher eines digitalen Computers geladen werden kann und Befehlscodeabschnitte umfasst, mit denen die Schritte eines der zuvor beschriebenen Verfahren ausgeführt werden, wenn das Computerprogrammprodukt auf einem Computer läuft.

[0033] Weiterhin wird ein Computerprogrammprodukt bereitgestellt, welches auf einem computerlesbaren Medium gespeichert ist und computerlesbare Programmmittel umfasst, mit denen die Schritte der zuvor beschriebenen Verfahren ausgeführt werden, wenn das Computerprogrammprodukt auf einem Computer läuft.

[0034] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung werden an Hand der folgenden Ausführungsbeispiele und Zeichnungen erläutert.

Figur 1 stellt schematisch die Anordnung eines Detektors vor einer Lichtsignalanlage dar;

Figur 2 stellt schematisch verschiedene Bereiche in einem Fundamentaldiagramm dar;

Figur 3 stellt ein Weg/Zeit-Diagramm für den Fall idealer Koordinierung dar;

- Figur 4 illustriert das Fundamentaldiagramm für eine gute Koordinierung;
- Figur 5 stellt ein Weg/Zeit-Diagramm für eine schlechte Koordinierung dar;
- Figur 6 stellt ein Weg/Zeit-Diagramm für eine frühe Ankunft eines Pulks dar;
- Figur 7 ist ein Flussdiagramm für die Bestimmung von durch Funktionen getrennte Bereiche;
- Figur 8 ist ein Fundamentaldiagramm mit bestimmten Bereichen, die nach dem in Figur 7 illustrierten Verfahren bestimmt wurden;
- Figur 9 illustriert ein Fundamentaldiagramm mit bestimmten Bereichen, wobei die Menge der Punkte in Untermen-
gen aufgeteilt wurden;
- Figur 10 stellt schematisch die Kalibrierung eines Pulkmodells dar; und
- Figur 11 illustriert schematisch die Koordinierung von Lichtsignalanlagen entlang einer Ring-Einbahnstraße.

[0035] Figur 1 illustriert ein Beispiel einer dem Verfahren zu Grunde liegenden Geometrie für den Fall von Lichtsignalanlagen als Bedienstation an einer Straße. Entlang einer Straße 1 sind zwei Bedienstationen, in diesem Fall Lichtsignalanlagen 2 und 2' angeordnet. Bei jeder Lichtsignalanlage ist eine Haltlinie 3 bzw. 3' auf der Straße angeordnet. Bei der dargestellten Straße handelt es sich um eine Einbahnstraße, auf der sich Fahrzeuge 4 von links nach rechts bewegen, wie durch den Pfeil angedeutet wird. In einem vorbestimmten Abstand D vor der Haltlinie ist ein Detektor 5 angeordnet.

[0036] An Lichtsignalanlagen wie der gezeigten LSA 2 hat die Koordinierung mit einer vorgelagerten Anlage (LSA 2') einen wesentlichen Einfluss auf die Punktemengen des Fundamentaldiagramms. Abhängig von der Ankunftszeit eines Pulks von Fahrzeugen innerhalb eines Umlaufs (Abfertigungsphase) stellen sich geringe oder hohe Belegungsdauern des Detektors ein. Diese Belegungsdauern, die im Fundamentaldiagramm in Zusammenhang mit der Verkehrsbelastung ausgewertet werden können, lassen umgekehrt wieder Aussagen über die Bedienqualität herannahender Fahrzeuge ableiten. Damit können auch Aussagen über die Koordinierung oder über eine "Grüne Welle" zwischen der LSA 2 und der ihr vorgelagerten Anlage 2' ermöglicht werden.

[0037] Ein Beispiel für die möglichen Bereiche eines Fundamentaldiagramms für Lichtsignalanlagen ist in Figur 2 gezeigt. Bei dieser Darstellung ist die Belegungsdauer B über der Fahrzeugzahl Z dargestellt. Wie bereits früher erwähnt, ist jedoch auch eine Vertauschung der Achsen bzw. eine Normierung der dargestellten Größen möglich. In dem gezeigten Diagramm bezeichnen weiterhin Z_{det} die mittlere Zahl von Fahrzeugen, die sich zwischen Detektor und Haltlinie aufstellen können, Z_{max} die Kapazität (maximale Fahrzeugzahl) je Messintervall und B_{max} die maximale Belegungsdauer bei einer Dauerbelegung des Detektors, die einem Mess- bzw. Beobachtungsintervall entspricht. In dem Fundamentaldiagramm sind weiterhin Beispiele für mögliche Bereiche gekennzeichnet. Es soll nochmals betont werden, dass die hier eingezeichneten Bereiche rein beispielhaft zu verstehen sind und von Fall zu Fall in Form, Anordnung und Anzahl variieren können. Insbesondere kann eine "gröbere" oder "feinere" Einteilung in verschiedene Bereiche gewählt werden.

GA (Green Arrival)	Punkte in diesem Bereich sprechen für eine gute oder sogar ideale Koordinierung. Für Messpunkte links von Z_{det} lässt sich im Allgemeinen keine Aussage über eine Koordinierung treffen.
MN (Measurement Noise)	Hier kommen bei einer bestimmten Verkehrsstärke erste Fahrzeuge auf dem Detektor zum Stehen. Die Fahrzeugankünfte und Aufstellvorgänge können häufig einen stochastischen Charakter aufweisen, so dass sich hier eine verrauschte Belegungsdauer ergeben kann.
FA (Free Arrival)	Punkte in diesem Bereich entsprechen den Fällen, dass Fahrzeuge "zufällig" über die gesamte Rotzeit (Sperrphase) verteilt an der Lichtsignalanlage ankommen.
EA (Early Arrival)	Ankommende Fahrzeugpuls erreichen die Lichtsignalanlage regelmäßig vor Grünbeginn und kommen für eine gewisse Zeit zum Stehen.
LA (Late Arrival)	Die letzten Fahrzeuge eines ankommenden Pulks erreichen die Lichtsignalanlage, nachdem das Signal gerade auf "gesperrt" übergegangen ist. Diese Fahrzeuge müssen die gesamte Gesperrtzeit warten.

(fortgesetzt)

OS (Oversaturation)	Dieser Bereich kennzeichnet einen Zustand der Übersättigung beispielsweise durch eine zu kurze Freigabezeit (Durchlassphase) oder durch Störungen im Abfluss.
---------------------	---

[0038] Bei dem Bereich GA kann man im Falle von zwei aufeinander folgenden Lichtsignalen von einer guten oder sogar idealen Koordinierung sprechen. Die in einem Pulk ankommenden Fahrzeuge treffen ausschließlich während der Freigabezeit (Durchlassphase) an der Haltlinie der Lichtsignalanlage ein. Ein entsprechendes Weg/Zeit-Diagramm ist in Figur 3 gezeigt. Die x-Achse entspricht hier dem Weg, wobei zur besseren Übersicht in diesem Diagramm ebenfalls die Haltlinien 3' und 3 eingezeichnet sind. Ein während einer Grünphase 6 durchgelassener Pulk 7 trifft bei der nachfolgenden Lichtsignalanlage ebenfalls auf eine Grünphase (hier mit 8 bezeichnet) und wird durchgelassen. Die Länge der Grünphase wird mit g, die Länge der Rotphase mit r und die Gesamtlänge einer Abfertigungsphase mit c bezeichnet.

[0039] Geht man von der Annahme aus, dass der Pulkbeginn auch bei zunehmender Fahrzeugzahl Z immer zum gleichen Zeitpunkt an der empfangenden Signalanlage ankommt, gibt es eine Grenze der Verkehrsbelastung, ab der zusätzliche Fahrzeuge vor der zweiten LSA zum Halt kommen. Bis dieser Fall erreicht ist, ergibt sich die Belegungsdauer innerhalb der Umlaufzeit c als

$$B = Z \cdot B_{Fz} \quad (1)$$

[0040] Die Größe B_{Fz} in [s/Fz] stellt dabei die durchschnittliche Belegzeit des Detektors bei der Überfahrt eines Fahrzeugs dar. Die Gesamtbelegungsdauer ist proportional zur Zahl der passierenden Fahrzeuge. Daraus erklärt sich die Lage und die Steigung des entsprechenden Zustandsbereichs in dem Beispiel, das in Figur 2 gezeigt ist.

[0041] Unterschreitet die Verkehrsbelastung Z die Zahl Z_{det} der Fahrzeuge, die sich zwischen Detektor und Haltlinie aufstellen können, und liegt keine Überlastung vor, so kann die Belegungsdauer B unabhängig von der Art der Koordinierung keine Werte höher als in Gleichung (1) einnehmen.

[0042] Ein Simulationsergebnis für die Messung einer guten Koordinierung ist in Figur 4 gezeigt. In diesem Fundamentaldiagramm stellt die x-Achse die Verkehrsstärke und die y-Achse die Belegungsdauer dar. Jeder Punkt entspricht der Beobachtung in einem Messintervall.

[0043] Für eine schlechte Koordinierung (Bereich LA) können im Allgemeinen zwei Möglichkeiten in Betracht kommen:

[0044] Ein Pulk kann "zu früh" ankommen, und die Fahrzeuge kommen zum Halt, bevor sie zu Freigabebeginn wieder starten können. Alternativ kann ein Teil des Pulks durch ein zu frühes Ende der Freigabe gezwungen werden, vor der LSA stehen zu bleiben. Die gestoppten Fahrzeuge müssen dann näherungsweise während der gesamten Gesperrtzeit warten.

[0045] Ein Beispiel für letzteren Fall ist in Figur 5 illustriert. Wenn eine Anzahl Z_0 an Fahrzeugen je Umlauf überschritten wird, so stellen sich die verbleibenden Fahrzeuge hinter der Haltlinie auf. Sobald mehr als Z_{det} Fahrzeuge zum Halt kommen, steigt die Belegungsdauer sprunghaft um etwa die Gesperrtzeit an. Geht man in erster Näherung davon aus, dass die Belegungsdauer durch die Überfahrten unverändert im Vergleich mit dem Fall guter Koordinierung ist, und dass die Stoßwellen für den Aufstellvorgang und den Anfahrvorgang vergleichbare Steigung haben, lässt sich für

$$Z - Z_0 \geq Z_{det} \quad (2)$$

abschätzen:

$$B = Z \cdot B_{Fz} + r \quad (3)$$

[0046] An der Stelle $Z' = Z_0 + Z_{det}$ findet ein Sprung vom Bereich GA zu dem Bereich LA statt, so dass beim Messen von Z' die Zahl der durchfahrenden Fahrzeuge berechnet werden kann zu:

$$Z_0 = Z' - Z_{det} \quad (4)$$

[0047] Bleibt der Pulkbeginn durch die vorgelagerte LSA unabhängig von der Zahl Z der Fahrzeuge in der gleichen Weg/Zeit-Position, so kann man für alle Fahrzeuge $Z - Z_0$ sagen, dass sie ebenfalls etwa für die Dauer der Gesperrtzeit zum Stehen kommen. Damit kann einerseits der Prozentsatz der Durchfahrten gemäß dem "Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen", Ausgabe 2001 (abgekürzt HBS), für die Bestimmung der "Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs" berechnet werden zu:

$$D = \frac{Z - Z_0}{Z} \quad (5)$$

[0048] Außerdem kann die durch die Koordinierung bedingte Gesamtwarezeit abgeschätzt werden durch

$$W = (Z - Z_0)r \quad (6)$$

[0049] Bei den Bereichen FA und EA kommen Fahrzeuge während der Gesperrtzeit, jedoch nicht schon zu deren Beginn an. Im Falle des Bereichs EA kommen die Fahrzeuge als geschlossener Pulk an, allerdings während der Gesperrtzeit. Dann lässt sich die Belegungsdauer für diesen Zustand analog zur Gleichung (3) berechnen zu:

$$B = Z \cdot B_{Fz} + r' \quad (7)$$

wobei die gleichen Beschränkungen bzgl. des linken Rands der Punktmenge gelten. Das Weg/Zeit-Diagramm für diesen Fall ist in Figur 6 gezeigt. Die Zeit r' ist die Zeitdauer, während der der Fahrzeugpulk warten muss.

[0050] Möglich ist allerdings auch der Fall, dass Fahrzeuge während der Gesperrtzeit nach und nach eintreffen (Bereich FA). Wenn dies mit zunehmender Fahrzeugzahl in dichter werdendem Abstand geschieht, nimmt die Wahrscheinlichkeit einer hohen Belegungsdauer des Detektors zu. Dieser Prozess kann aber sehr stochastisch sein, so dass eine entsprechende Punktmenge in einem Fundamentaldiagramm häufig ein starkes Rauschen zeigt.

[0051] Eine Überlastung entsteht, wenn nicht alle vorhandenen Fahrzeuge innerhalb eines Umlaufs abfließen können. Ursache hierfür können zu kurze Freigabezeiten oder Störungen im Abfluss sein. Der entsprechende Bereich OS grenzt an den der schlechten Koordinierung LA an. Liegt eine Überlastung auf Grund zu geringer Freigabezeit vor, und kann ein Schwerpunkt der entsprechenden Punkte in einem Fundamentaldiagramm bestimmt werden, so stellt dieser Z_{Stau} -Wert die Kapazität der Spur dar.

[0052] Liegen andererseits Störungen im Abfluss einer LSA vor, kann die Freigabezeit nur eingeschränkt genutzt werden. Die Zahl der gemessenen Fahrzeuge sinkt, gleichzeitig steigt aber die Belegungsdauer durch Stop-and-Go-Verkehr auf dem Detektor auch während der Freigabezeit. Im Grenzfall (Komplettsperrung) werden 0 Fahrzeuge gezählt, während die Belegungsdauer dem Messintervall (im vorliegenden Fall die Umlaufdauer bzw. Dauer der Abfertigungsphase c) entspricht. Wenn wiederum ein Schwerpunkt (Z_{Stau} , B_{Stau}) der entsprechenden Punktmenge in dem Fundamentaldiagramm bestimmt werden kann, welcher der entsprechenden Kapazität entspricht, kann ein linearer Ansatz für die Lage der Messpunkte (Punkte im Fundamentaldiagramm) bei Störungen die Form haben:

$$B = \left(1 - \frac{Z}{Z_{Stau}}\right) \cdot (c - B_{Stau}) + B_{Stau} \quad (8)$$

wobei B_{Stau} gleich der maximalen Belegungsdauer B_{max} ohne Störung ist. Daraus lässt sich ein (messbarer) Indikator für die Stärke einer Störung ableiten:

$$s = \left(1 - \frac{Z}{Z_{Stau}}\right) \quad (9)$$

[0053] Aus auf diese Weise bestimmten Bereichen, insbesondere auch aus einer Identifizierung der Bereiche und

ihrer Grenzen, lassen sich (beispielsweise aus Messungen über einen Tag) Verkehrskenngrößen wie die Kapazität, die Zahl der Fahrzeuge die zum Halt kommen, Wartezeiten, Koordinierungsqualitätsstufen nach HBS oder andere Vorgaben und/oder Hinweise über eine effektive Verschiebung der Wellenlage bestimmen. Die entsprechenden Kenngrößen (außer der Kapazität) können auch für bestimmte Zeitbereiche angegeben werden, beispielsweise der Art, dass in der Morgenspitzenzeit eine Überlastung von 8:30 bis 9:15 dauert, in diesem Zeitbereich für 15 Minuten eine Störung durch stromabwärts vorhandene Behinderungen vorlag, sich eine gute Koordinierung über 70 % des Tages einstellte, und zwar bei Belastungen unter ca. 450 Fahrzeugen je Stunde, die Freigabezeit bei Belastungen über 450 Fz/h zu früh endete, sowie dass bei maximaler Auslastung das Freigabeende um 5 Fz/10s erhöht werden müsste.

[0054] Für das Bestimmen der Bereiche in einem Fundamentaldiagramm kann es nützlich sein, wenn Zusatzinformation beispielsweise über die Lichtsignalanlage bekannt ist. Die durchschnittliche Zeit, in der ein Detektor während der Überfahrt eines Fahrzeugs belegt ist, kann abgeschätzt werden durch:

$$B_{Fz} = \frac{L_{Fz,ind}}{v} \approx \frac{6m}{13.9m/s} = 0.45s \quad (10)$$

[0055] Wenn als zweite Größe die Gesperrzeit r der Lichtsignalanlage bekannt ist, kann das in Figur 7 illustrierte Verfahren zur Bestimmung von Bereichen verwendet werden. In diesem Beispiel berechnet ein Ablaufdiagramm für jeden Messpunkt (B, Z) die Zuordnung zu einem der Bereiche, indem eine Folge von Ungleichungen (Schranken) durchgegangen wird. In diesem Beispiel kann allerdings nicht zwischen dem Bereich FA und EA unterschieden werden. Um diese einzeln zu bestimmen, müssen zusätzliche Kriterien herangezogen werden. Bei dem dargestellten Verfahren werden Bereiche unterschieden, die durch lineare Funktionen, die in den Ungleichungen gegeben sind, getrennt sind. Explizit werden die Bereiche durch die folgenden Geraden getrennt

$$B(Z) = B_{Fz,u} \cdot Z + 5$$

$$B(Z) = B_{Fz,u} \cdot Z + r - 5$$

$$B(Z) = B_{Fz,o} \cdot Z + r + 5$$

wobei $B_{Fz,u}$ und $B_{Fz,o}$ eine untere und eine obere Abschätzung für die durchschnittliche Belegungsdauer des Detektors bei Überfahrt eines Fahrzeugs bezeichnen, die beispielsweise mit 0,4s und 0,6s abgeschätzt werden können. Bei diesem Verfahren bzw. den Gleichungen wird eine "Toleranzbreite" für die Abweichung von einem idealen Verlauf mit einer Belegung von 5s angesetzt.

[0056] Das Fundamentaldiagramm mit den resultierenden bestimmten Bereichen ist in Figur 8 gezeigt. Es ist zu berücksichtigen, dass die in dem Fundamentaldiagramm dargestellten Geraden nicht die Grenzen zwischen den Bereichen angeben, sondern Ausgleichsgeraden für die Punkte der jeweiligen Bereiche sind. Das dargestellte Beispiel stammt aus einer Simulation einer realen Verkehrsanordnung.

[0057] Die statistische Auswertung der einzelnen Punkteuntermengen führt zu folgenden Daten:

Bereich Guter Koordinierung (GA)	
Regressionsgleichung (0-Durchgang)	$B = 0.56 \cdot Z$
Bestimmtheitsmaß	$R^2 = 0.88$
Zahl Umläufe	404
Obere Grenze	$Z \leq 12$

[0058] In über 60% der gemessenen Umläufe liegt somit eine gute Koordinierung mit der stromaufwärts liegenden LSA vor.

Bereich zwischen Guter und Schlechter Koordinierung (FA/EA)	
Regressionsgleichung	$B = 2.7 \cdot Z - 14$
Bestimmtheitsmaß	$R^2 = 0.4$
Zahl Umläufe	123
Untere Grenze	$Z > 7$
Obere Grenze	$Z \leq 17$

[0059] Die relativ große Steigung weist darauf hin, dass die während der Gesperrzeit ankommenden Fahrzeuge nicht im Pulk ankommen.

Bereich Schlechter Koordinierung (LA)	
Regressionsgleichung	$B = 1.3 \cdot Z + 25$
Bestimmtheitsmaß	$R^2 = 0.22$
Zahl Umläufe	12
Untere Grenze	$Z > 11$
Obere Grenze	$Z \leq 17$

Bereich der Übersättigung (OS)	
Regressionsgleichung	$B = -1.5 \cdot Z + 87$
Bestimmtheitsmaß	$R^2 = 0.74$
Zahl Umläufe	59
Untere Grenze	$Z > 10$
Obere Grenze	$Z \leq 17$

[0060] Die zwei letzten Tabellen legen nahe, dass die LSA eigentlich "gut in der Welle" liegt, und dass vor allem Störungen im Abfluss die Verkehrsqualität beeinträchtigen. Betrachtet man die Regressionsgleichung für Abschnitt OS, so bestätigen der Wert des Ordinatenabschnitts (87s) und das Bestimmtheitsmaß von 0.74 Gleichung (8).

[0061] Ein anderes Verfahren zur Bestimmung der Bereiche in einem Fundamentaldiagramm kann die folgende Form haben, wobei bei diesem Verfahren die Menge der Punkte in dem Fundamentaldiagramm in eine Zahl zwischen 1 und einer vorbestimmten Maximalzahl von Untermengen aufgeteilt wird. Bei dem im Folgenden beschriebenen Verfahren wird die Fahrzeugzahl über der Belegungsdauer in dem Fundamentaldiagramm aufgetragen; das Verfahren kann jedoch auch in analoger Weise für vertauschte Achsen durchgeführt werden. Die Menge der Punkte wird bzgl. der x-Achse in verschiedene Bereiche geteilt, wobei die Punkte in jedem Bereich durch eine Regressionsgerade beschrieben werden sollen. Die so erhaltenen Bereiche entsprechen verschiedenen Zustandsbereichen.

[0062] Das Verfahren besteht aus den folgenden Schritten:

1. Zunächst werden alle Punkte der Menge (Messpunkte für das Fundamentaldiagramm) in aufsteigender Reihenfolge ihrer Belegungsdauer sortiert, d.h., es wird eine entsprechende Liste erstellt.

2. Danach wird die Menge der Punkte bzgl. der Belegungsdauer in Untermengen bzw. Blöcke aufgeteilt, wobei die Zahl der Blöcke, in die die Menge der Punkte aufgeteilt wird, zwischen 1 und einer vorbestimmten Maximalzahl n liegt. Für $n = 1$ ist die Untermenge gleich der gesamten Menge der Punkte. Diese Aufteilung erfolgt nach vorbestimmten Kriterien und wird gemäß dieser Kriterien mehrfach wiederholt, so dass eine Liste von unterschiedlichen Aufteilungen in bis zu n Untermengen der Menge der Punkte vorliegt. Die Zahl der Punkte in einer Untermenge und die Grenzen variieren zwischen den einzelnen Aufteilungen.

3. Jeder Untermenge bzw. jedem Block einer Aufteilung wird ein Zustandsbereich (z.B. AG,..., OS) zugeordnet.

Dies kann beispielsweise über eine Fuzzy-Logikgestützte statistische Analyse der Punkteverteilung des entsprechenden Blocks geschehen.

4. Anschließend wird überprüft, ob die Reihenfolge dieser bestimmten Zustandsbereiche, die sich aus der Reihenfolge der Blöcke der Aufteilung ergibt, erlaubt ist, mit anderen Worten, ob die so erhaltenen Bereiche eine - nach vorbestimmten Kriterien - erlaubte Anordnung in dem Fundamentaldiagramm ergeben. Aufteilungen, die nicht erlaubte Reihenfolgen ergeben, werden ausgeschlossen.

5. Zuletzt werden die verbleibenden Aufteilungen jeweils mittels einer Gütefunktion bewertet und auf Grund dessen die "beste" Aufteilung ausgewählt.

[0063] Nach dem Sortieren der Punkte im ersten Schritt, kann die Aufteilung des Wertebereichs der Menge der Punkte rekursiv erfolgen, ausgehend von einem ungeteilten Wertebereich als einen zusammenhängenden Block. Die Aufteilung eines Blocks in zwei Blöcke wird auf die folgende Weise realisiert (andere Möglichkeiten zur Aufteilung sind jedoch auch denkbar):

1. Alle vorhandenen Punkte (Messwerte) eines Blocks dienen als mögliche Teilungspunkte für die Aufteilung in zwei Teilblöcke. Für die Punkte jedes der zwei auf diese Weise erhaltenen Teilblöcke wird der Zusammenhang zwischen Belegungsdauer und Fahrzeugzahl über eine Regressionsgerade angenähert.

2. Es wird der Teilungspunkt gesucht, für den die Summe der mit der Anzahl der Elemente n_i gewichteten Standardschätzfehler $s_{Z,B,i}$ der Blöcke i für die Fahrzeugzahl minimal ist:

$$PI = n_1 \cdot s_{Z,B,1} + n_2 \cdot s_{Z,B,2} \rightarrow \min$$

[0064] Ausgehend vom Anfangszustand (ein Block für den gesamten Bereich der Belegungsdauer) wird nacheinander jeder Block in zwei Blöcke aufgeteilt, davon ausgehend wird dann nacheinander wieder jeder Block aufgeteilt und so weiter. Die Äste der Rekursion enden in diesem Beispiel bei 4 Blöcken, so dass eine Liste von Aufteilungen mit je 1 bis 4 Blöcken entsteht. Wenn der Verkehr an einer LSA, wie oben beschrieben, in 6 Zustandsbereiche AG, ..., OS aufgeteilt wird, kann die Aufteilung in bis zu 6 Blöcke erfolgen. Eine geringere Anzahl von Blöcken ist jedoch auch möglich und vereinfacht das Verfahren. Umgekehrt kann, falls der Verkehr in eine andere, insbesondere größere Anzahl von Verkehrszuständen klassifiziert wird, auch eine entsprechend andere Zahl von maximalen Untermengen gewählt werden.

[0065] Die folgende Tabelle zeigt das Ergebnis dieser Aufteilungen für ein Beispiel mit 721 Messwerten, wobei in der gezeigten Tabelle nur ein Ausschnitt der Liste der Aufteilungen dargestellt ist. Für jeden Block ist in der Tabelle jeweils der erste Wert (untere Grenze auf der Belegungsdauerachse) sowie die Zahl der Punkte in der Untermenge angegeben.

lfd.Nr	Block 1		Block 2		Block 3		Block 4	
	1.Wert	n	1.Wert	n	1.Wert	n	1.Wert	n
1	0	721						
2	0	145	22.75	576				
3	0	56	3.94	665				
4	0	530	30.27	191				
5	0	56	3.94	89	22.75	576		
6	0	13	0.53	43	3.94	89	22.75	576
7	0	56	3.94	27	11	62	22.75	576
8	0	145	22.75	116	26.32	269	30.27	191
9	0	145	22.75	385	30.27	80	31.46	111
10	0	13	0.53	43	3.94	665		
11	0	13	0.53	20	1.29	23	3.94	665
12	0	530	30.27	80	31.46	111		
13	0	530	30.27	70	31.31	10	31.46	111
14	0	530	30.27	80	31.46	32	31.96	79
15	0	13	0.53	132	22.75	576		
16	0	83	11	62	22.75	576		
17	0	83	11	62	22.75	385	30.27	191
18	0	56	3.94	27	11	638		
19	0	56	3.94	27	11	70	23.21	568
20	0	56	3.94	474	30.27	191		
21	0	56	3.94	474	30.27	80	31.46	111
22	0	261	26.32	269	30.27	191		
23	0	261	26.32	269	30.27	80	31.46	111
24	0	145	22.75	116	26.32	460		
25	0	145	22.75	116	26.32	349	31.46	111
26	0	145	22.75	465	31.46	111		
27	0	145	22.75	465	31.46	32	31.96	79
28	0	13	0.53	708				
29	0	33	1.29	23	3.94	665		
30	0	33	1.29	23	3.94	89	22.75	576
31	0	13	0.53	20	1.29	688		
32	0	13	0.53	20	1.29	112	22.75	576
33	0	610	31.46	111				
34	0	600	31.31	10	31.46	111		

[0066] Anschließend wird jedem Block eine Aufteilung ein Zustandsbereich (AG, FA, MN, EA, LA, OS) zugewiesen. Dies geschieht durch einen Vergleich verschiedener Kennwerte der Regressionsgeraden bzw. der Regressionsgeraden der gespiegelten Punktemenge gemäß vorbestimmter Kriterien. Als Kenngrößen werden dabei die Steigung, der Ordinatenabschnitt und der Standardschätzfehler sowohl der Regressionsgeraden der Menge der Punkte als auch der gespiegelten Menge der Punkte verwendet. Die Zugehörigkeit eines Blocks zu einem Zustandsbereich wird über Fuzzy-Logik-Abfragen geprüft. Die entsprechenden Fuzzy-Logik-Funktionen prüfen dabei auf Übereinstimmung oder Kleiner-gleich-Übereinstimmung von Kenngrößen mit vorbestimmten Werten. Entsprechend dieser Abfragen wird jedem Block ein Zustandsbereich zugewiesen, für den die Abfrage die beste Übereinstimmung ergibt.

[0067] Im nächsten Schritt (Schritt 4) werden die Aufteilungen herausgefiltert, die Reihenfolgen von Zustandsbereichen enthalten, die verkehrstechnischen Annahmen widersprechen. Die folgenden Kriterien könnten zu Grunde gelegt werden:

1. Zustandsbereiche sind nur in der Reihenfolge

GA→MN→FA→EA→LA→OS

erlaubt, wobei sich kein Zustandsbereich wiederholen darf. Lücken sind allerdings zulässig (beispielsweise die Folge GA → MN → EA → OS).

2. Ab einem bestimmten Abstand zwischen Detektor und Haltlinie (beispielsweise 20m) muss der erste Zustandsbereich der Bereich GA sein.

[0068] Gleichzeitig wird über eine Gütefunktion ein Gütewert für jede Aufteilung berechnet. Dies geschieht in dem folgenden Beispiel durch die Addition der mit der Zahl der Elemente n_i gewichteten Standardschätzfehler der Blöcke i , wobei bei allen Zustandsbereichen außer MN der Standardschätzfehler $s_{B,Z,i}$ für die Regressionsgerade der gespiegelten Punktemenge verwendet wird.

[0069] Anschließend wird die beste zulässige Aufteilung ausgewählt. Für das betrachtete Beispiel sind das Fundamentaldiagramm und die entsprechend bestimmten Zustandsbereiche in Figur 9 gezeigt. Man erkennt, dass schließlich die Punkte des Zustandsdiagramms in insgesamt drei Zustandsbereiche eingeteilt wurde, obwohl zunächst die maximale Zahl von Untermengen $n = 4$ betrug.

[0070] Die für die verkehrstechnische Beurteilung der Koordinierung wesentliche Information lässt sich aus der Regressionsgeraden des Bereichs EA in der gespiegelten Form des Fundamentaldiagramms ableiten:

$$B = 0.44 \cdot Z + 22.8$$

[0071] Dies bedeutet, dass der koordinierte Fahrzeugpulk der stromaufwärts liegenden LSA circa 23s zu früh an der Haltlinie der untersuchten LSA eintrifft.

[0072] Das erfindungsgemäße Verfahren benötigt lediglich aggregierte Detektordaten ohne eine Synchronisation mit LSA-Signalen. Das Verfahren kann auf verschiedenste Weise eingesetzt werden. Möglich ist beispielsweise ein Einsatz in einem zentralen Überwachungs- oder Monitoring-System zur permanenten Überwachung, ein temporärer Einsatz durch eine offline-Verwendung aggregierter Werte, die in LSA-Steuergeräten zwischengespeichert sind oder ein Einsatz als mobiles, infrastruktur-unabhängiges Verfahren, wenn temporär verlegbare Detektoren verwendet werden. Auch ein online-Einsatz in Steuergeräten oder Netzsteuerungen ist möglich, wo auch zeitlich fein aufgelöste Daten zur Verfügung stehen.

[0073] Um die Qualität Grüner Wellen zu untersuchen, können auf einem Streckenabschnitt auf allen relevanten Zufahrtsspuren über den Untersuchungszeitraum temporäre Detektoren vor den Lichtsignalanlagen verlegt werden. Diese sammeln Daten während eines bestimmten Zeitraums, beispielsweise eines Tages oder auch einer Woche. Nach Abschluss der Messungen werden die Daten auf einen Computer übertragen und mit dem erfindungsgemäßen Verfahren verarbeitet. Die auf diese Weise ausgewerteten Fundamentaldiagramme liefern dann insbesondere Hinweise auf Problembereiche des Streckenabschnitts.

[0074] Das Verfahren kann auch bei der online-Überwachung der Verkehrsqualität eingesetzt werden. Bereits heute empfangen viele Verkehrszentralen von Lichtsignalanlagen aggregierte Detektorwerte für Belegung und Verkehrsstärke. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können permanent online-Überwachungen des Verkehrsablaufs durchgeführt werden. Insbesondere kann eine automatisierte Auswertung des Zustandsbereichs OS durch geeignete Schwellwerte erfolgen, um entsprechende A-larmmeldungen auszulösen. Außerdem kann die Auslastung erfasst werden, um automatisch oder manuell in ein günstigeres Signalprogramm zu wechseln. Das Verfahren kann auch zur Kalibrierung von Pulkmodellen eingesetzt werden. Pulkmodelle haben das Ziel, die Ankunft von Fahrzeugen an einer Lichtsignalanlage aus den Kenndaten (beispielsweise Verkehrsbelastung, Abbiegeraten, Signalstellung, Entfernung) einer LSA im Zufluss zu berechnen. Eingesetzt werden Pulkmodelle z.B. in Netzsteuerungen, um Grüne Wellen online zu optimieren. Für die Fortbewegung der Fahrzeuge auf der Strecke werden vorab festgelegte Eigenschaften des Verkehrsflusses, z.B. die Progressionsgeschwindigkeit und/oder das Zeitverhalten der Pulkauflösung zu Grunde gelegt, um die Ankunftsverteilung an einer LSA zu bestimmen. Eine schematische Darstellung der Optimierung eines Pulkmodells ist in Figur 10 gezeigt. Dabei versucht ein Optimierungsalgorithmus die Schaltung von Grünphasen optimal an die Ankunftsverteilungen anzupassen. Die Kalibrierung kann Schritt für Schritt nach jeder neuen Messung des Fundamentaldiagramms oder auf Basis von gespeicherten Daten eines Zeitraums (z.B. eines Tages) für eine große Menge von Messungen auf einmal durchgeführt werden. Dabei kann eine Zielfunktion zu Grunde gelegt werden, die das Maß der Abweichung zwischen einem generierten Fundamentaldiagramm und einem gemessenen Fundamentaldiagramm bewertet.

[0075] Die Kalibrierung auf Grund einer größeren Menge gespeicherter Messpunkte kann sowohl online als auch offline durchgeführt werden. Sie kann außerdem während einer Inbetriebnahmephase durchgeführt werden, wobei die Optimierung der Koordinierung nach Abschluss der Kalibrierung erfolgt.

[0076] Eine einfache Variante des Kalibrierungsverfahrens wäre die Einschränkung auf einige Kenndaten des Fundamentaldiagramms, beispielsweise die Zahl der Fahrzeuge, ab der nicht mehr der vollständige Pulk während der Freigabe abfließen kann.

[0077] Weiterhin kann das erfindungsgemäße Verfahren zur Anpassung der Versatzzeit einer LSA bzgl. einer stromaufwärts gelegenen LSA verwendet werden, so dass die Flusszeit oder allgemein der Versatz minimiert wird. Dies kann auf Basis eines Güteindex (beispielsweise die geschätzten Gesamtverlustzeiten aller Fahrzeuge) oder an Hand bestimmter Kenngrößen des Fundamentaldiagramms (beispielsweise der Zahl der Fahrzeuge, ab der nicht mehr der vollständige Pulk während der Freigabe abfließen kann) geschehen. Die Versatzzeit zu einer vorgelagerten LSA kann

dabei auch abhängig von der Zahl der Fahrzeuge je Zeiteinheit durchgeführt werden, um konkurrierenden Anforderungen an die Koordinierung in verschiedenen Zufahrten der LSA gerecht zu werden.

[0078] Ein Beispiel für eine solche Versatzzeitoptimierung ist in Figur 11 gezeigt. Beispielhaft ist in dieser Figur eine Ringstraße gezeigt, die als Einbahnstraße gestaltet ist. Lichtsignalanlagen sind angeordnet, wo relevante Straßenzüge die Ringstraße queren. Da die zu koordinierende Strecke als Einbahnstraße ausgelegt ist, kann mit Hilfe des Verfahrens der vollständige Ring an Hand dieses Verfahrens optimal koordiniert werden. Lediglich eine Signalanlage 9, die gleichzeitig Anfangs- und Endquerschnitt des Rings darstellt, muss als Ruhepunkt von der Optimierung ausgenommen werden. Kriterium für die Auswahl dieser LSA kann der zufließende Streckenabschnitt sein, der verkehrlich die geringste Bedeutung aufweist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung von Verkehrskenngrößen an Bedienstationen zur Abfertigung einzeln bewegter Einheiten mit sich abwechselnden Sperr- und Durchlassphasen und mit einem vor der Bedienstation angeordneten Detektor mit den Schritten:

a) Bereitstellen der Punkte eines Fundamentaldiagramms für die Bedienstation unter Verwendung von Detektordaten und

b) Bestimmen wenigstens einer Untermenge von Punkten des Fundamentaldiagramms, die einem Verkehrszustand entspricht.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei Schritt a) ein Bestimmen der Verkehrsstärke und der Belegungsdauer des Detektors umfasst.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei in Schritt a) jeder Punkt des Fundamentaldiagramms jeweils für eine Abfertigungsphase bestimmt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei in Schritt a) jeder Punkt des Fundamentaldiagramms für ein Zeitintervall unabhängig von der Länge der Abfertigungsphase bestimmt wird.

5. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei Schritt b) ein Bestimmen von wenigstens zwei Bereichen von Punkten, die durch eine Funktion, vorzugsweise lineare Funktion, voneinander getrennt sind, umfasst.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 4, wobei Schritt b) ein Aufteilen der Menge der Punkte in dem Fundamentaldiagramm in eine vorbestimmte Zahl von Untermengen oder in eine Zahl von Untermengen, wobei die Zahl zwischen 1 und einer vorbestimmten Maximalzahl liegt, umfasst.

7. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei Schritt b) ein Approximieren der Punkte jeder Untermenge durch eine Funktion, vorzugsweise lineare Funktion, umfasst.

8. Verfahren nach Anspruch 7 in Kombination mit Anspruch 5 oder 6, wobei Schritt b) ein Bestimmen eines Gütewerts für jede Approximation umfasst und die Schritte des Bereichsbestimmens bzw. Aufteilens, des Approximierens und des Gütewertbestimmens wiederholt werden, bis der Gütewert optimal ist.

9. Verfahren nach einem der vorangegangenen Schritte, wobei Schritt b) ein Zuordnen jeder Untermenge zu einem Verkehrszustand umfasst.

10. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei wenigstens ein weiterer Detektor in einem vorbestimmten Abstand vor der Bedienstation angeordnet wird.

11. Verfahren zur Kalibrierung eines Pulkmodells mit den Schritten:

Bereitstellen eines Pulkmodells mit Anfangsparametern für eine Bedienstation,

Bestimmen von Verkehrskenngrößen an der Bedienstation gemäß dem Verfahren nach einem der vorange-

gangenen Ansprüche,

Anpassen der Parameter des Pulkmodells in Abhängigkeit der bestimmten Verkehrskenngrößen.

5 **12.** Verfahren zur Steuerung einer Bedienstation zur Abfertigung einzeln bewegter Einheiten mit den Schritten:

Bestimmen von Verkehrskenngrößen an der Bedienstation gemäß dem Verfahren nach einem der vorange-
gangenen Ansprüche,

10 Steuern der Bedienstation in Abhängigkeit der bestimmten Verkehrskenngrößen

13. Computerprogrammprodukt welches direkt in den Arbeitsspeicher eines digitalen Computers geladen werden kann
und Befehlscode-Abschnitte umfasst, mit denen die Schritte des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 - 12
ausgeführt werden, wenn das Computerprogrammprodukt auf einem Computer läuft.

15 **14.** Computerprogrammprodukt, welches auf einem computerlesbaren Medium gespeichert ist und computerlesbare
Programmmittel umfasst, mit denen die Schritte des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 - 12 ausgeführt
werden, wenn das Computerprogrammprodukt auf einem Computer läuft.

20

25

30

35

40

45

50

55

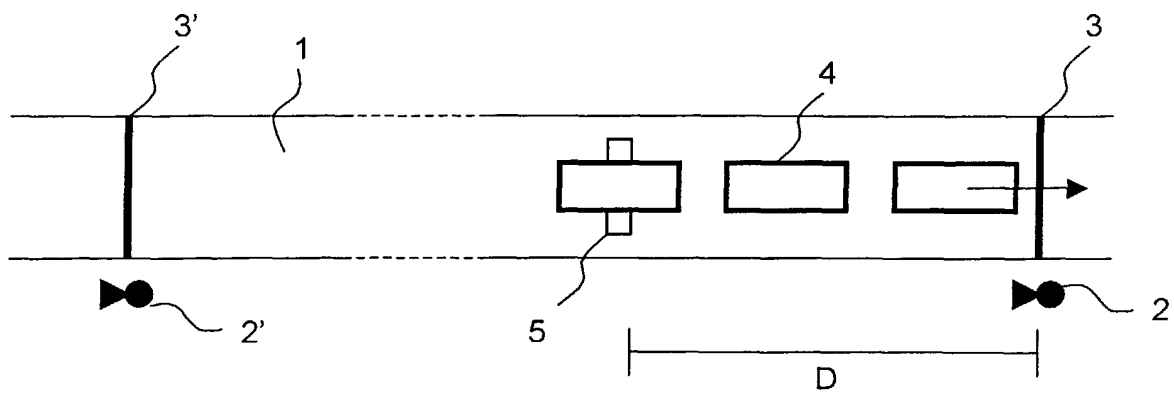


Fig. 1

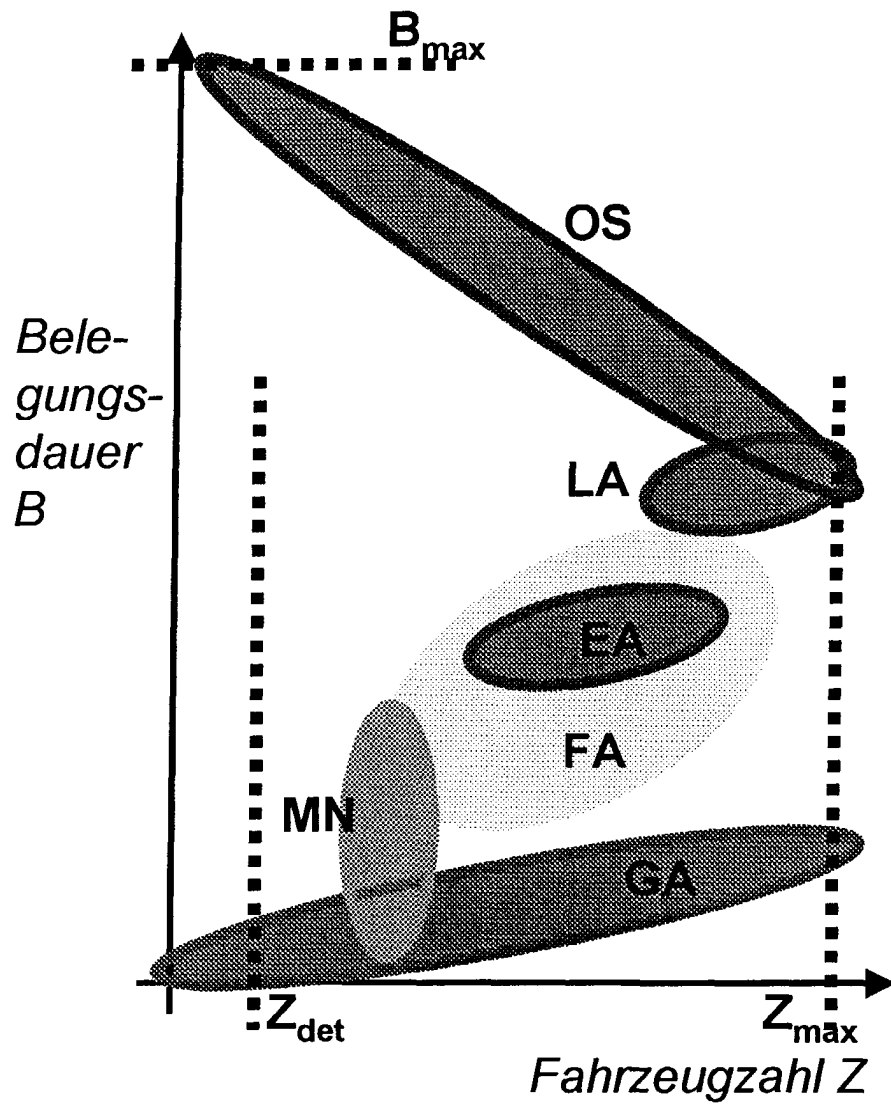


Fig. 2

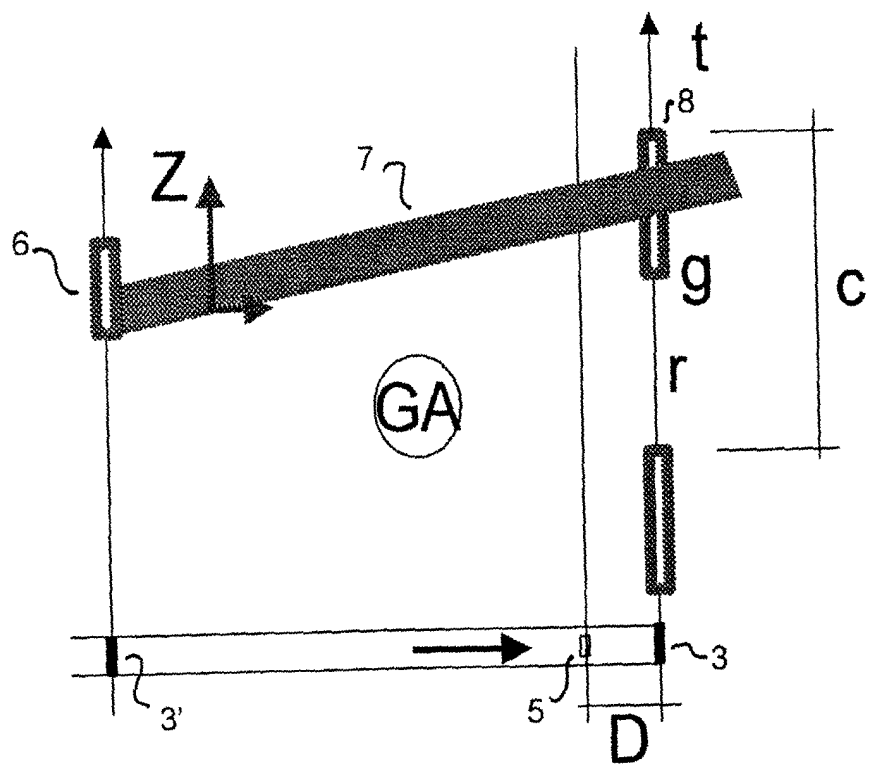


Fig. 3

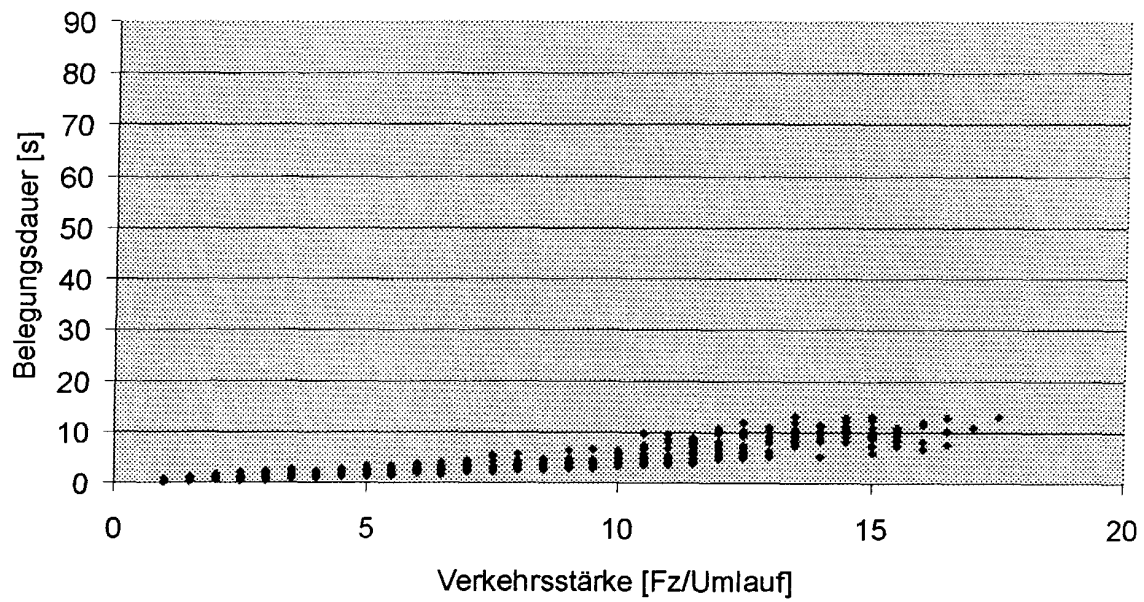


Fig. 4

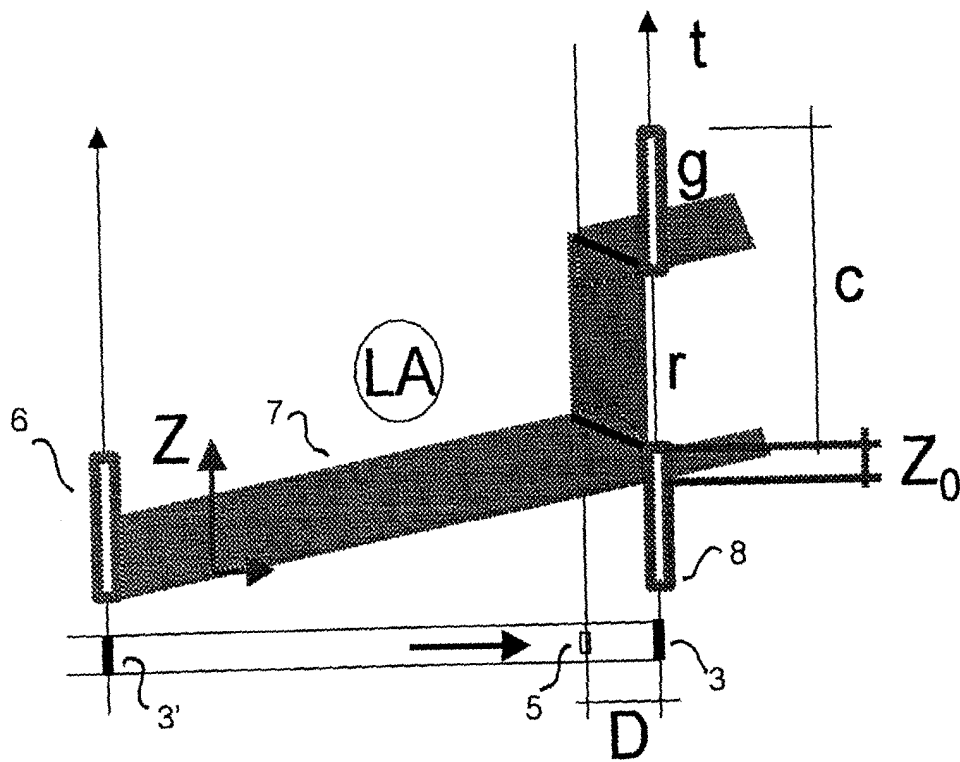


Fig. 5

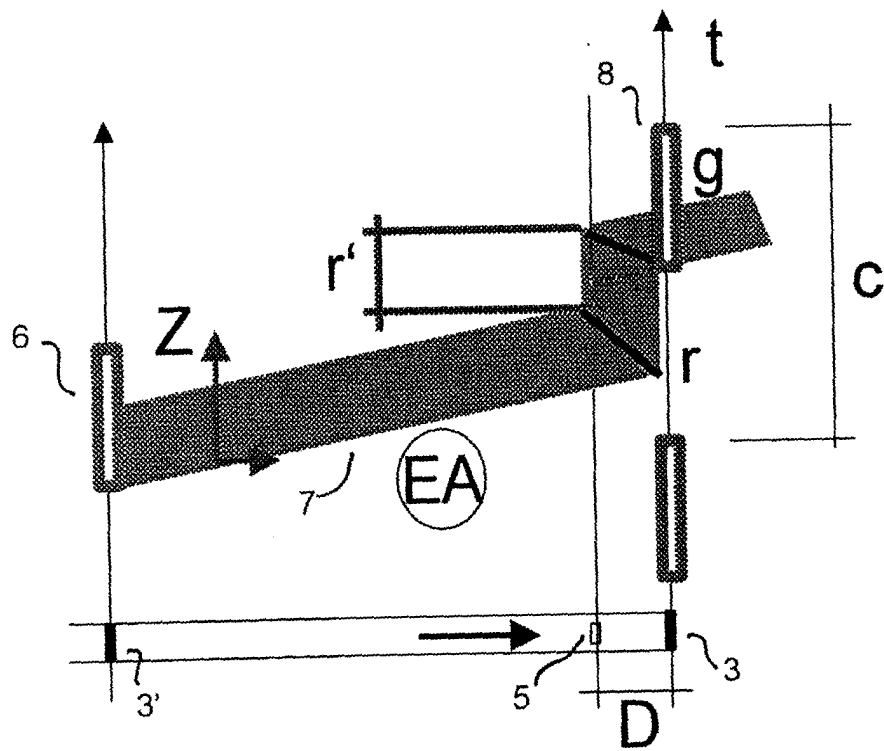


Fig. 6

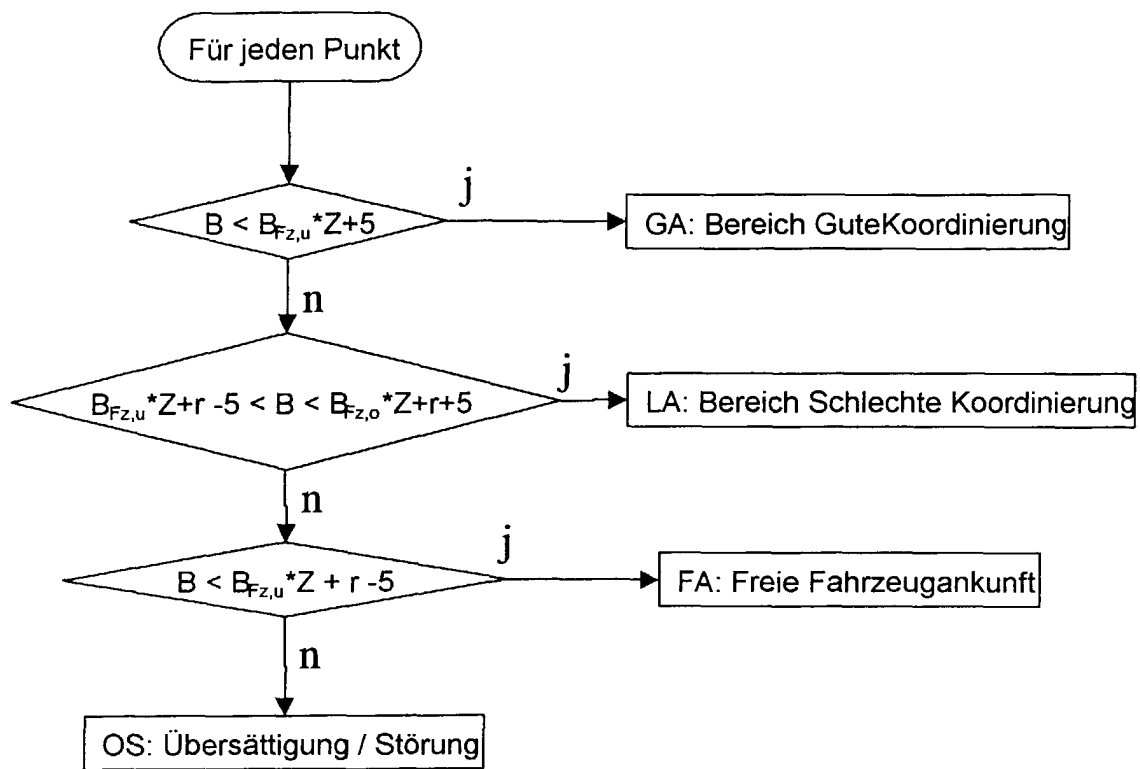


Fig. 7

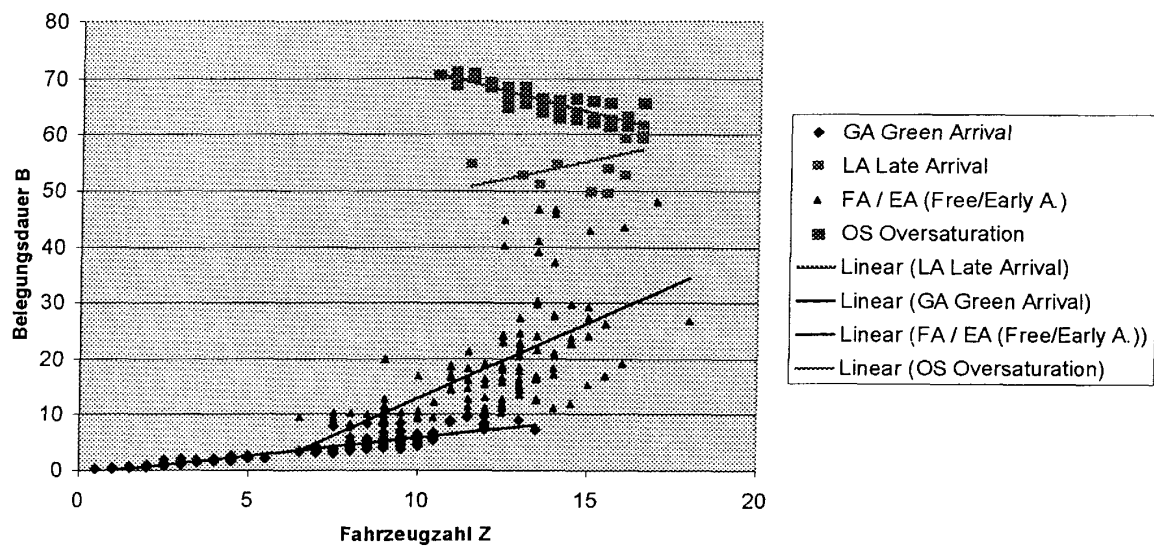


Fig. 8

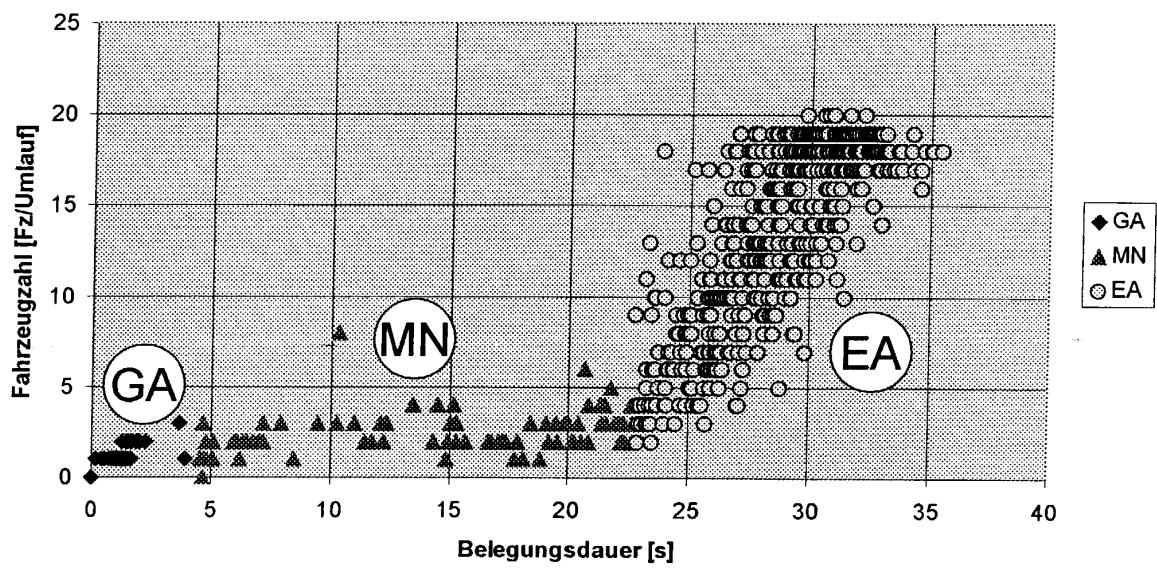


Fig. 9

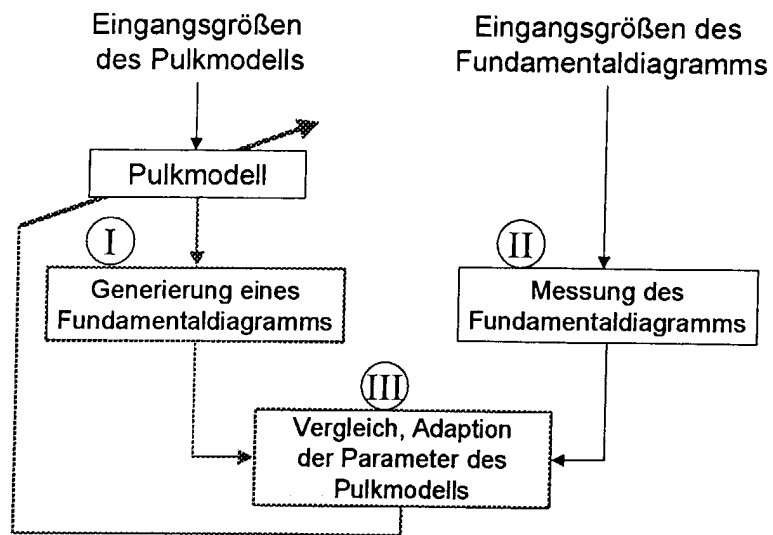


Fig. 10

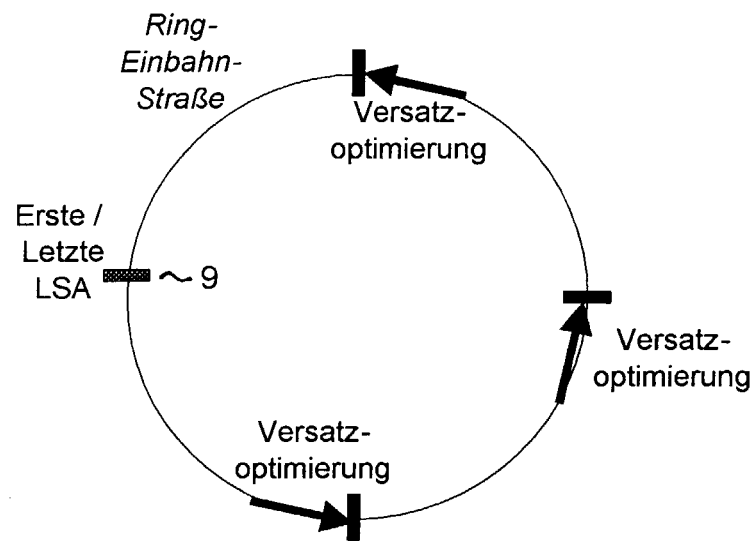


Fig. 11



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 03 01 1372

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
X A	FR 2 761 502 A (GLINEL MICHEL) 2. Oktober 1998 (1998-10-02) * Seite 4, Zeile 8-29 * * Seite 5, Zeile 21 - Seite 6, Spalte 37 * * Seite 8, Zeile 6-9 * * Seite 11, Zeile 12 - Seite 12, Zeile 22 * * Abbildungen 1-3 * ---	1,4-6, 11-14 2,3,7-10	G08G1/07 G08G1/08
X A	US 5 444 442 A (SADAKATA MAREO ET AL) 22. August 1995 (1995-08-22) * Spalte 1, Zeile 10-15 * * Spalte 2, Zeile 27-56 * * Spalte 4, Zeile 10-34 * * Spalte 5, Zeile 56 - Spalte 6, Zeile 31 * * Spalte 7, Zeile 28-59 * * Abbildungen 2,3,5 * ---	1,6, 12-14 2-5,7-11	
A	US 4 390 951 A (MARCY RAYMOND) 28. Juni 1983 (1983-06-28) * Spalte 2, Zeile 40 - Spalte 4, Zeile 51 *	1-14	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7) G08G
A	PAPAGEORGIOU M ET AL: "ALINEA: A LOCAL FEEDBACK CONTROL LAW FOR ON-RAMP METERING" TRANSPORTATION RESEARCH RECORD, TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, WASHINGTON, DC, US, 1989, Seiten 58-64, XP009015472 ISSN: 0361-1981 * Seite 59 * * Seite 61 * --- -/--	1-14	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort MÜNCHEN		Abschlußdatum der Recherche 7. Oktober 2003	Prüfer Massalski, M
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 03 01 1372

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE				
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)	
A	XU YANG ET AL: "GA-based Parameter Optimization For The ALINEA Ramp Metering Control" PROCEEDINGS OF THE 5TH IEEE CONFERENCE ON ITS, 3. September 2002 (2002-09-03), Seiten 627-632, XP010608364 * Abbildungen 3,5 *	1-14		
A	PAPAGEORGIOU M: "MEHRSCHICHTENREGELUNG DES VERKEHRSABLAUFS AUF SCHNELLSTRASSEN. MULTI-LEVEL CONTROL OF HIGHWAY TRAFFIC FLOW" REGELUNGSTECHNIK, OLDENBOURG VERLAG. MÜNCHEN, DE, Bd. 30, Nr. 5, 1. Mai 1982 (1982-05-01), Seiten 166-174, XP000649324 * Abbildung 2 *	1		
A	EP 1 276 085 A (TRANSVER GMBH) 15. Januar 2003 (2003-01-15) * Absätze [0001]-[0004] *	1		RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
A	EP 1 298 620 A (SIEMENS AG) 2. April 2003 (2003-04-02) * Absätze [0009],[0010]; Abbildung 1 *	1		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt				
Recherchenort MÜNCHEN		Abschlußdatum der Recherche 7. Oktober 2003	Prüfer Massalski, M	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument		

EPO FORM 1503 03 82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 03 01 1372

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

07-10-2003

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
FR 2761502	A	02-10-1998	FR 2761502 A1	02-10-1998
US 5444442	A	22-08-1995	JP 2816919 B2	27-10-1998
			JP 6150187 A	31-05-1994
US 4390951	A	28-06-1983	FR 2465283 A1	20-03-1981
			DE 3068036 D1	05-07-1984
			EP 0025388 A1	18-03-1981
EP 1276085	A	15-01-2003	EP 1276085 A1	15-01-2003
			AT 241189 T	15-06-2003
			DE 50100263 D1	26-06-2003
			WO 03007268 A1	23-01-2003
EP 1298620	A	02-04-2003	DE 10146398 A1	17-04-2003
			EP 1298620 A2	02-04-2003
			US 2003063016 A1	03-04-2003

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82