



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
24.11.2004 Patentblatt 2004/48

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

(21) Anmeldenummer: **04001394.8**

(22) Anmeldetag: **22.01.2004**

(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)

(30) Priorität: **19.05.2003 EP 03011372**
16.01.2004 EP 04000864

(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: Bereitstellen der Punkte einer Mehrzahl von Vergleichsfundamentaldiagrammen und Bereitstellen der Punkte eines Kenngrößendiagramms, das zu je-

dem Punkt eines Vergleichsfundamentaldiagramms einen Verkehrskenngrößenwert umfasst, für jedes Vergleichsfundamentaldiagramm, Bereitstellen der Punkte eines Fundamentaldiagramms für die Bedienstation unter Verwendung von Detektordaten, automatisches Vergleichen von Punkten des Fundamentaldiagramms mit Punkten jeweils eines der Vergleichsfundamentaldiagramme nach einem vorbestimmten Kriterium bis eine vorbestimmte Ähnlichkeitsbedingung erfüllt ist.

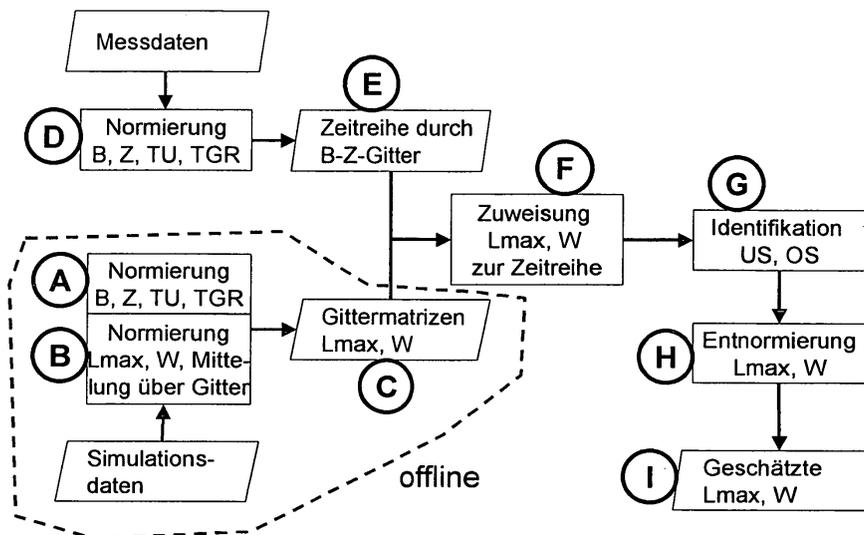


Fig. 7

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 mit einer bestimmten, aber gegebenenfalls variablen Sperrdauer und einer Durchlassphase mit einer bestimmten, aber gegebenenfalls variablen Durchlassdauer bestehen.

[0003] Gerade bei den heutigen Verkehrsaufkommen auf den Straßen ist es von großer Bedeutung, die Verkehrsströme 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.

[0004] 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, dass 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 aufwendige Messfahrten oder über Nachstellungen des Verkehrsflusses in Simulationen durchgeführt werden. Insbesondere war es nicht möglich, Verkehrskenngrößen in automatisierter Form zu bestimmen.

[0005] 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.

[0006] Es ist daher die Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren bereitzustellen, mit dem Verkehrskenngrößen an Bedienstationen mit geringem Aufwand bestimmt werden können.

[0007] 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 bereit:

- a) Bereitstellen der Punkte einer Mehrzahl von Vergleichsfundamentaldiagrammen und Bereitstellen der Punkte eines Kenngrößendiagramms, das zu jedem Punkt eines Vergleichsfundamentaldiagramms einen Verkehrskenngrößenwert umfasst, für jedes Vergleichsfundamentaldiagramm,
- b) Bereitstellen der Punkte eines Fundamentaldiagramms für die Bedienstation unter Verwendung von Detektordaten,
- c) automatisches Vergleichen von Punkten des Fundamentaldiagramms mit Punkten jeweils eines der Vergleichsfundamentaldiagramme nach einem vorbestimmten Kriterium, bis eine vorbestimmte Ähnlichkeitsbedingung erfüllt ist.

[0008] In einem Fundamentaldiagramm wird 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 für vorbestimmte Zeitintervalle (manchmal auch als Messintervalle oder Aggregationsdauern bezeichnet) bestimmt und dann für jedes Zeitintervall als ein Punkt in dem Fundamentaldiagramm dargestellt. Im Allgemeinen umfasst also ein Fundamentaldiagramm eine Anzahl diskreter Punkte. Jeder Punkt eines Fundamentaldiagramms besteht also aus zwei Werten (Koordinaten) und gibt die Verkehrsstärke und die 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 der graphischen Darstellung eines Fundamentaldiagramms kann die Verkehrsstärke über der Verkehrsdichte aufgetragen werden; alternativ können die Achsen auch vertauscht sein (in letzterem Fall sind also die Koordinaten der Punkte vertauscht).

[0009] Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Verkehrsstärke und die Verkehrsdichte zu bestimmen und die Punkte für ein Fundamentaldiagramm anzugeben. Beispielsweise kann die Verkehrsdichte durch explizites Beobachten und Zählen der Einheiten bestimmt werden. Alternativ kann die Verkehrsdichte auch durch die Belegungsdauer eines De-

tektors (Summe der Dauern der Belegung) innerhalb eines (Mess-) Intervalls angegeben werden. Die Belegungsdauer kann auch durch die Zeitdauer des Messintervalls dividiert werden, sodass dann die Verkehrsdichte durch den sog. Belegungsgrad angegeben wird. In einer graphischen Darstellung eines Fundamentaldiagramms können in diesen Fällen, wie bereits zuvor erwähnt, Verkehrsstärke über Belegungsdauer bzw. Belegungsgrad oder mit vertauschten Achsen dargestellt werden.

[0010] Die Punkte eines Kenngrößenendiagramms bestehen aus drei Werten (Koordinaten), wobei zwei der Koordinaten den Koordinaten des entsprechenden Punkts des Fundamentaldiagramms entsprechen; der dritte Wert ist der entsprechende Kenngrößenwert. Mögliche Verkehrskenngrößen, die durch die Punkte eines Kenngrößenendiagramms angegeben sein können, können die maximale Staulänge, die Wartezeit je Fahrzeug, die mittlere Staulänge, die Gesamtwartezeit aller Fahrzeuge, der Grad der Auslastung oder Ähnliches sein; diese Werte sind somit jedem Umlauf (der einem Punkt in dem Fundamentaldiagramm entspricht) zugeordnet.

[0011] Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren werden Punkte (alle oder eine Teilmenge davon) des (gemessenen) Fundamentaldiagramms mit Punkten der Vergleichsfundamentaldiagramme automatisch verglichen. Bei dem Vergleichen können die Punkte unmittelbar oder mittelbar miteinander verglichen werden; letzteres beispielsweise indem die Punkte zunächst in geeigneter Weise transformiert werden. Durch das automatische Vergleichen kann ein Vergleichsfundamentaldiagramm, das dem Fundamentaldiagramm - gemäß einer vorbestimmten Ähnlichkeitsbedingung - "möglichst ähnlich" ist, in einfacher Weise bestimmt werden. Über das diesem Vergleichsfundamentaldiagramm entsprechende Kenngrößenendiagramm lassen sich dann entsprechende Verkehrskenngrößen für das (gemessene) Fundamentaldiagramm und damit die Bedienstation bestimmen.

[0012] Durch Vergleich mit Vergleichsfundamentaldiagrammen ist es weiterhin möglich, fehlerhafte Detektoren zu erkennen, indem beispielsweise auch hierzu entsprechende Vergleichsfundamentaldiagramme bereitgestellt werden.

[0013] Je nach Kriterium und Ähnlichkeitsbedingung kann das Vergleichen mit allen Vergleichsfundamentaldiagrammen durchgeführt; alternativ kann es nur mit einigen durchgeführt werden, falls die Ähnlichkeitsbedingung bereits vorher erfüllt sein sollte.

[0014] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung kann Schritt c) die Schritte umfassen:

[0015] Bereitstellen von Gitterpunkten eines Gitterausschnitts, der die zu vergleichenden Punkte des Fundamentaldiagramms bzw. des Vergleichsfundamentaldiagramms überdeckt,

[0016] Bestimmen der Werte jeweils eines Dichtediagramms für das Fundamentaldiagramm und das wenigstens eine Vergleichsfundamentaldiagramm, wobei ein einem Gitterpunkt zugeordneter Dichtewert aus der Summe der Abstände zwischen dem Gitterpunkt des Gitterausschnitts und den Punkten einer Teilmenge des Fundamentaldiagramms bzw. des Vergleichsfundamentaldiagramms gemäß einem vorbestimmten Abstandsmaß resultiert.

[0017] Als Gitterausschnitt kann beispielsweise ein Ausschnitt eines Rechteckgitters verwendet werden, durch das der Bereich mit den zu vergleichenden Punkten des Fundamentaldiagramms bzw. der Vergleichsfundamentaldiagramme überdeckt wird. In einem solchen Fall sind die Basisvektoren des Gitters vorzugsweise parallel zu den Achsen des Fundamentaldiagramms ausgerichtet. Ein solches Dichtediagramm entspricht also einer dreidimensionalen Darstellung, bei der jedem (zweidimensionalen) Gitterpunkt ein Dichtewert zugeordnet ist; die Punkte eines Dichtediagramms bestehen aus drei Koordinatenwerten. Der einem Gitterpunkt zugeordnete Dichtewert ergibt sich, indem man den Abstand der Punkte einer Teilmenge des Fundamentaldiagramms zu diesem Punkt berechnet und dann aufsummiert. Die Teilmenge kann einen Teil oder alle Punkte des Fundamentaldiagramms umfassen.

[0018] Als Abstandsmaß sind verschiedene Alternativen möglich. Beispielsweise kann die euklidische Distanz verwendet werden. Auch kann eine Exponentialfunktion einer Potenz der euklidischen Distanz als Abstandsmaß genommen werden. Weiterhin können die Dichtewerte normiert werden, indem sie beispielsweise durch die Summe aller Dichtewerte eines Vergleichsfundamentaldiagramms geteilt werden.

[0019] Durch den mittelbaren Vergleich von Punkten des Fundamentaldiagramms mit Punkten der Vergleichsfundamentaldiagramm mittels Dichtediagrammen werden auch Punkte der Vergleichsfundamentaldiagramme in die Abstands- bzw. Ähnlichkeitsuntersuchung einbezogen, selbst wenn es keine unmittelbar entsprechenden Punkte in dem Fundamentaldiagramm gibt. Weiterhin werden auf diese Weise auch Fälle unterschieden, bei denen in einem gleichen Bereich zwar jeweils Punkte liegen, diese jedoch eine unterschiedliche Häufigkeit bzw. Dichte aufweisen.

[0020] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung kann das Bestimmen der Punkte eines Dichtediagramms für jedes Vergleichsfundamentaldiagramm die Schritte umfassen:

Zuordnen der Punkte des Vergleichsfundamentaldiagramms jeweils einem untersättigten oder einem übersättigten Zustand gemäß einem vorbestimmten Kriterium,

Bestimmen einer ersten Summe der Abstände zwischen einem Gitterpunkt des Gitterausschnitts und allen Punkten des untersättigten Bereichs des Vergleichsfundamentaldiagramms gemäß dem vorbestimmten Abstandsmaß,

Bestimmen einer zweiten Summe der Abstände zwischen dem Gitterpunkt des Gitterausschnitts und allen Punkten

des übersättigten Bereichs des Vergleichsfundamentaldiagramms gemäß dem vorbestimmten Abstandsmaß,

Summieren der mit einem ersten Faktor aus einer ersten vorbestimmten Menge multiplizierten ersten Summe und der mit einem zweiten Faktor aus einer vorbestimmten zweiten Menge multiplizierten zweiten Summe, um einen dem Gitterpunkt zugeordneten Dichtewert zu erhalten.

[0021] Von einem übersättigten Verkehrszustand spricht man, wenn der Abfluss der Einheiten an einer Bedienstation während einer Durchlassphase nicht vollständig erfolgt. Dies kann auf Grund von zu kurzer Durchlassdauer oder wegen Behinderung der Fall sein. Bei Behinderung ist der Abfluss der Einheiten nur noch eingeschränkt oder gar nicht mehr möglich. Dies kann beispielsweise auf Grund von Rückstauungen einer stromabwärts liegenden Bedienstation der Fall sein. Ein untersättigter Verkehrszustand liegt vor, wenn der Abfluss an einer Bedienstation während einer Durchlassphase vollständig erfolgt, d. h. keine Überlastung vorliegt. Jeder Punkt in einem Fundamentaldiagramm entspricht einem Umlauf, d. h. einer Sperr- und einer Durchlassphase an einer Bedienstation, und kann daher einem ungestörten oder einem gestörten Zustand zugeordnet werden.

[0022] Im Allgemeinen tritt an einer Bedienstation (von Ausnahmen abgesehen) immer auch ein untersättigter Verkehrszustand auf, während ein übersättigter Zustand nicht notwendigerweise (auch bei einem längeren Beobachtungszeitraum) vorhanden sein muss. Durch das Aufteilen der Punktemenge der Fundamentaldiagramme bzw. das Zuordnen dieser Punkte einem der beiden Zustände wird ermöglicht, dass ein Fundamentaldiagramm mit Vergleichsfundamentaldiagrammen verglichen werden kann, die zwar bezüglich des untersättigten Bereichs ähnlich sind, aber unterschiedliche übersättigte Bereiche aufweisen. So kann beispielsweise ein Fundamentaldiagramm überhaupt keinen übersättigten Bereich aufweisen, jedoch einem Vergleichsfundamentaldiagramm, das auch einen übersättigten Bereich aufweist, bezüglich der Punkte des untersättigten Bereichs sehr ähnlich sein und somit eine ähnliche Verkehrscharakterisierung aufweisen.

[0023] Bei der beschriebenen Weiterbildung werden bei der Bestimmung des Dichtediagramms zusätzlich zu der Unterscheidung von übersättigten und untersättigten Bereichen die Beiträge dieser Bereiche unterschiedlich gewichtet, indem die beiden Beiträge mit jeweils einem, insbesondere unterschiedlichen, Faktor multipliziert werden. Insbesondere kann einer der beiden Faktoren gleich 1 sein. Durch eine solche Gewichtung kann der Einfluss von unterschiedlichen Verkehrsstärkeverläufen bei den verschiedenen Fundamentaldiagrammen bzw. Vergleichsfundamentaldiagrammen berücksichtigt und gegebenenfalls korrigiert werden. Jedes Fundamentaldiagramm ist eine Sammlung von Umläufen über einen gewissen Zeitraum. In diesem Zeitraum schwankt die Verkehrsstärke nach einem für den untersuchten Streckenabschnitt typischem Muster. Bei Messung der Verkehrsstärke über einen ganzen Tag spricht man z. B. von "Ganglinien". Diese Verkehrsstärkeverläufe wirken sich auf die Dichteverteilung in den Fundamentaldiagrammen aus, sodass ein Vergleich von Fundamentaldiagrammen mit unterschiedlichen Verläufen oder Ganglinien zu verzerrten Ergebnissen führen kann, was durch die zuvor beschriebene Gewichtung korrigiert wird.

[0024] Vorzugsweise kann das Summieren der ersten Summe und der zweiten Summe für alle Gitterpunkte, die auf einer Geraden parallel zur Verkehrsdichteachse des Vergleichsfundamentaldiagramms liegen, mit einer Mehrzahl unterschiedlicher Faktoren aus der vorbestimmten ersten und zweiten Menge wiederholt werden, und die erhaltenen Dichtewerte jeweils mit den entsprechenden Dichtewerten des Dichtediagramms des Fundamentaldiagramms gemäß einem vorbestimmten Kriterium verglichen werden, bis eine vorbestimmte Ähnlichkeitsbedingung erfüllt ist.

[0025] Dies bedeutet, dass ein Vergleichsfundamentaldiagramm zunächst in zwei Teil-Vergleichsfundamentaldiagramme bzw. Teilfundamentaldiagramme aufgeteilt wird, die jeweils dem untersättigten und dem übersättigten Bereich entsprechen. Anschließend werden aus diesen zwei Teilfundamentaldiagrammen Dichtediagramme zusammengesetzt, wobei die Beiträge des untersättigten und des übersättigten Bereichs unterschiedlich gewichtet werden und diese Gewichtung variiert wird. Insbesondere wird die Gewichtung nicht für alle Punkte gleich gewählt; stattdessen wird die Gewichtung jeweils für Teilmengen der beiden Dichtediagramme getrennt durchgeführt und durch Vergleich mit dem Dichtediagramm des Fundamentaldiagramms optimiert. Eine solche Teilmenge umfasst alle Punkte, die auf einer Geraden parallel zur Verkehrsdichteachse liegen. Wie auch in den zuvor beschriebenen Weiterbildungen, können auch hier die Dichtewerte der Dichtediagramme normiert werden (beispielsweise jeweils über die Summe aller Dichtewerte auf einer der genannten Geraden), um somit den Vergleich zu erleichtern.

[0026] Vorteilhafterweise kann das Vergleichen von Dichtewerten, die auf einer Geraden parallel zur Verkehrsdichteachse liegen, für jeden Faktor aus der vorbestimmten ersten und zweiten Menge die Schritte umfassen:

Normieren der Dichtewerte des Dichtediagramms des Fundamentaldiagramms, die auf einer Geraden parallel zur Verkehrsdichte liegen,

Normieren der Dichtewerte des Dichtediagramms des Vergleichsfundamentaldiagramms, die auf einer Geraden parallel zur Verkehrsdichte liegen,

wobei die vorbestimmte Ähnlichkeitsbedingung erfüllt ist, wenn die Summe der Differenzbeträge von sich entsprechenden Werten der Dichtediagramme minimal oder kleiner als ein vorbestimmter Schwellwert ist.

[0027] Durch einen solchen Vergleich der Teilmengen der Dichtediagramme können die Faktoren und somit das resultierende Dichtediagramm des Vergleichsfundamentaldiagramms in einfacher und geeigneter Weise optimiert werden.

[0028] Vorzugsweise kann das Vergleichen von Dichtewerten, die auf einer Geraden parallel zur Verkehrsdichteachse liegen, für alle Geraden parallel zur Verkehrsdichteachse, auf denen ein Punkt des Fundamentaldiagramms liegt, wiederholt werden, um ein optimiertes Dichtediagramm zu bestimmen.

[0029] Durch dieses Wiederholen des Vergleichens wird somit für jedes Vergleichsfundamentaldiagramm ein Dichtediagramm bestimmt, das derart aus Teilen zusammengesetzt ist, dass es gemäß der vorbestimmten Ähnlichkeitsbedingung dem Dichtediagramm des Fundamentaldiagramms möglichst nahe kommt.

[0030] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der zuvor beschriebenen Verfahren kann in Schritt c) für das Dichtediagramm des Fundamentaldiagramms und die Dichtediagramme der Vergleichsfundamentaldiagramme die Differenzen der Abstandswerte der sich entsprechenden Punkte gebildet werden, und weiterhin ein Dichtediagramm der Vergleichsfundamentaldiagramme als Referenzdichtediagramm bestimmt werden, für das die Summe oder der Durchschnitt der Differenzbeträge minimal oder kleiner als ein vorbestimmter Schwellwert ist.

[0031] Auf diese Weise erhält man aus den (gegebenenfalls optimierten) Dichtediagrammen der Vergleichsfundamentaldiagramme ein Referenzdichtediagramm, das dem Dichtediagramm des Fundamentaldiagramms gemäß der Ähnlichkeitsbedingung möglichst nahe kommt. Ein Vergleichsfundamentaldiagramm ist nach dieser Weiterbildung dem Fundamentaldiagramm "möglichst nahe", wenn - gemäß der 1. Alternative - die Summe der Differenzbeträge (und damit auch der Durchschnitt der Differenzbeträge) minimal verglichen mit allen anderen Vergleichsfundamentaldiagrammen ist. Hierzu muss das Fundamentaldiagramm mit allen oder einer vorbestimmten Teilmenge von Vergleichsfundamentaldiagrammen verglichen werden. Gemäß der 2. Alternative kann die vorbestimmte Ähnlichkeitsbedingung erfüllt sein, wenn die Summe der Differenzbeträge (und damit auch der Durchschnitt der Differenzbeträge) kleiner als ein vorbestimmter Schwellwert ist. In diesem Fall genügt es, das Fundamentaldiagramm mit Vergleichsfundamentaldiagrammen zu vergleichen, bis dieser Schwellwert unterschritten wird. Damit kann das Verfahren beschleunigt werden.

[0032] Vorzugsweise kann das Verfahren weiterhin die Schritte umfassen:

d) automatisches Bestimmen der Punkte eines Dichtediagramms für die Punkte des dem Referenzdichtediagramm entsprechenden Kenngrößendiagramms, wobei ein einem Gitterpunkt zugeordneter Dichtewert aus der Summe der Abstände zwischen dem Gitterpunkt des Gitterausschnitts und den Punkten einer Teilmenge des Kenngrößendiagramms gemäß einem vorbestimmten Abstandsmaß multipliziert mit dementsprechendem Verkehrskenngrößenwert resultiert,

e) automatisches Bestimmen des Dichtewertes des Dichtediagramms des Kenngrößendiagramms, der einem Punkt des Fundamentaldiagramms entspricht.

[0033] Mit diesen weiteren Schritten werden somit in vorteilhafter Weise aus den Kenngrößen (bzw. deren Dichte), die dem ermittelten Referenzdichtediagramm entsprechen, die gesuchten Verkehrskenngrößen (bzw. deren Dichte) für das untersuchte Fundamentaldiagramm bestimmt. Die Teilmenge kann einen Teil oder alle Punkte des Kenngrößendiagramms umfassen.

[0034] Vorzugsweise kann Schritt c) die Schritte umfassen:

Zuordnen der Punkte des dem Referenzdichtediagramm entsprechenden Vergleichsfundamentaldiagramms jeweils einem untersättigten oder einem übersättigten Zustand gemäß einem vorbestimmten Kriterium, um zwei Teilfundamentaldiagramme zu erhalten,

Bestimmen der Punkte eines Dichtediagramms für die jeweils einem Teilfundamentaldiagramm entsprechenden Kenngrößendiagramme,

Zuordnen der Punkte des Fundamentaldiagramms jeweils einem untersättigten oder einem übersättigten Zustand gemäß einem vorbestimmten Kriterium,

und wobei in Schritt e) das Dichtediagramm von den beiden Dichtediagrammen des Kenngrößendiagramms verwendet wird, das dem Zustand des Punktes des Fundamentaldiagramms entspricht.

[0035] Durch diese Unterscheidung eines untersättigten und eines übersättigten Zustands sowohl bei dem einem

Referenzdichtediagramm entsprechenden Vergleichsfundamentaldiagramm als auch dem untersuchten Fundamentaldiagramm lässt sich für einen Punkt des Fundamentaldiagramms mit noch größerer Genauigkeit eine Aussage über eine oder mehrere gewünschte Verkehrskenngrößen treffen.

[0036] Vorzugsweise kann für das Zuordnen der Punkte des Fundamentaldiagramms der einem Punkt entsprechende Dichtewert des Referenzdichtediagramms für den untersättigten Zustand mit dem dem Punkt entsprechende Dichtewerte des Referenzdichtediagramms für den übersättigten Zustand gemäß einem vorbestimmten Kriterium verglichen werden.

[0037] Ein solcher Vergleich bietet in einfacher Weise eine Möglichkeit, eine Zuordnung zu treffen. Beispielsweise können die beiden Werte voneinander subtrahiert werden, worauf sich die Zugehörigkeit zu einem Zustand aus dem Vorzeichen der Differenz ergibt.

[0038] Alternativ oder zusätzlich können für das Zuordnen der Punkte des Fundamentaldiagramms die Differenzen von jeweils zwei zeitlich aufeinanderfolgenden Punkten des Fundamentaldiagramms mit den Differenzen von zwei zeitlich aufeinanderfolgenden Punkten der Referenzfundamentaldiagramme für den untersättigten und den übersättigten Zustand gemäß einem vorbestimmten Kriterium verglichen werden.

[0039] Durch einen derart bestimmten zeitlichen "Gradienten" lässt sich ebenfalls eine Zuordnung in geeigneter Weise erreichen. Insbesondere können auch die Ergebnisse beider Vergleiche miteinander kombiniert werden.

[0040] Gemäß einer vorteilhaften Variante des Verfahrens kann in Schritt c) für jeden Punkt des Fundamentaldiagramms ein nächstliegender Punkt in dem Vergleichsfundamentaldiagramm gemäß einem vorbestimmten Abstandsmaß bestimmt werden, und kann das Verfahren weiterhin die Schritte umfassen:

Bestimmen eines Vergleichsfundamentaldiagramms als Referenzfundamentaldiagramm, für das die Summe oder der Durchschnitt der Abstände der Punkte des Fundamentaldiagramms zu den jeweils nächstliegenden Punkten in dem Vergleichsfundamentaldiagramm minimal oder kleiner als ein vorbestimmter Stellwert ist,

Bestimmen eines Verkehrskenngrößenwerts, der einem Punkt des dem Referenzfundamentaldiagramm entsprechenden Kenngrößendiagramms entspricht.

[0041] Dies stellt eine mögliche und vorteilhafte Variante dar, wie aus der Mehrzahl von Vergleichsfundamentaldiagrammen ein möglichst ähnliches Referenzfundamentaldiagramm bestimmt werden kann. Als Abstandsmaß kann - wie oben - beispielsweise die euklidische Distanz verwendet werden. Auch kann beispielsweise eine Exponentialfunktion einer Potenz der euklidischen Distanz als Abstandsmaß genommen werden. Ein Vergleichsfundamentaldiagramm ist dem Fundamentaldiagramm "möglichst ähnlich", wenn - gemäß der 1. Alternative - die Summe der Abstände (und damit auch der Durchschnitt der Abstände) minimal unter allen Vergleichsfundamentaldiagrammen ist. Hierzu muss das Fundamentaldiagramm mit allen oder einer vorbestimmten Teilmenge von Vergleichsfundamentaldiagrammen verglichen werden. Gemäß der 2. Alternative kann die vorbestimmte Ähnlichkeitsbedingung erfüllt sein, wenn die Summe der Abstände (und damit auch der Durchschnitt der Abstände) kleiner als ein vorbestimmter Schwellwert ist.

[0042] Gemäß einer anderen vorteilhaften Variante können in Schritt c) die Abstände jedes Punktes des Fundamentaldiagramms zu allen Punkten des wenigstens einen Vergleichsfundamentaldiagramms gemäß einem vorbestimmten Abstandsmaß bestimmt werden, und das Verfahren weiterhin die Schritte umfassen:

Bestimmen eines Vergleichsfundamentaldiagramms als Referenzfundamentaldiagramm, für das die Summe oder der Durchschnitt der Abstände aller Punkte des Fundamentaldiagramms zu allen Punkten des Vergleichsfundamentaldiagramms minimal oder kleiner als ein vorbestimmter Schwellwert ist,

Bestimmen eines Verkehrskenngrößenwerts, der einem Punkt des dem Referenzfundamentaldiagramm entsprechenden Kenngrößendiagramms entspricht.

[0043] Auch bei dieser Alternative können verschiedenste Abstandsmaße, beispielsweise auch die zuvor Genannten, verwendet werden. Im Vergleich mit der zuvor beschriebenen Variante wird hier vermieden, dass ein Punkt des Fundamentaldiagramms, falls mehrere Punkte eines Vergleichsfundamentaldiagramms gleich weit von diesem entfernt liegen, zufällig einem der Punkte des Vergleichsfundamentaldiagramms zugewiesen wird, da bei dem Kriterium und der Ähnlichkeitsbedingung für jeden Punkt des Fundamentaldiagramms alle Punkte eines Vergleichsfundamentaldiagramms berücksichtigt werden.

[0044] Vorzugsweise können in Schritt c) aller zuvor beschriebenen Verfahren die Punkte des Fundamentaldiagramms und der Vergleichsfundamentaldiagramme auf gemeinsame Sperr- und/oder Durchlassdauern transformiert werden. Dazu können die Punkte nur eines der beiden Diagramme (Fundamentaldiagramm oder Vergleichsfundamentaldiagramm) oder beider Diagramme tatsächlich modifiziert werden. Auf diese Weise lassen sich das Fundamentaldiagramm und die Vergleichsfundamentaldiagramme besonders einfach vergleichen. Insbesondere können die Dia-

gramme auf diese Weise unabhängig von der Umlauf-, Sperrund/oder Durchlassdauer gemacht werden. Damit kann das Verfahren auf beliebige LSA-Steuerungen, selbst mit stark schwankenden Umlauf- oder Freigabezeichen, angewendet werden (z. B. ÖV-priorisierte Signalanlagen oder adaptive LSA-Steuerungen). Beispielsweise können bei Fundamentaldiagrammen für eine Lichtsignalanlage die Punkte derart transformiert werden, dass die Umlaufzeit bei 1 und die Rotzeit bei 0,5 liegt.

[0045] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung kann in Schritt c) das Vergleichen nur für Punkte innerhalb eines vorbestimmten Verkehrsstärkebereichs durchgeführt werden. Damit können auch Fundamentaldiagramme, die nur einen bestimmten Zeitbereich eines Tages (z. B. nur mit hohen Verkehrsstärken) abbilden, ausgewertet werden.

[0046] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung aller vorbestehenden Verfahren können die Vergleichsfundamentaldiagramme durch Simulationen, durch Realmessungen und/oder manuell, insbesondere unter Berücksichtigung geometrischer oder betrieblicher Besonderheiten der Bedienstation und ihres Zuflusses, bereitgestellt werden.

[0047] Insbesondere bei Simulationen können spezielle geometrische Randbedingungen (beispielsweise kurze Abbiegespuren vor Lichtsignalanlagen) oder betriebliche Besonderheiten (Baustellen, schwankende Freigabezeiten bzw. Durchlasszeiten auf Grund von Maßnahmen zur Priorisierung von Bussen oder Bahnen an Lichtsignalanlagen) berücksichtigt und nachgestellt werden. Realmessungen oder manuell entworfene Vergleichsfundamentaldiagramme können insbesondere zur Erkennung technischer Fehler, beispielsweise mehrfach triggere Detektoren oder Detektoren mit fehlerhafter Belegungsmessung, eingesetzt werden.

[0048] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung können in den zuvor beschriebenen Verfahren der Schritt c) und/oder der Schritt d) und/oder der Schritt e) mit Hilfe von Matrizen durchgeführt werden. Dies ermöglicht eine besonders einfache Implementierung des Verfahrens. Beispielsweise bei der Verwendung eines Rechteckgitters in der Weiterbildung mit Dichtediagrammen lassen sich die Punkte des Dichtediagramms in Matrixform besonders gut darstellen.

[0049] 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,

Anpassen der Parameter des Pulkmodells in Abhängigkeit der bestimmten Verkehrskenngrößen.

[0050] 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 der Bedienstation ermöglicht. Damit kann dann auch die Einstellung aufeinanderfolgender Bedienstationen optimiert werden.

[0051] Weiterhin stellt die Erfindung ein Verfahren zur Steuerung einer Bedienstation zur Abfertigung einzeln bewegter Einheiten mit den Schritten bereit:

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

Steuern der Bedienstation in Abhängigkeit der bestimmten Verkehrskenngrößen.

[0052] 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 Punkte eines Fundamentaldiagramms bestimmt und ausgewertet werden. Anschließend werden weiterhin Punkte für das Fundamentaldiagramm berechnet, und es wird direkt für jeden Punkt die zugehörige Verkehrskenngröße bzw. die Verkehrskenngrößen bestimmt. Dies bedeutet insbesondere, dass bei einer Verschlechterung der Verkehrsqualität, beispielsweise bei Auftreten eines Staus, die Bedienstation in geeigneter veränderter Weise angesteuert werden kann.

[0053] Durch die Erfindung wird weiterhin ein Computerprogramm bereitgestellt, umfassend wenigstens ein computerlesbares Medium, mit dem die Schritte der zuvor beschriebenen Verfahren ausgeführt werden können.

[0054] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung werden anhand der folgenden Ausführungsbeispiele und Zeichnungen erläutert.

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

Figur 2 ist eine graphische Darstellung eines Fundamentaldiagramms zur Verwendung in dem erfindungsgemäßen Verfahren;

- Figur 3 ist eine graphische Darstellung eines auf eine bestimmte Sperr- und Durchlassdauer transformierten Fundamentaldiagramms;
- Figur 4 illustriert die Transformation des Fundamentaldiagramms von Figur 2;
- Figur 5 stellt ein Dichtediagramm eines Fundamentaldiagramms dar;
- Figur 6 stellt eine graphische Darstellung eines transformierten Fundamentaldiagramms dar, bei dem eine zeilenweise Betrachtung mit getrennten Bereichen durchgeführt wird;
- Figur 7 illustriert ein Beispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Bestimmung der maximalen Staulänge und der Wartezeit je Fahrzeug;
- Figur 8 illustriert graphisch die Zugehörigkeit anhand der Dichte eines Punktes zum untersättigten und übersättigten Bereich;
- Figur 9 illustriert graphisch die Zugehörigkeit anhand des Gradienten zum untersättigten und übersättigten Bereich;
- Figur 10 illustriert graphisch eine Kombination der Zugehörigkeitskriterien aus Figur 8 und 9;
- Figur 11 illustriert graphisch die geglättete Zugehörigkeit zum untersättigten und übersättigten Bereich.

[0055] 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.

[0056] An Lichtsignalanlagen wie der gezeigten LSA 2 hat die Koordinierung mit einer vorgelagerten Anlage (LSA 2') einen wesentlichen Einfluss auf die Punkteverteilung 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 im 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.

[0057] Ein Beispiel für die graphische Darstellung eines Fundamentaldiagramms für Lichtsignalanlagen ist in Figur 2 gezeigt. Bei dieser Darstellung ist die Verkehrsstärke Z (in Fahrzeugen pro Umlaufzeit) über der Belegungsdauer B (in Sekunden) dargestellt. Wie bereits früher erwähnt, ist jedoch auch eine Vertauschung der Achsen bzw. eine Normierung der dargestellten Größen möglich. Insbesondere kann die Verkehrsdichte auch in anderer Form als über die Belegungsdauer angegeben werden.

[0058] Zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens müssen Vergleichsfundamentaldiagramme bereitgestellt werden. Dies ist auf unterschiedliche Weise möglich. Zum einen können mikroskopische Verkehrsfluss-Simulationen durchgeführt werden, mit denen sich verschiedenste Verkehrssituationen reproduzieren und die daraus entstehenden Fundamentaldiagramme erstellen lassen. Der Messprozess wird dabei durch einen oder mehrere Detektoren in definierten Abständen zur Haltlinie simuliert. Vorzugsweise werden die Daten jedes einzelnen Detektors getrennt gesammelt. Für solche Verkehrsflusssimulationen werden verschiedene Parameter festgesetzt; dazu gehört die Gesamtdauer der Simulation (beispielsweise 20 Stunden), die Umlaufzeit, die Durchlasszeit (sowohl der Bedienstation selbst als auch gegebenenfalls stromaufwärts und/oder stromabwärts angeordneter Bedienstationen), die Versatzeit, gegebenenfalls die Anteile von Einbiegern und Abbiegern, der Verlauf der Verkehrsnachfrage bzw. Verkehrsstärke (beispielsweise linear ansteigend bis 15 Uhr, dann konstant) etc.

[0059] Vorzugsweise werden zur Erstellung der Vergleichsfundamentaldiagramme (im Folgenden manchmal auch "Pattern" genannt) der komplette Belastungsverlauf bis hin zu einer "Vollsperrung" (kein Abfluss mehr möglich) simuliert.

[0060] Insbesondere durch Simulationen können auch besondere geometrische Randbedingungen, wie kurze Abbiegespuren, oder betriebliche Besonderheiten einer Bedienstation, beispielsweise auf Grund von Baustellen oder ÖV-Priorisierungen, nachgestellt werden und damit entsprechende Pattern erzeugt werden. Dann werden beispielsweise nur noch nicht festgelegte Parameter der realen Situation, wie etwa der Anteil von Ein- oder Abbiegern, variiert.

Auf diese Weise kann der Katalog an Patterns nach und nach ergänzt werden.

[0061] Weiterhin können Vergleichsfundamentaldiagramme auch aus realen Messungen erstellt werden. Dies kann insbesondere nützlich sein, wenn Pattern, die von fehlerhaften Detektoren herrühren, erzeugt werden sollen. Je nach Defekt (beispielsweise Flattern eines Relais und daraus resultierende Mehrfachzählungen) liegen andere Muster vor, die dann (enthalten in einem regulären Verkehrspattern oder als zusätzliches Vergleichsfundamentaldiagramm) zur Erkennung technischer Fehler verwendet werden können. Damit ergibt sich ein gut konfigurierbares und gleichzeitig hoch leistungsfähiges Verfahren zur Plausibilitätsprüfung und Fehlererkennung von Detektoren.

[0062] Vergleichsfundamentaldiagramme können auch, insbesondere zur Erkennung technischer Fehler, manuell erzeugt werden. Ergibt sich dann bei der Auswertung, dass ein solches Vergleichsfundamentaldiagramm dem gemessenen Fundamentaldiagramm am ähnlichsten ist, kann auf einen entsprechenden Detektordefekt geschlossen werden.

[0063] Sowohl Vergleichsfundamentaldiagramme als auch gemessene Fundamentaldiagramme sind abhängig von der Umlauf- und Durchlassdauer. Insbesondere können über den Verlauf einer Messung oder Simulation diese Dauern variieren. Um ein Fundamentaldiagramm einfacher mit den Vergleichsfundamentaldiagrammen vergleichen zu können, werden die Punkte der Diagramme vorzugsweise in geeigneter Weise transformiert. Damit ergibt sich dann ein transformiertes Fundamentaldiagramm oder Vergleichsfundamentaldiagramm, wie es beispielsweise in Figur 3 dargestellt ist.

[0064] Wenn die Vergleichsfundamentaldiagramme alle mit gleichen Sperr- und Durchlasszeiten erzeugt worden sind, kann es ausreichend sein, nur die Punkte des (gemessenen) Fundamentaldiagramms zu transformieren.

[0065] Eine mögliche Transformation basiert auf verschiedenen Charakteristika von Fundamentaldiagrammen, die nachfolgend anhand Figur 4 beschrieben werden.

[0066] Im Allgemeinen lassen sich in der graphischen Darstellung eines Fundamentaldiagramms verschiedene Geraden identifizieren. Die Gerade a schneidet den Ursprung und hat eine Steigung, die dem Kehrwert der je Fahrzeug bei (langsamer) Fahrt entstehenden Belegungsdauer auf dem Detektor entspricht: $m = \frac{1}{B_{Fz}}$. Ein günstiger Wert für B_{Fz} ist eine Sekunde pro Fahrzeug. Die Größe B_{Fz} (beispielsweise $B_{Fz} = 1^s / Fz$) stellt die durchschnittliche Belegzeit des Detektors bei der Überfahrt eines Fahrzeugs dar.

[0067] Die Gerade b entsteht durch Parallelverschiebung bis zu r' , einer modifizierten Sperrzeit (Rotzeit). Diese ergibt sich als $r' = r - k \cdot x$, wobei x der Abstand zwischen Detektor und Haltlinie, r die Rotzeit und k ein Abminderungsfaktor, der die reduzierte Haltezeit in größerer Entfernung von der Haltlinie berücksichtigt, sind. Je weiter die Fahrzeuge von der Haltlinie entfernt stehen, umso kürzer stehen sie. Dies ergibt sich daraus, dass ausgestellte Fahrzeuge schneller wieder starten (etwa ein Fahrzeug pro Sekunde) als sie sich aufstellen (etwa 0,5 Fahrzeug pro Sekunde). Ein möglicher Wert für k ist der Kehrwert der Fahrzeuglänge beispielsweise mit 6,4 m als mittlerer Fahrzeuglänge.

[0068] Die horizontal verlaufende Gerade d stellt die maximale Verkehrsstärke Z_{max} dar, die sich bei gegebener Grünzeit im freien Verkehrsfluss ergibt. Sie ist in dieser Betrachtung proportional zur modifizierten Grünzeit $g' = tu - r'$ sowie zur Sättigungsverkehrsstärke S (Zahl der maximal je Durchlassdauer abfertigmachen Einheiten); tu bezeichnet die Umlaufdauer.

[0069] Die Gerade c geht auf der Belegungsachse vom Punkt der Intervalllänge (Umlaufzeit tu) aus und trifft auf den Schnittpunkt der Geraden b und d.

[0070] Die Punkte im Bereich der Geraden a entsprechen frei durchfahrenden Fahrzeugen. Die Punkte im Bereich der Strecke b entsprechen Umläufen, in denen Fahrzeuge während der gesamten Rotzeit auf dem Detektor stehen; es liegt eine schlechte Koordinierung von aufeinanderfolgenden Bedienstationen vor. Punkte im Bereich der Strecke c entsprechen dem Bereich der Übersättigung (OS), der durch Überlastung (zu kurze Grünzeit) oder Störungen im Abfluss entsteht. Im Schnittbereich der Strecke b und c treffen sich die Bereiche schlechter Koordinierung und Übersättigung.

[0071] Bei konstantem B_{Fz} und S sind die beschriebenen Geraden bzw. Charakteristika im Fundamentaldiagramm nur noch von der Umlauf- und der Sperrdauer abhängig.

[0072] Eine Transformation eines Fundamentaldiagramms, um für die zu vergleichenden Fundamental- und Vergleichsfundamentaldiagramme gemeinsame Sperr- und Durchlassdauern zu haben, sollte vorzugsweise eineindeutig sein, damit bei neuen Grün- und Umlaufzeiten eine Rücktransformation möglich ist. Weiterhin sollten die Punkte zwischen den Geraden b und c in ihrer Lage zueinander möglichst unverändert bleiben, da dieser Bereich die meisten Informationen des Fundamentaldiagramms enthält.

[0073] Bei der im Folgenden beschriebenen beispielhaften Transformation werden die Punkte zunächst durch Änderung der Rotzeit r' auf die Hälfte der Umlaufzeit tu transformiert. Anschließend erfolgt eine Transformation der x- und der y-Achse in Bezug auf die Umlaufzeit, sodass diese gleich 1 wird.

[0074] Abhängig davon, wo ein Punkt in dem Fundamentaldiagramm liegt, wird er einer unterschiedlichen Transformation unterworfen. Hierfür werden die in Figur 4 gezeigten Bereiche I (links der Geraden a), II (zwischen den Geraden a und b) und III (rechts der Geraden b) unterschieden.

[0075] Für die Transformation werden die folgenden Faktoren definiert:

$$f_r = \frac{r_N}{r'} \cdot tu, \quad (1)$$

5

$$f_g = \frac{tu_N - r_N}{tu - r'} \cdot tu, \quad (2)$$

wobei $r_N = 0,5$ und $tu_N = 1$ die normierte Rot- und Umlaufzeit bezeichnen.

10 **[0076]** Die Koordinaten der Punkte im Bereich I werden lediglich mit dem Faktor f_g multipliziert:

15

$$\begin{aligned} \tilde{B}_I &= B \cdot f_g \\ \tilde{Z}_I &= Z \cdot f_g \end{aligned} \quad (3)$$

20 **[0077]** Die Transformation der Punkte des Bereichs II erfolgt über:

$$\begin{aligned} \tilde{B}_{II} &= (B - Z \cdot B_{Fz}) \cdot f_r + Z \cdot f_g \cdot B_{Fz} \\ \tilde{Z}_{II} &= Z \cdot f_g \end{aligned} \quad (4)$$

25 **[0078]** Für die Transformation der Punkte des Bereichs III werden die folgenden Zwischengrößen definiert:

30

$$\begin{aligned} B^* &= Z \cdot B_{Fz} + r' \\ f &= \frac{B - B^*}{tu - B_1} \\ \tilde{B}^* &= Z \cdot f_g \cdot B_{Fz} + f_r \cdot r' \end{aligned} \quad (5)$$

35 sodass sich dann für die Koordinaten der Punkte ergibt:

40

$$\begin{aligned} \tilde{B}_{III} &= \tilde{B}^* \cdot (1-f) + f \cdot tu \\ \tilde{Z}_{III} &= Z \cdot f_g \end{aligned} \quad (6)$$

45 **[0079]** Bei dieser Transformation werden also die y-Koordinaten (Verkehrsstärke Z) immer gleich transformiert, während die Transformation der x-Koordinaten (Belegungsdauer B) unterschiedlich erfolgt. Abschließend werden die Koordinaten der Punkte noch durch die Umlaufzeit geteilt:

50

$$\begin{aligned} B_N &= \frac{\tilde{B}_i}{tu}, \quad i = I, II, III \\ Z_N &= \frac{\tilde{Z}_i}{tu}, \quad i = I, II, III \end{aligned} \quad (7)$$

55 sodass sich daraus die neuen Koordinaten jedes Punkts (B_N, Z_N) ergeben.

[0080] Es versteht sich, dass nicht nur die normierten Rot- und Umlaufzeiten r_N und tu_N , sondern auch die gesamte Transformation unterschiedlich gewählt werden kann.

[0081] Für das erfindungsgemäße Verfahren ist es weiterhin nicht nötig, dass die Rotund Umlaufzeiten über einen Beobachtungszeitraum konstant sind; sie können variieren. Insbesondere durch eine geeignet gewählte Transformation ist es möglich, die (Z, B)-Werte dieser Umläufe in einem Diagramm darzustellen. Damit kann das Verfahren auf beliebige LSA-Steuerungen auch mit stark schwankenden Umlauf- oder Freigabezeiten angewendet werden.

[0082] Im Folgenden werden verschiedene Verfahren beschrieben, mit denen ein Fundamentaldiagramm (auch Messung genannt) mit einem Vergleichsfundamentaldiagramm (Pattern) verglichen und auf Ähnlichkeit untersucht werden kann. Dabei werden die Punkte der Messung (Fundamentaldiagramm) und des Patterns (Vergleichsfundamentaldiagramm) als Vektoren dargestellt, wobei ein Eintrag des Vektors die beiden Koordinaten eines Punkts umfasst.

[0083] Bei dem ersten Verfahren wird für jeden Punkt $P_M(i) = (B_M(i), Z_M(i))$ der Messung \vec{P}_M der Punkt $P_P(j) = (B_P(j), Z_P(j))$, eines Patterns \vec{P}_P gesucht, der ihm gemäß einem Abstandsmaß am nächsten ist. Als Abstandsmaß kann insbesondere die euklidische Distanz

$$d_{i,j} = \sqrt{(B_M(i) - B_P(j))^2 + (Z_M(i) - Z_P(j))^2} \quad (8)$$

verwendet werden. Die Entfernung eines Punkts $P_P(j)$ zum betrachteten Punkt $P_M(i)$ ist d_i . Die Ähnlichkeit oder Entfernung eines Vergleichsfundamentaldiagramms zu einem betrachteten Fundamentaldiagramm kann dann beispielsweise mit

$$d = \frac{1}{n_i} \cdot \sum_{i=1}^{n_i} d_i \quad (9)$$

berechnet werden (n_i bezeichnet die Zahl der Punkte des Fundamentaldiagramms).

[0084] Bei diesem Verfahren kann es vorkommen, dass mehrere Punkte des Vergleichsfundamentaldiagramms den selben Abstand zu einem Messpunkt des Fundamentaldiagramms haben, sodass in diesem Fall der Zufall über die Zuordnung des Messpunkts zu einem dieser Punkte des Patterns entscheidet.

[0085] Um dies zu verhindern kann für jeden Messpunkt die Entfernung zu allen Punkten des Vergleichsfundamentaldiagramms, wie in dem im Folgenden beschriebenen Verfahren, berücksichtigt werden.

[0086] Ausgangspunkt ist die Distanzmatrix

$$D = \begin{bmatrix} d_{1,1} & \cdots & d_{1,j} & \cdots & d_{1,n_j} \\ \vdots & \ddots & & & \vdots \\ d_{i,1} & & d_{i,j} & & d_{i,n_j} \\ \vdots & & & \ddots & \vdots \\ d_{n_i,1} & \cdots & d_{n_i,j} & \cdots & d_{n_i,n_j} \end{bmatrix} \quad (10)$$

bei der die Einträge einer Zeile die Entfernung von einem Punkt der Messung zu allen n_j Punkten des Patterns und die Einträge jeder Spalte die Entfernung eines Punktes des Patterns zu den n_i Punkten der Messung angeben. Die Zahl der Punkte des Patterns n_j muss nicht gleich der Zahl der Punkte der Messung n_i sein.

[0087] Statt unmittelbar die euklidische Distanz zu verwenden kann auch ein anderes Abstandsmaß wie folgt

$$u_{i,j} = \exp\left(-a \cdot (d_{i,j}^2)^b\right) \quad (11)$$

eingesetzt werden, mit dem eine besondere Gewichtung der Entfernung erzielt wird. Die Parameter a und b können

geeignet gewählt werden, beispielsweise $a = 20$, $b = 0,4$. Für (euklidisch gesehen) nahe bei einander liegende Punkte geht der Wert des Abstandsmaßes $u_{i,j}$ gegen 1, für weit entfernte Punkte geht er gegen 0. Damit erhält man die Gewichtungsmatrix

5

$$U = \begin{bmatrix} u_{1,1} & \cdots & u_{1,j} & \cdots & u_{1,n_j} \\ \vdots & \ddots & & & \vdots \\ u_{i,1} & & u_{i,j} & & u_{i,n_j} \\ \vdots & & & \ddots & \vdots \\ u_{n_i,1} & \cdots & u_{n_i,j} & \cdots & u_{n_i,n_j} \end{bmatrix} \quad (12)$$

10

15 bei der Pattern-Punkte, die in etwa in gleicher Entfernung zu einem Messpunkt liegen auch mit etwa gleicher Gewichtung zur Geltung kommen.

[0088] Für jeden Punkt i der Messung kann beispielsweise ein Maß für die Nähe zum Pattern über

20

$$u_i = \frac{1}{n_j} \cdot \sum_{j=1}^{n_j} u_{i,j} \quad (13)$$

25 bestimmt werden. Damit werden nahe Punkte sehr stark, weit entfernte Punkte (im euklidischen Sinne) praktisch gar nicht berücksichtigt. Liegen mehr Punkte des Pattern im Bereich eines Messpunktes wird das entsprechende Gewicht ebenfalls höher. Die Ähnlichkeit eines Fundamentaldiagramms und eines Vergleichsfundamentaldiagramms ergibt sich zu

30

$$u_{\text{Ähnl}} = \frac{1}{n_i} \cdot \sum_{i=1}^{n_i} u_i, \quad (14)$$

35 je größer dieser Wert, umso ähnlicher werden das Fundamentaldiagramm und das Vergleichsfundamentaldiagramm angesehen.

[0089] Beide zuvor beschriebenen Varianten lassen sich weiter verfeinern, indem man nur Punkte des Patterns nimmt, die im gleichen Bereich der Verkehrsstärke liegen wie die Punkte der Messung. Damit können auch Fundamentaldiagramme, die nur einen bestimmten Zeitbereich eines Tages (beispielsweise mit hohen Verkehrsstärken) abbilden, ausgewertet werden.

40 **[0090]** Bei dem im Folgenden beschriebenen beispielhaften Verfahren wird über einem transformierten Fundamentaldiagramm ein Gitter aufgespannt. Den Gitterpunkten wird ein Wert für die Häufigkeit der Punkte des Fundamentaldiagramms gewichtet mit den Abständen zu den jeweiligen Gitterpunkten zugewiesen. Damit werden die Punkte von Dichtediagrammen erhalten. Die Punkte von zwei Dichtediagrammen gleicher Auflösung (d. h. mit gleichem zu Grunde liegenden Gitter) werden miteinander verglichen, indem für jeden Gitterpunkt die Höhe in beiden Diagrammen voneinander subtrahiert und die betragsmäßige Abweichung ermittelt wird. Um die unterschiedliche Häufigkeit bestimmter Verkehrsstärken in Fundamentaldiagrammen zu kompensieren, kann dieser Vergleich zeilenweise (in Matrix-Schreibweise) durchgeführt werden.

[0091] Eine weitere Verbesserung erhält man, wenn dabei noch zwischen untersättigten und übersättigten Bereichen im Pattern-Diagramm unterschieden wird.

50 **[0092]** Analog zu der oben beispielhaft verwendeten Schreibweise eines Fundamentaldiagramms als Vektor kann auch ein Gitter als Vektor \vec{P}_G geschrieben werden, dessen Einträge die Rasterkoordinaten des Gitters darstellen. Der entsprechende Vektor für ein Rechteckgitter mit 40 Punkten in B-Richtung und 20 Punkten in Z-Richtung hat beispielsweise die Form

$$\vec{P}_G = \begin{bmatrix} (0.0;0.0) \\ (0.0;0.025) \\ (0.0;0.05) \\ \vdots \\ (0.3;0.0) \\ (0.3;0.025) \\ \vdots \\ (0.975;0.475) \end{bmatrix} \quad (15)$$

[0093] Analog zu dem oben beschriebenen Fall wird auch hier eine Gewichtungsmatrix bestimmt, um die Ähnlichkeit beziehungsweise den Abstand des Fundamentaldiagramms zu den Gitterpunkten zu bestimmen (siehe Gleichungen (8), (11) und (12)). Dazu nimmt der Gittervektor \vec{P}_G die Rolle der Messung ein (indiziert mit i) und das Fundamentaldiagramm die des Patterns (indiziert mit j). Die resultierende Gewichtungsmatrix U mit den Einträgen $u_{i,j}$ (es wird das selbe Abstandsmaß wie oben verwendet) enthält nun Einträge, welche die Gewichtung des Abstands aller Gitterpunkte (je Gitterpunkt einer Zeile) zu den Punkten des Fundamentaldiagramms (je Punkt des Fundamentaldiagramms eine Spalte) angeben. Die Dimension der Matrix ist, wie in obigem Fall, $n_i \cdot n_j$. Je höher die Werte der Matrixeinträge einer Zeile, umso mehr nahe Punkte befinden sich um den Gitterpunkt, der dieser Zeile entspricht.

[0094] Jedem Gitterpunkt lässt sich ein Dichtewert wie folgt zuordnen. Zunächst wird

$$\tilde{u}_i = \sum_{j=1}^{n_j} u_{i,j} \quad (16)$$

berechnet. Ein entsprechendes Dichtediagramm ist in Fig. 5 dargestellt. Zusätzlich kann die Summe

$$u = \sum_{i=1}^{n_i} \tilde{u}_i \quad (17)$$

bestimmt werden. Damit ergibt sich dann die normierte Dichte für jeden Gitterpunkt als

$$u_i = \frac{\tilde{u}_i}{u} \quad (18)$$

[0095] Vorzugsweise wird ein solches Dichtediagramm in Form einer Matrix dargestellt, wobei die Koordinaten der Matrixeinträge den Gitterkoordinaten entsprechen. Bei einem Gitter mit 40 Punkten in B-Richtung und 20 Punkten in Z-Richtung erhält man also eine 40 x 20-Matrix, deren Einträge jeweils den einem Gitterpunkt zugeordneten Dichtewert angeben. Eine solche Dichtematrix G_U hat also die Form

$$G_U = \begin{bmatrix} u_{0,19} & u_{1,19} & \cdots & u_{39,19} \\ u_{0,18} & \ddots & & u_{39,18} \\ & & & \vdots \\ u_{0,1} & u_{1,1} & & u_{39,1} \\ u_{0,0} & u_{1,0} & \cdots & u_{39,0} \end{bmatrix}$$

wobei hier die Einträge beispielhaft über die Koordinaten der Gitterpunkte indiziert sind.

[0096] Wenn für zwei Fundamentaldiagramme Dichtematrizen $G_{U,1}$ und $G_{U,2}$ vorliegen, kann der Abstand (oder die Ähnlichkeit) zwischen ihnen beispielsweise berechnet werden über

$$g_{\text{Ähnl}} = \frac{\sum_{\text{Elemente}} (\text{abs}(G_{U,1} - G_{U,2}))}{\text{Zahl der Elemente}} \quad (19)$$

wobei von den Einträgen der Differenzmatrix jeweils der Betrag genommen wird und über alle Elemente (Einträge) summiert wird; dann kann ggf. noch durch die Zahl der Summanden geteilt werden, um den Durchschnitt zu erhalten. Mit diesem einfachen Ähnlichkeitskriterium kann die Suche nach dem ähnlichsten Muster bei zuvor berechneten Dichtematrizen sehr schnell durchgeführt werden. Das Ergebnis kann auch noch normiert werden.

[0097] Wie bereits zuvor erwähnt, kann man sich beim Vergleich von Fundamentaldiagramm und Vergleichsfundamentaldiagramm auf Verkehrsstärken beschränken, die in der (transformierten) Messung (Fundamentaldiagramm) auch tatsächlich vorkommen. Dies ist immer dann sinnvoll, wenn der Wertebereich für die Verkehrsstärke Z in der Messung nicht den gesamten Bereich bis zur Sättigungsverkehrsstärke enthält oder wenn beispielsweise nur während Zeiten mit hoher Auslastung gemessen wird.

[0098] Eine solche Beschränkung kann erreicht werden, indem alle Z -Werte des transformierten Fundamentaldiagramms aufsteigend sortiert werden. Gegebenenfalls können die ersten und letzten x -% (Percentile, beispielsweise $x = 5$) verworfen werden. Der erste und der letzte Wert der Liste stellen die Grenzwerte Z_{min} und Z_{max} dar. Dann werden die Dichtematrizen des Fundamentaldiagramms und des Vergleichsfundamentaldiagramms auf die Zeilen beschränkt, deren Verkehrsstärken Z zwischen Z_{min} und Z_{max} liegen. Für diese wird dann die Ähnlichkeit gemäß Gleichung (19) bestimmt. Auch hier kann das Ergebnis normiert werden, beispielsweise über die Zahl der Gitterreihen mit unterschiedlichen Z .

[0099] Zur weiteren Verfeinerung kann ein bereichsspezifischer, zeilenweiser Vergleich mit variabler Gewichtung der Übersättigung durchgeführt werden. Jedes gemessene Fundamentaldiagramm ist eine Sammlung von Umläufen über einen größeren Zeitraum. In diesem Zeitraum schwankt die Verkehrsstärke in der Regel nach einem für den untersuchten Streckenabschnitt typischen Muster. Bei Messungen der Verkehrsstärke über einen ganzen Tag spricht man von "Ganglinien".

[0100] Auch bei den Pattern sind bestimmte Verkehrsstärke-Verläufe zu Grunde gelegt worden. Da die Ganglinien sich auf die Dichteverteilung in Fundamentaldiagrammen auswirken, kann der Vergleich eines Fundamentaldiagramms mit Vergleichsfundamentaldiagrammen mit unterschiedlichen Ganglinien zu verzerrten Ergebnissen führen.

[0101] Weiterhin ist ein wichtiges Kriterium die Unterscheidung in untersättigte (US) und übersättigte (OS) Umläufe. Fundamentaldiagramme haben im Allgemeinen immer einen untersättigten Bereich und weisen bei zu kurzen Grünzeiten auch den oberen Abschnitt des (OS)-Bereichs (Überlastung ohne Störung im Abfluss, Fläche rund um den Schnitt der Geraden b, c und d) auf.

[0102] Störungen im Abfluss, die zu dem rechten Ast in einem Fundamentaldiagramm mit negativer Steigung führen, müssen dabei nicht oder nicht in gleichem Umfang vorhanden sein.

[0103] Um solche Fundamentaldiagramme mit Vergleichsfundamentaldiagrammen in einfacher Weise zu vergleichen, kann das folgende Verfahren angewendet werden.

[0104] Zunächst werden zwei Dichtematrizen $G_{U,US}$ und $G_{U,OS}$ berechnet, die nur die untersättigten bzw. die übersättigten Punkte des Vergleichsfundamentaldiagramms enthalten. Die Trennung bzw. Zuordnung der Punkte des Patterns in unter- und übersättigte Punkte kann mit den dazu bekannten Verkehrskenngrößen in jedem Umlauf nach einfachen Regeln vorgenommen werden.

[0105] Beispielsweise kann für einen Punkt zunächst angenommen werden, dass er zum untersättigten Bereich gehört. Wenn der maximale Rückstau in Fahrzeugen (L_{max}) größer als $1.5 Z$ (Z die Verkehrsstärke) ist und die Hälfte der Grünzeit kleiner als L_{max} ist, dann wird der Punkt dem übersättigten Bereich zugeordnet. Wenn L_{max} größer als $1.2 \cdot Z$ ist und der davor betrachtete Punkt übersättigt war, wird der Punkt ebenfalls dem übersättigten Bereich zugeordnet.

[0106] Dann wird für jede Zeile der auf die tatsächlich zu berücksichtigenden Verkehrsstärken reduzierten Gittermatrix der Messung für alle k mit $k = \{0; 0.2; 0.4; \dots; 2.0\}$ zeilenweise eine zusammengesetzten Patternmatrix

$$G_{U,P,Zeile}(k) = G_{U,US,Zeile} + k \cdot G_{U,OS,Zeile} \quad (20)$$

berechnet. Die Elemente bzw. Einträge jeder Zeile der Patternmatrix $G_{U,P(k)}$ werden über die Summe der Elementwerte der Zeile normiert. Auch die Elemente jeder Zeile der Dichtematrix $G_{U,M}$ des Fundamentaldiagramms werden über die Summe ihrer Elementwerte normiert. Anschließend findet ein zeilenweiser Vergleich der Gittermatrix mit der Patternmatrix wie folgt statt:

$$g_{\text{Ähnl, Zeile}}(k) = \sum_{\text{Elemente, Zeile}} \text{abs}(G_{U,P, \text{Zeile}}(k) - G_{U,M, \text{Zeile}}(k)) \quad (21)$$

[0107] Danach wird ein Mittelwert aus den besten Ähnlichkeiten aller Zeilen gebildet. Dieser stellt dann die Ähnlichkeit bzw. das Entfernungsmaß zwischen dem Fundamentaldiagramm und dem Vergleichsfundamentaldiagramm dar.

[0108] Die zeilenweise Betrachtung mit den beiden getrennten Bereichen wird in dem in Figur 6 gezeigten Fundamentaldiagramm illustriert.

[0109] Ein Vektor \vec{k}_{Best} wird definiert, der als Einträge für jede Zeile den k-Wert, der in der entsprechenden Zeile der Matrizen zur größten Ähnlichkeit führt, aufweist. Daraus wird eine Matrix K_{Best} erzeugt, welche die Dimension der untersuchten Dichtematrizen aufweist und deren Elemente einer Zeile identisch den entsprechenden Wert des Vektors \vec{k}_{Best} enthalten. Damit ergibt sich,

$$G_{U,P_{\text{Best}}} = G_{U,US} + K_{\text{Best}} * G_{U,OS} \quad (22)$$

als beste Annäherung des Vergleichsfundamentaldiagramms an die Messung, wobei die Operation "*" die elementweise Multiplikation bedeutet. Diese Gittermatrix wird unten für das Bestimmen von Verkehrskenngrößen verwendet.

[0110] Mit den Vergleichsfundamentaldiagrammen, insbesondere aus Simulationen, stehen über die statistische Auswertung von Verkehrsdaten neben den Punkten des Fundamentaldiagramms zusätzliche Kenngrößen zur Verfügung. Die folgende Tabelle gibt ein Beispiel solcher Daten für eine Simulation an.

B [s]	Z[s]	TU[s]	TGR[s]	Lmax[Fz]	WFz[s]	B_spez [s]	dt [s]	US/OS	GradStoe
...									
24.66	8	60	20.25	9	24.1	0	22.25	1	0.00
14.92	13	60	20.25	9	19.7	3	99	1	0.04
42.91	10	60	20.25	11	35.4	7	11.75	1	0.10
46.31	11	60	20.25	12	37.4	8	11.75	1	0.11
46.32	11	60	20.25	14	38.1	10	11	1	0.14
43.51	14	60	20.25	14	44.2	6	13.25	1	0.09
44.66	11	60	20.25	14	50.3	8	11	1	0.11
47.78	11	60	20.25	15	48.6	11	10.25	1	0.16
45.12	13	60	20.25	16	60.1	7	13.25	1	0.10
47.25	11	60	20.25	21	64.0	11	8.75	2	0.16
46.59	13	60	20.25	24	59.5	9	11.75	2	0.13
45.07	12	60	20.25	25	80.0	8	11.75	2	0.11
43.63	14	60	20.25	17	83.9	6	13.25	2	0.09
42.84	14	60	20.25	16	54.4	5	13.25	1	0.07
46.21	12	60	20.25	17	54.7	9	11	1	0.13
43.88	14	60	20.25	18	53.9	5	13.25	1	0.07
44.91	12	60	20.25	15	59.5	9	11	1	0.13

EP 1 480 184 A2

(fortgesetzt)

5
10
15
20

B [s]	Z[s]	TU[s]	TGR[s]	Lmax[Fz]	WFz[s]	B_spez [s]	dt [s]	US/OS	GradStoe
45.86	13	60	20.25	16	50.6	6	11.75	1	0.09
46.19	11	60	20.25	22	66.2	8	11	2	0.11
46.56	11	60	20.25	22	68.3	10	11	2	0.14
44.11	13	60	20.25	22	81.4	7	13.25	2	0.10
43.61	14	60	20.25	19	74.0	6	13.25	2	0.09
43.94	13	60	20.25	17	65.6	6	13.25	2	0.09
42.85	14	60	20.25	13	45.6	5	13.25	1	0.07
43.99	14	60	20.25	14	46.8	5	13.25	1	0.07
46.59	12	60	20.25	13	44.9	10	11	1	0.14
46.01	13	60	20.25	16	43.0	9	11	1	0.13
46.11	12	60	20.25	16	42.5	8	13.25	1	0.11
42.27	13	60	20.25	16	54.2	5	5 13.25	1	0.07
...									

25 **[0111]** Zusätzlich zu den bereits erwähnten Größen sind in dieser Tabelle noch die spezielle Belegungsdauer B_spez und die Füllzeit dt (wie sie in EP1 276 085 verwendet werden) und der Grad der Störung $GradStoe$ gezeigt. Bei Stillstand des Verkehrsflusses geht der Grad der Störung gegen 1. Der Grad der Störung kann beispielsweise über

30
$$GradStoe = \frac{B_spez}{tgr + \frac{x}{3}} \quad (23)$$

definiert werden, wobei x der Abstand zwischen Detektor und Haltlinie ist.

35 **[0112]** In Figur 7 ist ein Beispiel einer Bestimmung von Verkehrskenngrößen schematisch dargestellt.

[0113] In Schritt (A) werden die in den Vergleichsfundamentaldiagrammen bereitgestellten B- und Z-Daten, wie oben beschrieben, transformiert. Eine entsprechende Transformation findet auch für die gemessenen Punkte des Fundamentaldiagramms in Schritt (D) statt.

40 **[0114]** Im Folgenden werden noch die verbleibenden Schritte des Verfahrens erläutert. Dabei werden in Schritt (B) die zu bestimmenden Verkehrskenngrößen (beispielhaft gezeigt: maximale Staulänge L_{max} und Wartezeit je Fahrzeug WFz) durch eine Transformation unabhängig von den Signaldaten (Grün-/Umlaufzeit) und bei Übersättigung von der in der Simulation verwendeten Streckenlänge gemacht. Als Ergebnis liegen dann eine oder mehrere Gittermatrizen vor, deren Elemente die mittleren Werte der jeweiligen Kenngröße für den (B,Z)-Punkt des Gitterelements darstellen (Schritt (C)). Diese Schritte können Offline durchgeführt werden.

45 **[0115]** Für ein transformiertes Fundamentaldiagramm wird eine Zeitreihe der Punkte erstellt, d. h. die Punkte werden nach ihrem zeitlichen Auftreten sortiert, sodass sich durch Rundung auf die nächstgelegenen Gitterpunkte ein Weg (in zeitlicher Hinsicht) durch die Gittermatrix bzw. Dichtematrix des Fundamentaldiagramms ergibt.

[0116] Weist man die Werte der in Schritt (C) berechneten Gittermatrizen für die Verkehrskenngrößen den jeweiligen Punkten der Zeitreihe aus Schritt (E) zu, erhält man Zeitreihen der transformierten Zustandsgrößen (Schritt (F)). Werden die Werte dieser Zeitreihen gemäß den Messbedingungen (t_u , t_{gr} (Grünzeit), Streckenlänge) rücktransformiert (Schritt (H)) und gegebenenfalls geglättet, erhält man als Ergebnis die entsprechend bestimmten Verkehrskenngrößen.

[0117] In Schritt (G) wird für jeden Punkt der Messung geprüft, ob er zum untersättigten oder übersättigten Verkehrszustand gehört. Abhängig davon erfolgt die Zuweisung eines transformierten Kennwertes aus US oder OS und abhängig davon erfolgt auch die Rücktransformation in Schritt (H).

55 **[0118]** Beispiele für diese Schritte werden nun im Folgenden ausführlich beschrieben.

[0119] Ziel des Normierungsschrittes (B) sind Gittermatrizen analog zur Dichtematrix G_U , nur enthalten die Matrixwerte hier maximale Staulängen (bei $G_{L_{max}}$) bzw. durchschnittliche Wartezeiten (bei G_{WFz}).

[0120] Die Normierung von L_{max} und W über Grün- und Umlaufzeit wird in Abhängigkeit vom Zustand der Unter-

oder Übersättigung durchgeführt.

[0121] Für jeden Messpunkt des Patterns, der im untersättigten Zustand ist, wird über tgr und tu wie folgt normiert:

$$L_{\max,US,N,P} = \frac{L_{\max,P}}{tgr_P} \quad (24)$$

$$WFz_{US,N,P} = \frac{WFz_P}{tu_P - tgr_P}$$

[0122] Dies beruht auf dem Zusammenhang, dass die maximale Staulänge bei variierenden Grün- und Umlaufzeiten im wesentlichen proportional zur Grünzeit, die Wartezeit im wesentlichen proportional zur Rotzeit ist.

[0123] Im übersättigten Zustand wird durch die Länge der gesamten im Zufluss der LSA liegenden Strecke (bspw. in Fig. 1 die Distanz zwischen den Haltlinien 3 und 3') geteilt:

$$L_{\max,OS,N} = \frac{L_{\max}}{L_{Strecke}} \quad (25)$$

[0124] In erster Näherung erstreckt sich der Stau nach kurzer Zeit bei Übersättigung über die gesamte im Zufluss der LSA liegenden Strecke. Eine gewisse "Modulation", also Abhängigkeit von Verkehrsstärke und Belegungsdauer, kann mit der dargestellten Normierung erreicht werden.

[0125] Der Ansatz für die Berechnung der Wartezeit im übersättigten Zustand in (G) benötigt ausschließlich gemessene Werte, so dass in (B) keine Normierung erforderlich ist.

[0126] Unter Verwendung eines Gittervektors \vec{P}_G , der alle Punkte des Gitterrasters enthält (siehe Formel (15)), wird bei Schritt (C) in Verbindung mit den Punkten (B,Z) des Patterns \vec{P}_P gemäß den Formeln (8), (11), (12) analog zu oben eine allgemeine Gewichtungsmatrix W erstellt. Wird diese noch zeilenweise normiert (Summe der Elemente je Zeile ist 1), erhält man die Gewichtungsmatrix W .

[0127] Nimmt man aus den Punkten des Patterns nur die Teilmenge $\vec{P}_{P,US}$, welche die Punkte im untersättigten Zustand umfasst, und führt die genannte Berechnung durch, erhält man in gleicher Weise eine Gewichtungsmatrix W_{US} und entsprechend für die Punkte im übersättigten Zustand eine Gewichtungsmatrix W_{OS} .

[0128] Die normierten maximalen Staulängen für den unter- und den übersättigten Zustand können nach ihrem zeitlichen Auftreten sortiert werden, so dass man Vektoren $\vec{L}_{\max,US,N}$ und $\vec{L}_{\max,UOS,N}$ analog zu $\vec{P}_{P,US}$ und $\vec{P}_{P,OS}$ erhält. Damit können über

$$\vec{L}_{G,US,\max} = W_{US} \cdot \vec{L}_{\max,US,N} \quad (26)$$

$$\vec{L}_{G,OS,\max} = W_{OS} \cdot \vec{L}_{\max,OS,N}$$

und einer anschließenden Anordnung in Matrixform analog zu G_u oben Gittermatrizen $G_{L\max,US}$ und $G_{L\max,OS}$ der maximalen Staulängen je Gitterpunkt berechnet werden.

[0129] Analog dazu kann aus der Zeitreihe der Wartezeiten ohne Übersättigung, $\vec{WF}_{ZUS,N}$ eine Gittermatrix $G_{WFz,US}$ bestimmt werden.

[0130] Liegen Gittermatrizen für Staulängen oder Wartezeiten vor, so kann jeder Punkt der Messung des Fundamentaldiagramms in Schritt (E) durch eine Position im Gitter angenähert werden. Getrennt nach den Zeitreihen der normierten Belegung $\vec{B}_{M,N}$ und der normierten Verkehrsstärke $\vec{Z}_{M,N}$ können die Index-Vektoren für Spalten \vec{k}_B und Zeilen \vec{k}_Z der Gittermatrizen wie folgt berechnet werden.

$$\vec{k}_B = \text{runden}(\vec{B}_{M,N} \cdot z_B + 0.5 \cdot \text{ones}(\vec{B}_{M,N})) \quad (27)$$

$$\vec{k}_Z = \text{runden}(\vec{Z}_{M,N} \cdot z_Z + 0.5 \cdot \text{ones}(\vec{Z}_{M,N}))$$

[0131] Die Operation ones() erzeugt einen 1-Vektor (Vektor nur mit Einsen als Einträgen) der Dimension des Argu-

ments; durch die Operation runden() wird das Argument gerundet. Die Werte der Ergebnisvektoren können aus softwaretechnischen Gründen auf den Wertebereich begrenzt werden, der als Index für die Adressierung von Elementen der Matrizen erlaubt ist. Die ganzzahligen Werte dieser Vektoren stellen jetzt Nummern der Spalten bzw. Zeilen der Gittermatrix dar.

5 **[0132]** In Schritt (F) können zu jedem Umlauf die Staulängen oder Wartezeiten aus den entsprechenden Gittern wie folgt bestimmt werden:

$$10 \quad \begin{aligned} \hat{L}_{\max,N}(i) &= G_{L_{\max}}(\vec{k}_Z(i), \vec{k}_B(i)) \\ WFz_N(i) &= G_{WFz}(\vec{k}_Z(i), \vec{k}_B(i)) \end{aligned} \quad (28)$$

15 **[0133]** Damit sind für einen gemessenen Punkt eines Fundamentaldiagramms die Verkehrskenngrößen "maximale Staulänge" und "Wartezeit je Fahrzeug" bestimmt worden.

[0134] Gleichung (28) gilt jeweils für Matrizen, die unter- oder übersättigte Verkehrszustände beschreiben. Wie beschrieben, ist die entsprechende Matrix für die Wartezeit bei Übersättigung nicht erforderlich, und damit auch die entsprechende Rechenoperation.

20 **[0135]** Die Unterscheidung bzw. Zuordnung von untersättigten und übersättigten Punkten (Schritt (G)) kann beispielsweise schon anhand der Lage im Fundamentaldiagramm der Messung selbst geschehen (siehe Fig. 4): Liegen die Punkte deutlich links der Strecke b, stellen sie untersättigte Umläufe dar, liegen sie genügend rechts von dieser Strecke, übersättigte. Dies kann durch geeignete Abstandskriterien implementiert werden.

25 **[0136]** In der Umgebung des Schnittpunktes der Geraden b und c können sich untersättigte Punkte aus schlechter Koordinierung mit Umläufen, in denen Übersättigung geherrscht hat, überlagern.

[0137] Für solche Punkte kann die Zugehörigkeit insbesondere auf zwei Wegen geprüft und die Ergebnisse kombiniert werden. Grundlage ist dabei immer das Vergleichsfundamentaldiagramm, das der Messung am ähnlichsten ist. Gemessen wird die Entfernung jedes Messpunktes zum untersättigten und zum übersättigten Teilmuster.

30 **[0138]** Einerseits kann die Zugehörigkeit anhand der Lage des Punktes bestimmt werden. Verwendet werden dazu die Dichtematrizen $G_{U,US}$, $G_{U,OS}$. Ihre Matrixeinträge stellen die Dichte dar, die das Fundamentaldiagramm an der Stelle des Eintrages hat (an dem entsprechenden Gitterpunkt). Ist die Dichte der Matrix untersättigter Punkte an einer Stelle höher als die Dichte der übersättigten Matrix, so ist die Zugehörigkeit zum untersättigten Zustand höher als zum übersättigten, und umgekehrt.

35 **[0139]** Für eine zeilenweise Normierung kann die Matrix $G_{U,P_{Best}}$ verwendet werden, die in Formel (22) definiert ist. Die Normierung geschieht über eine Matrix

$$40 \quad S = \left[\begin{array}{cccc} \vec{s} & \vec{s} & \dots & \vec{s} \end{array} \right] \quad \text{mit} \quad \vec{s} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{n_B} G_{U,P_{Best}}(i,1) \\ \sum_{i=1}^{n_B} G_{U,P_{Best}}(i,2) \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^{n_B} G_{U,P_{Best}}(i,n_Z) \end{bmatrix} \quad (29)$$

45 **[0140]** Die Matrix S hat die Dimensionen der Gittermatrizen und setzt sich aus Vektoren \vec{s} zusammen, deren Elemente die zeilenweisen Summen der Dichte-Gittermatrix $G_{U,P_{Best}}$ darstellen. Sie kann zur Normierung verwendet werden und berücksichtigt für jede Verkehrsstärke den Anteil der Störungen im Fundamentaldiagramm der Messung.

[0141] Die (anhand der Messung normierte) Dichte der untersättigten Teilmenge des Patterns berechnet sich zu

$$55 \quad G_{U,US,N} = S * G_{U,US} \quad (30)$$

die der übersättigten Teilmenge zu

$$G_{U,OS,N} = S * K_{Best} * G_{U,OS} \quad (31)$$

5 [0142] Die Zugehörigkeit der Messpunkte zur unter- und übersättigten Teilmenge kann dabei innerhalb des Gitterrasters wie folgt bestimmt werden:

$$\begin{aligned} \Delta G_{US} &= G_{U,OS,N} - G_{U,US,N} \\ \Delta G_{OS} &= G_{U,US,N} - G_{U,OS,N} \end{aligned} \quad (32)$$

15 [0143] Die zwei Matrizen unterscheiden sich nur durch die Vorzeichen ihrer Elemente. Je geringer der Wert eines Elementes, umso größer ist die Zugehörigkeit zum entsprechenden Bereich.

[0144] Die Übertragung der Zugehörigkeit auf die einzelnen Punkte der Zeitreihe der Messung unter Verwendung von Formel (27) analog zur Gleichung (28) ergibt:

$$\begin{aligned} \Delta_{US}(i) &= \Delta G_{US}(\vec{k}_Z(i), \vec{k}_B(i)) \\ \Delta_{OS}(i) &= \Delta G_{OS}(\vec{k}_Z(i), \vec{k}_B(i)) \end{aligned} \quad (33)$$

25 [0145] Fig. 8 zeigt einen solchen Verlauf an einem Beispiel.

[0146] Eine Zugehörigkeitsbestimmung aufgrund des Gradienten kann insbesondere in den Fällen, in denen Messpunkte aus schlechter Koordinierung und aus Übersättigung im gleichen Bereich des Fundamentaldiagramms liegen, vorteilhaft sein.

30 [0147] Als Kriterium wird dabei die "Bewegung" der Punkte eingesetzt. Dazu wird für jeden Punkt der normierten Messung und des (normierten) Patterns die Änderung (Differenz) zum vorherigen Punkt der Zeitreihe berechnet. Ausgangspunkt ist dann für beide Zeitreihen der jeweilige Vektor:

$$\vec{P} = \begin{bmatrix} (B_1; Z_1) \\ \vdots \\ (B_i; Z_i) \\ \vdots \\ (B_n; Z_n) \end{bmatrix} \quad (34)$$

45 [0148] Im Einzelnen ergeben sich folgende Schritte:

[0149] Zunächst wird ein Differenzvektor

$$\Delta \vec{P} = \begin{bmatrix} (\Delta \tilde{B}_1; \Delta \tilde{Z}_1) \\ (\Delta \tilde{B}_2; \Delta \tilde{Z}_2) \\ \vdots \\ (\Delta \tilde{B}_i; \Delta \tilde{Z}_i) \\ \vdots \\ (\Delta \tilde{B}_{n-1}; \Delta \tilde{Z}_{n-1}) \\ (\Delta \tilde{B}_n; \Delta \tilde{Z}_n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (0;0) \\ (B_2 - B_1; Z_2 - Z_1) \\ \vdots \\ (B_i - B_{i-1}; Z_i - Z_{i-1}) \\ \vdots \\ (B_{n-1} - B_{n-2}; Z_{n-1} - Z_{n-2}) \\ (B_n - B_{n-1}; Z_n - Z_{n-1}) \end{bmatrix} \quad (35)$$

bestimmt. Anschließend erfolgt eine Umwandlung gegengerichteter Bewegungen für alle Elemente:

$$(\Delta\hat{B}_i, \Delta\hat{Z}_i) = \begin{cases} (\Delta\tilde{B}_i; \Delta\tilde{Z}_i) & \text{wenn } \Delta\tilde{B}_i \geq 0 \\ (-\Delta\tilde{B}_i; -\Delta\tilde{Z}_i) & \text{sonst} \end{cases} \quad (36)$$

[0150] Optional kann eine Glättung stattfinden

$$(\Delta B_i, \Delta Z_i) = \begin{cases} (\Delta\tilde{B}_i; \Delta\tilde{Z}_i) & \text{wenn } i = 1 \\ (\alpha \cdot \Delta\tilde{B}_i + (1-\alpha) \cdot \Delta B_{i-1}; \alpha \cdot \Delta\tilde{Z}_i + (1-\alpha) \cdot \Delta Z_{i-1}) & \text{sonst} \end{cases} \quad (37)$$

wobei beispielsweise $\alpha = 0.1$.

[0151] Dann kann eine Notation als komplexer Vektor mit j für den Imaginäranteil erfolgen:

$$\Delta\vec{P} = \begin{bmatrix} \Delta B_1 + j\Delta Z_1 \\ \vdots \\ \Delta B_i + j\Delta Z_i \\ \vdots \\ \Delta B_n + j\Delta Z_n \end{bmatrix} \quad (38)$$

[0152] Angewendet auf die unter- und die übersättigte Teilmenge des Patterns, ergeben sich für das Pattern zwei Gradientenvektoren $\Delta\vec{P}_{P,US}$ und $\Delta\vec{P}_{P,OS}$. Für die Messung existiert nur ein Gradientenvektor $\Delta\vec{P}_M$.

[0153] Die Gradientenvektoren des Patterns stellen wie der Gradientenvektor der Messung Zeitreihen dar, wobei die Gradientenvektoren des Patterns aus mehreren Abschnitten unterschiedlicher Zeitbereiche zusammengesetzt sein können.

[0154] Es geht nun darum, alle Punkte der Messung mit von der Lage im Fundamentaldiagramme her ähnlichen Punkten der Teilmuster zusammenzubringen und die Eigenschaft "Gradient" zu vergleichen. Hierzu können die Gewichtungsmatrizen W_{US} und W_{OS} verwendet werden, da sie die Punkte des Patterns auf die Punkte der Messung "projizieren". Es ergeben sich analog zu Formel (26) mit

$$\begin{aligned} \Delta\vec{P}_{P,US}^T &= W_{US} \cdot \Delta\vec{P}_{P,US} \\ \Delta\vec{P}_{P,OS}^T &= W_{OS} \cdot \Delta\vec{P}_{P,OS} \end{aligned} \quad (39)$$

[0155] Vektoren $\Delta\vec{P}_{P,US}^T$ und $\Delta\vec{P}_{P,OS}^T$ mit gleicher Dimension wie der Gradientenvektor der Messung. Über

$$\begin{aligned} \Gamma_{US} &= \left| \Delta\vec{P}_{P,US}^T - \Delta\vec{P}_M \right| \\ \Gamma_{OS} &= \left| \Delta\vec{P}_{P,OS}^T - \Delta\vec{P}_M \right| \end{aligned} \quad (40)$$

ergeben sich die Zugehörigkeitsvektoren Γ_{US} und Γ_{OS} . Der Verlauf dieser Zugehörigkeitszeitreihen für das Beispiel aus Fig. 8 ist in Fig. 9 gezeigt.

[0156] Über die folgende Gleichung können beide Bewertungen für jeden Messpunkt zusammengefasst werden

(Vektor korrespondierend mit der Zeitreihe der Messung):

$$p_i = a_1 \cdot \Delta_i + a_2 \cdot \Gamma_i \quad (41)$$

5 wobei die Faktoren beispielsweise als $a_1 = 1$; $a_2 = 1$ gewählt werden. Je niedriger das Ergebnis, umso größer die Zugehörigkeit zu einer Teilmenge. Aufgrund seiner Berechnungsvorschrift kann die Zugehörigkeit bezüglich der Lage des Punktes Δ_i auch negativ werden. Die Zugehörigkeit aufgrund der zeitlichen Abfolge von Punkten wird durch ein (positives) Γ_i repräsentiert, das bei großer Zugehörigkeit gegen Null geht. In dem Beispiel der Fig. 8 und 9 ergibt sich der Verlauf nach Fig. 10.

[0157] Davon ausgehend, kann jeder einzelne Punkt der Messung dem unter- oder übersättigten Zustand zugewiesen werden:

$$\pi'(i) = \begin{cases} 1 & \text{wenn } p_{US}(i) \leq p_{OS}(i) \\ 2 & \text{sonst} \end{cases} \quad (42)$$

20 [0158] Um nervöses Schätzverhalten zu vermeiden, kann eine Glättung durchgeführt werden:

$$\pi''(i) = \begin{cases} \pi'(i) & \text{wenn } i = 1 \\ \alpha \cdot \pi'(i) + (1 - \alpha) \cdot \pi''(i-1) & \text{sonst} \end{cases} \quad (43)$$

was einen Verlauf wie in Fig. 11 ergibt.

30 [0159] Abschließend kann mit einem Schwellwert (1.5 in dem Beispiel) die endgültige Klassifizierung jedes Messpunktes in den Bereich US (1) oder OS (2) erfolgen:

$$\pi(i) = \begin{cases} 1 & \text{wenn } \pi'' \leq 1.5 \\ 2 & \text{sonst} \end{cases} \quad (44)$$

40 [0160] Wenn für jeden Messpunkt festgelegt ist, ob er unter- oder übersättigt ist, können die normierten Staulängen und Wartezeiten des entsprechenden Bereichs zugewiesen und dann entnormiert werden (Schritt (H)). Korrespondierend zu den Formeln (24) und unter Verwendung der Werte aus (28) ergibt sich schließlich die maximale Staulänge:

$$\hat{L}_{\max, M}(i) = \begin{cases} G_{L_{\max, US}}(\bar{k}_Z(i), \bar{k}_B(i)) \cdot tgr_M(i) & \text{wenn } \pi(i) = 1 \\ G_{L_{\max, OS}}(\bar{k}_Z(i), \bar{k}_B(i)) \cdot L_{Section, M} & \text{sonst} \end{cases} \quad (45)$$

[0161] Die durchschnittliche Wartezeit je Fahrzeug kann bestimmt werden als

$$\hat{W}Fz_M(i) = \begin{cases} G_{W, US}(\bar{k}_Z(i), \bar{k}_B(i)) \cdot (tu_M(i) - tgr_M(i)) & \text{wenn } \pi(i) = 1 \\ \frac{L_{Section, M}}{L_{Fz} \cdot \bar{Z}_M(i)} \cdot tu_M(i) & \text{sonst} \end{cases} \quad (46)$$

[0162] Dabei ist L_{Fz} die durchschnittliche Fahrzeuglänge, z.B. 6.4m. $\bar{Z}_M(i)$ ist die geglättete Verkehrsstärke der Mes-

sung, berechnet z.B. über exponentielle Glättung:

$$\bar{Z}_M(i) = \begin{cases} Z_M(i) & \text{wenn } i = 1 \\ \alpha \cdot Z_M(i) + (1 - \alpha) \cdot \bar{Z}_M(i-1) & \text{sonst} \end{cases}$$

[0163] Für die Umläufe mit Übersättigung kann auch der Grad der Störung ermittelt werden. Statt der normierten maximalen Staulänge kann der Grad der Störung, wie oben definiert, ohne weitere Normierung in ein entsprechendes Gitter $G_{GradStoe,OS,P}$ übertragen und über die Indexvektoren $\vec{k}_Z(i)$ und $\vec{k}_B(i)$ mit Bezug auf die Zeitreihe der Messwerte wieder ausgewertet werden. Weitere verkehrliche Kenngrößen lassen sich mit entsprechenden Verfahren für Normierung und Ent-Normierung auf die gleiche Weise bestimmen.

[0164] Nimmt man aus den Messwerten, die dem übersättigten Bereich zugewiesen werden, diejenigen, deren Grad der Störung einen bestimmten Grenzwert nicht überschreitet, z.B. 0.3, erhält man in Näherung die Umläufe, in denen gesättigter Verkehrsfluss ohne Störungen im Abfluss stattgefunden hat. Über die Verkehrsstärke und die Freigabezeit lässt sich daraus dann die Sättigungsverkehrsstärke bestimmen:

$$S = 1/n \cdot \sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{tgr_i}$$

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 einer Mehrzahl von Vergleichsfundamentaldiagrammen und Bereitstellen der Punkte eines Kenngrößendiagramms, das zu jedem Punkt eines Vergleichsfundamentaldiagramms einen Verkehrskenngrößenwert umfasst, für jedes Vergleichsfundamentaldiagramm,

b) Bereitstellen der Punkte eines Fundamentaldiagramms für die Bedienstation unter Verwendung von Detektordaten,

c) automatisches Vergleichen von Punkten des Fundamentaldiagramms mit Punkten jeweils eines der Vergleichsfundamentaldiagramme nach einem vorbestimmten Kriterium bis eine vorbestimmte Ähnlichkeitsbedingung erfüllt ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei Schritt c) die Schritte umfasst:

Bereitstellen von Gitterpunkten eines Gitterausschnitts, der die zu vergleichenden Punkte des Fundamentaldiagramms bzw. des Vergleichsfundamentaldiagramms überdeckt,

Bestimmen der Punkte von Dichtediagrammen für das Fundamentaldiagramm und das wenigstens eine Vergleichsfundamentaldiagramm, wobei ein einem Gitterpunkt zugeordneter Dichtewert aus der Summe der Abstände zwischen dem Gitterpunkt des Gitterausschnitts und den Punkten einer Teilmenge des Fundamentaldiagramms bzw. des Vergleichsfundamentaldiagramms gemäß einem vorbestimmten Abstandsmaß resultiert.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei das Bestimmen der Punkte eines Dichtediagramms für jedes Vergleichsfundamentaldiagramm die Schritte umfasst:

Zuordnen der Punkte des Vergleichsfundamentaldiagramms jeweils einem untersättigten oder einem übersättigten Zustand gemäß einem vorbestimmten Kriterium,

EP 1 480 184 A2

Bestimmen einer ersten Summe der Abstände zwischen einem Gitterpunkt des Gitterausschnitts und allen Punkten des untersättigten Zustands des Vergleichsfundamentaldiagramms gemäß dem vorbestimmten Abstandsmaß,

5 Bestimmen einer zweiten Summe der Abstände zwischen dem Gitterpunkt des Gitterausschnitts und allen Punkten des übersättigten Zustands des Vergleichsfundamentaldiagramms gemäß dem vorbestimmten Abstandsmaß,

10 Summieren der mit einem ersten Faktor aus einer vorbestimmten ersten Menge multiplizierten ersten Summe und der mit einem zweiten Faktor aus einer vorbestimmten zweiten Menge multiplizierten zweiten Summe, um einen dem Gitterpunkt zugeordneten Dichtewert zu erhalten.

15 **4.** Verfahren nach Anspruch 3, wobei das Summieren der ersten Summe und der zweiten Summe für alle Gitterpunkte, die auf einer Geraden parallel zur Verkehrsdichteachse des Vergleichsfundamentaldiagramms liegen, mit einer Mehrzahl unterschiedlicher Faktoren aus der vorbestimmten ersten und zweiten Menge wiederholt wird, und die erhaltenen Dichtewerte jeweils mit den entsprechenden Dichtewerten des Dichtediagramms des Fundamentaldiagramms gemäß einem vorbestimmten Kriterium verglichen werden, bis eine vorbestimmte Ähnlichkeitsbedingung erfüllt ist.

20 **5.** Verfahren nach Anspruch 4, wobei das Vergleichen von Dichtewerten, die auf einer Geraden parallel zur Verkehrsdichteachse liegend, für jeden Faktor aus der vorbestimmten ersten und zweiten Menge die Schritte umfasst:

25 Normieren der Dichtewerte des Dichtediagramms des Fundamentaldiagramms, die auf einer Geraden parallel zur Verkehrsdichteachse liegend,

Normieren der Dichtewerte des Dichtediagramms des Vergleichsfundamentaldiagramms, die auf einer Geraden parallel zur Verkehrsdichteachse liegend,

30 wobei die vorbestimmte Ähnlichkeitsbedingung erfüllt ist, wenn die Summe der Differenzbeträge von sich entsprechenden Dichtewerten der Dichtediagramme minimal oder kleiner als ein vorbestimmter Schwellwert ist.

35 **6.** Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, wobei das Vergleichen von Dichtewerten, die auf einer Geraden parallel zur Verkehrsdichteachse liegen, für alle Geraden parallel zur Verkehrsdichteachse, auf denen ein Punkt des Fundamentaldiagramms liegt, wiederholt wird, um ein optimiertes Dichtediagramm zu bestimmen.

40 **7.** Verfahren nach einem der Ansprüche 2 - 6, wobei in Schritt c) für das Dichtediagramm des Fundamentaldiagramms und die Dichtediagramme der Vergleichsfundamentaldiagramme die Differenzen der Abstandswerte der sich entsprechenden Punkte gebildet werden, und weiterhin ein Dichtediagramm der Vergleichsfundamentaldiagramme als Referenzdichtediagramm bestimmt wird, für das die Summe der Differenzbeträge minimal oder kleiner als ein vorbestimmter Schwellwert ist.

8. Verfahren nach Anspruch 7, mit den weiteren Schritten:

45 d) automatisches Bestimmen der Punkte eines Dichtediagramms für die Punkte des dem Referenzdichtediagramm entsprechenden Kenngrößendiagramms, wobei ein einem Gitterpunkt zugeordneter Dichtewert aus der Summe der Abstände zwischen dem Gitterpunkt des Gitterausschnitts und den Punkten einer Teilmenge der Punkte des Kenngrößendiagramms gemäß einem vorbestimmten Abstandsmaß multipliziert mit dem entsprechenden Verkehrskenngrößenwert resultiert,

50 e) automatisches Bestimmen eines Dichtewertes des Dichtediagramms des Kenngrößendiagramms, der einem Punkt des Fundamentaldiagramms entspricht.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei Schritt c) die Schritte umfasst:

55 Zuordnen der Punkte des dem Referenzdichtediagramm entsprechenden Vergleichsfundamentaldiagramms jeweils einem untersättigten oder einem übersättigten Zustand gemäß einem vorbestimmten Kriterium, um zwei Teilfundamentaldiagramme zu erhalten,

EP 1 480 184 A2

Bestimmen der Punkte eines Dichtediagramms für die jeweils einem Teilfundamentaldiagramm entsprechenden Kenngrößendiagramme,

5 Zuordnen der Punkte des Fundamentaldiagramms jeweils einem untersättigten oder einem übersättigten Zustand gemäß einem vorbestimmten Kriterium,

und wobei in Schritt e) das Dichtediagramm von den beiden Dichtediagrammen des Kenngrößendiagramms verwendet wird, das dem Zustand des Punktes des Fundamentaldiagramms entspricht.

10 **10.** Verfahren nach Anspruch 9, wobei für das Zuordnen der Punkte des Fundamentaldiagramms der einem Punkt des Fundamentaldiagramms entsprechende Dichtewert des Referenzdichtediagramms für den untersättigten Zustand mit dem dem Punkt entsprechenden Dichtewert des Referenzdichtediagramms für den übersättigten Zustand gemäß einem vorbestimmten Kriterium verglichen wird.

15 **11.** Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, wobei für das Zuordnen der Punkte des Fundamentaldiagramms die Differenzen von jeweils zwei zeitlich aufeinander folgenden Punkten des Fundamentaldiagramms mit den Differenzen von zwei zeitlich aufeinander folgenden Punkten der dem Referenzdichtediagramm entsprechenden Vergleichsfundamentaldiagramme für den untersättigten und den übersättigten Zustand gemäß einem vorbestimmten Kriterium verglichen werden.

20 **12.** Verfahren nach Anspruch 1, wobei in Schritt c) für jeden Punkt des Fundamentaldiagramms ein nächstliegender Punkt in dem Vergleichsfundamentaldiagramm gemäß einem vorbestimmten Abstandsmaß bestimmt wird, und mit den weiteren Schritten:

25 Bestimmen eines Vergleichsfundamentaldiagramms als Referenzfundamentaldiagramm, für das die Summe der Abstände der Punkte des Fundamentaldiagramms zu den jeweils nächstliegenden Punkten in dem Vergleichsfundamentaldiagramm minimal oder kleiner als ein vorbestimmter Schwellwert ist,

30 Bestimmen eines Verkehrskenngrößenwerts, der einem Punkt des dem Referenzfundamentaldiagramm entsprechenden Kenngrößendiagramms entspricht.

13. Verfahren nach Anspruch 1, wobei in Schritt c) die Abstände jedes Punktes des Fundamentaldiagramms zu allen Punkten des wenigstens einen Vergleichsfundamentaldiagramms gemäß einem vorbestimmten Abstandsmaß bestimmt werden, und mit den weiteren Schritten:

35 Bestimmen eines Vergleichsfundamentaldiagramms als Referenzfundamentaldiagramm, für das die Summe der Abstände aller Punkte des Fundamentaldiagramms zu allen Punkten des Vergleichsfundamentaldiagramms minimal oder kleiner als ein vorbestimmter Schwellwert ist,

40 Bestimmen eines Verkehrskenngrößenwerts, der einem Punkt des dem Referenzfundamentaldiagramm entsprechenden Kenngrößendiagramms entspricht.

45 **14.** Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei in Schritt c) die Punkte des Fundamentaldiagramms und der Vergleichsfundamentaldiagramme auf gemeinsame Sperr- und/oder Durchlassdauern transformiert werden.

15. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei in Schritt c) das Vergleichen nur für Punkte innerhalb eines vorbestimmten Verkehrsstärkebereichs durchgeführt wird.

50 **16.** Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei die Vergleichsfundamentaldiagramme durch Simulationen, durch Realmessungen und/oder manuell, insbesondere unter Berücksichtigung geometrischer oder betrieblicher Besonderheiten der Bedienstation und ihres Zuflusses, bereitgestellt werden.

55 **17.** Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei Schritt c) und/oder Schritt d) und/oder Schritt e) mit Hilfe von Matrizen durchgeführt werden.

18. Verfahren zur Kalibrierung eines Pulkmodells mit den Schritten:

EP 1 480 184 A2

Bereitstellen eines Pulkmodells mit Anfangsparametern für eine Bedienstation,

Bestimmen von Verkehrskenngrößen an der Bedienstation gemäß dem Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,

5

Anpassen der Parameter des Pulkmodells in Abhängigkeit der bestimmten Verkehrskenngrößen.

19. Verfahren zur Steuerung einer Bedienstationen zur Abfertigung einzeln bewegter Einheiten mit den Schritten:

10

Bestimmen von Verkehrskenngrößen an der Bedienstation gemäß dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 17,

Steuern der Bedienstation in Abhängigkeit der bestimmten Verkehrsqualität.

15

20. Computerprogrammprodukt, umfassend wenigstens ein computerlesbares Medium, mit dem die Schritte des Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche ausgeführt werden.

20

25

30

35

40

45

50

55

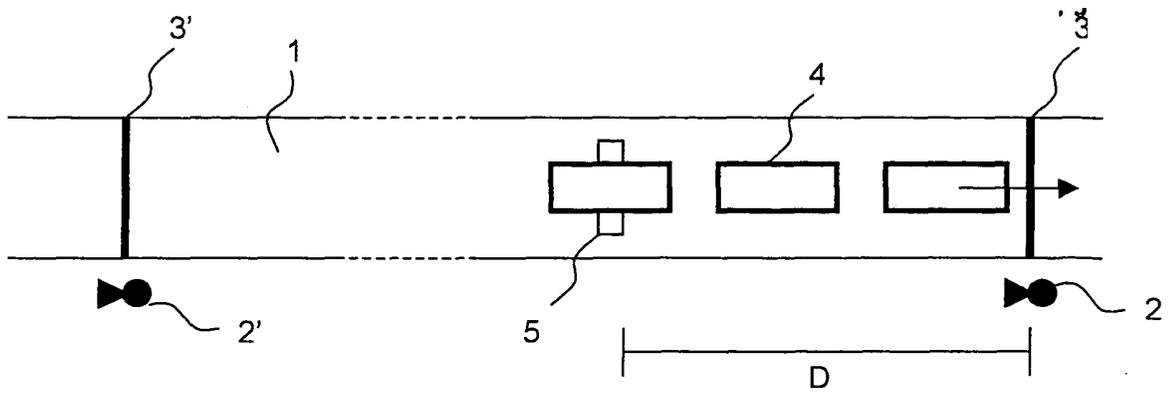


Fig. 1

Fundamentaldiagramm original

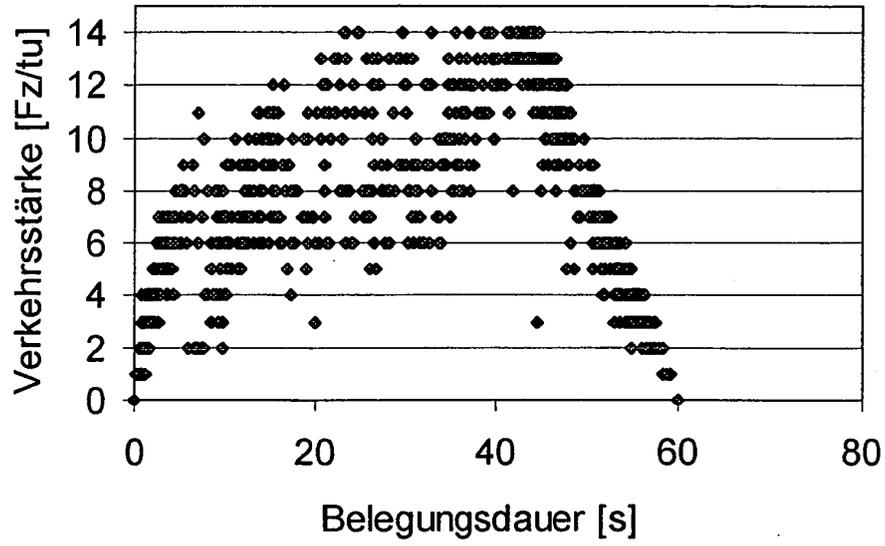


Fig. 2

Fundamentaldiagramm normiert

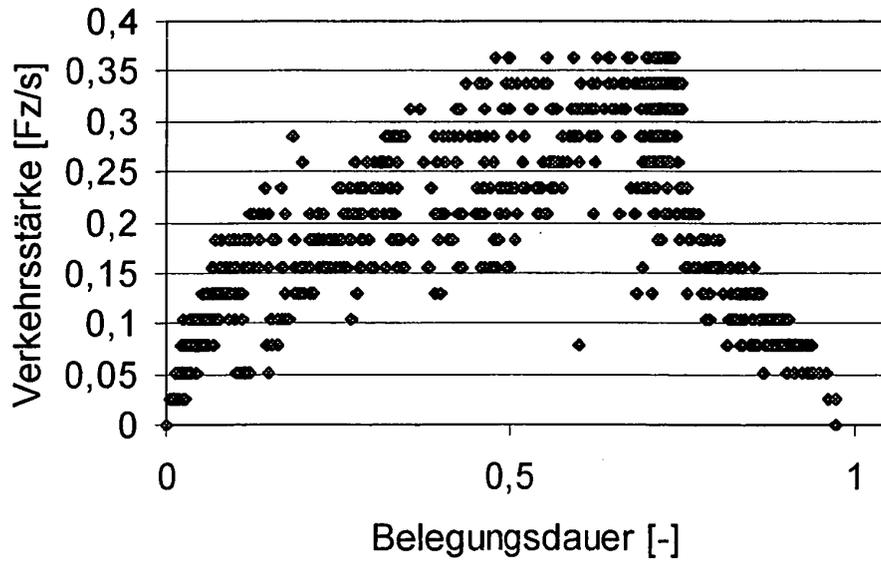


Fig. 3

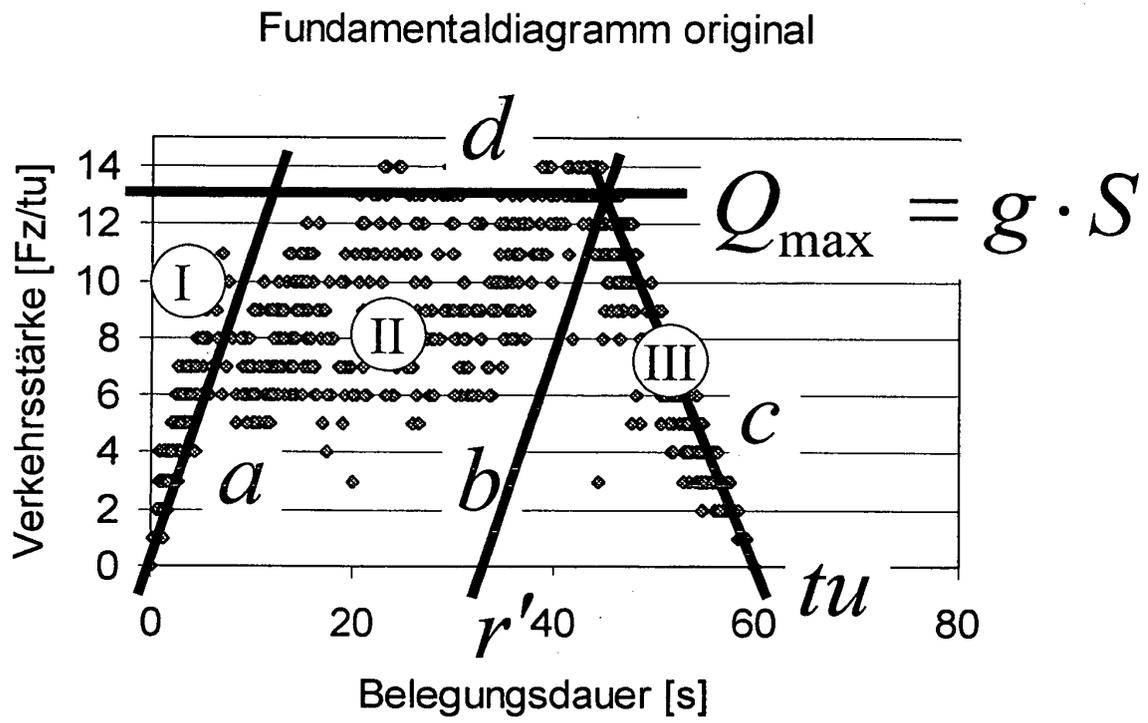


Fig. 4

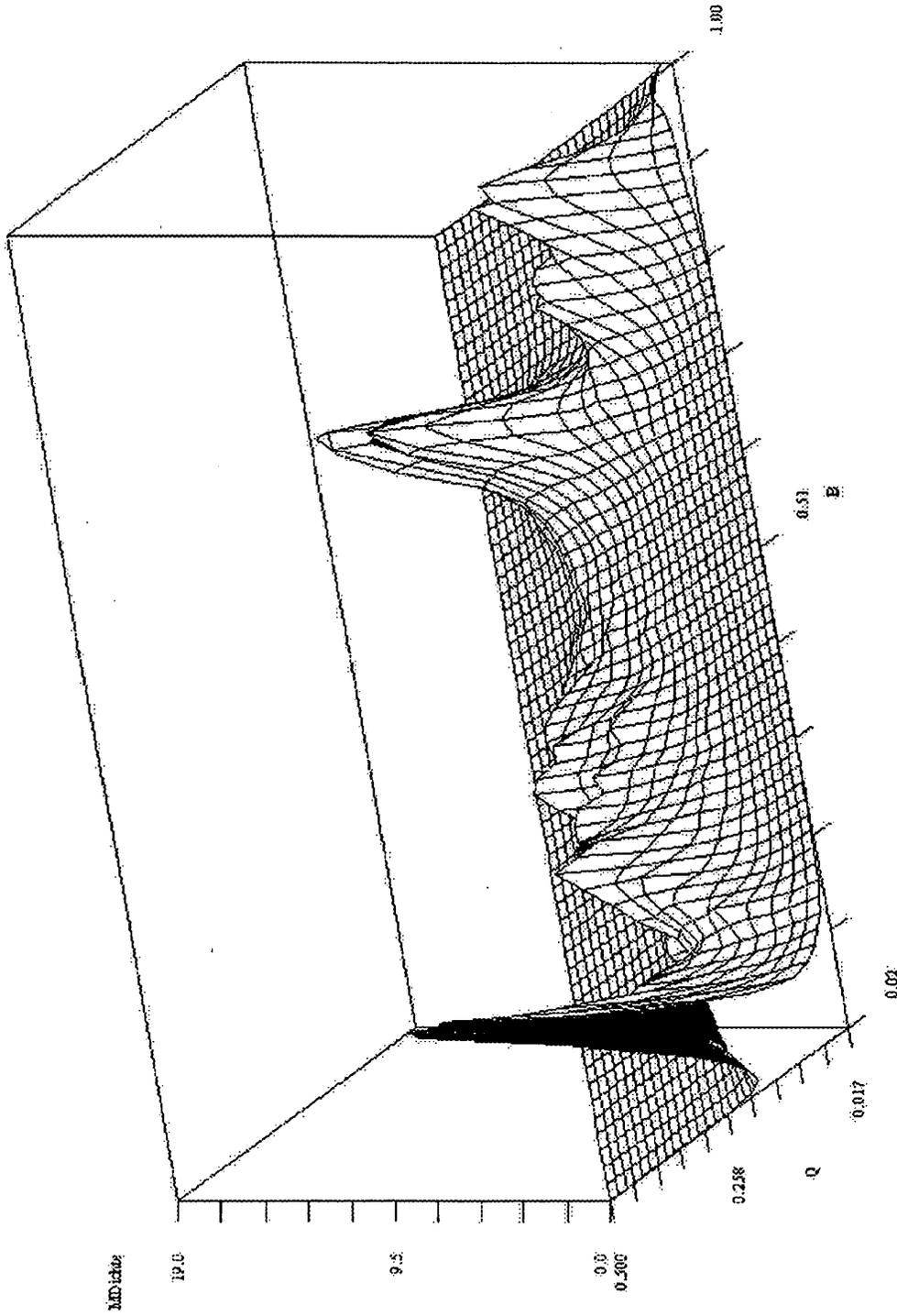


Fig. 5

Fundamentaldiagramm normiert

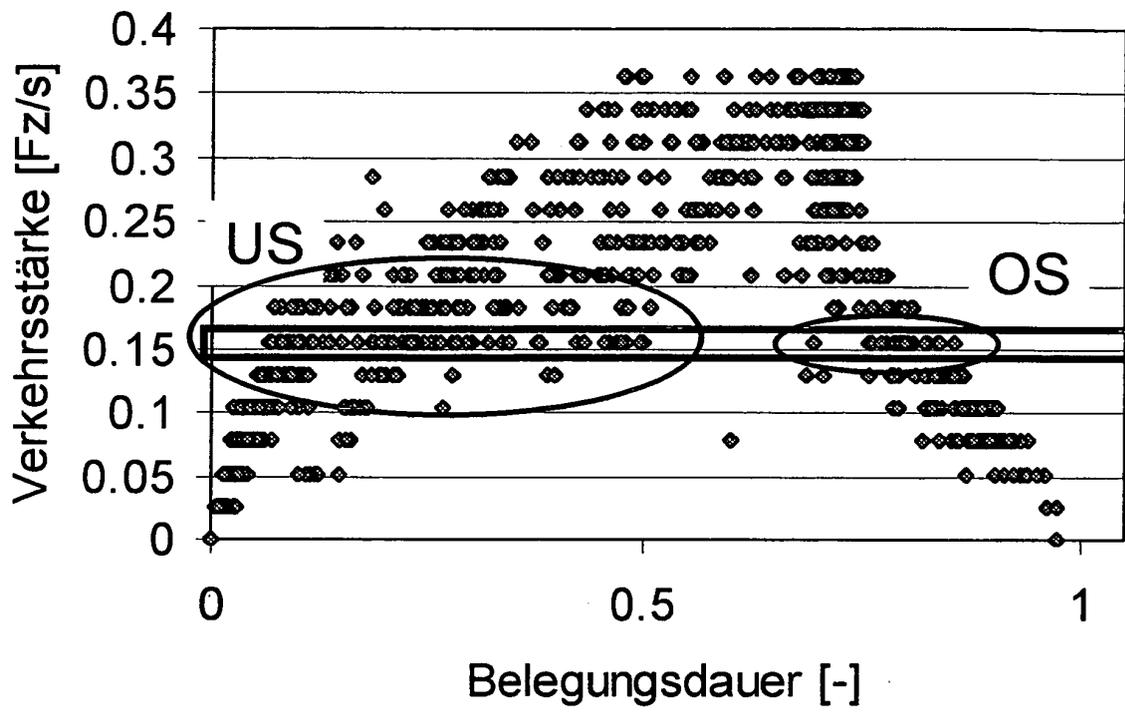


Fig. 6

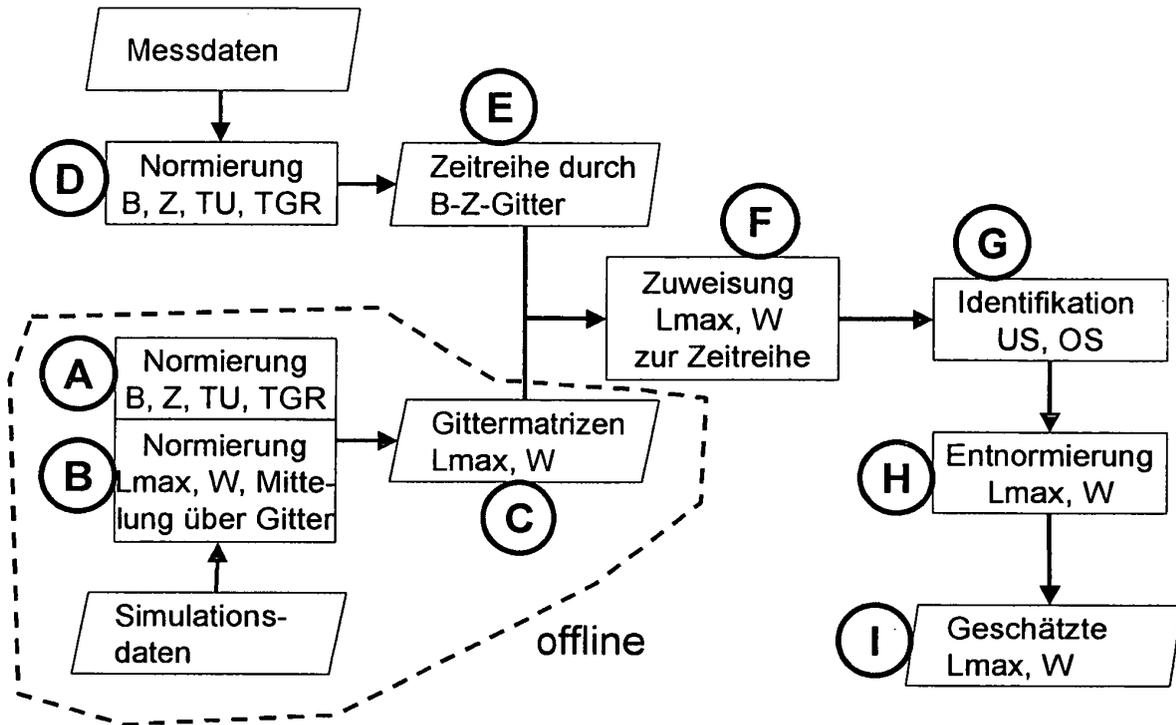


Fig. 7

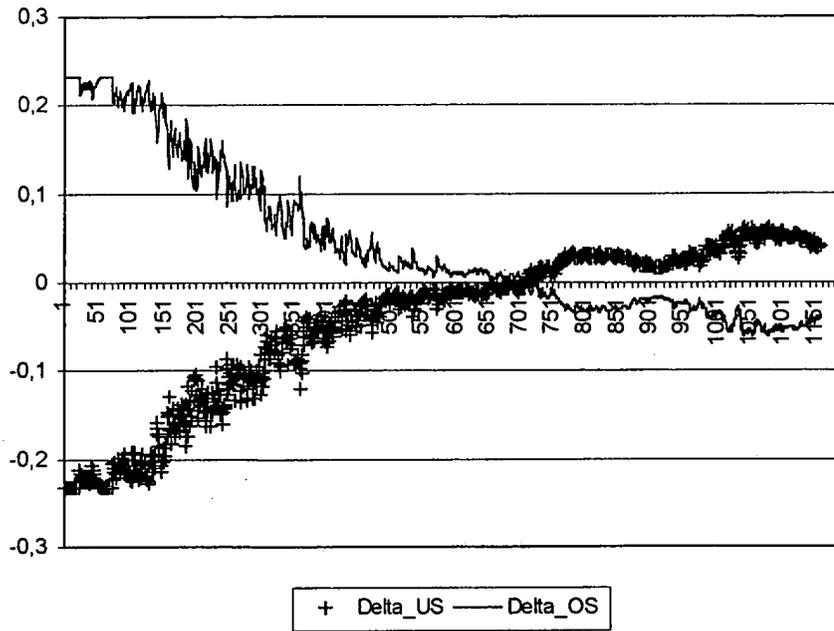


Fig. 8

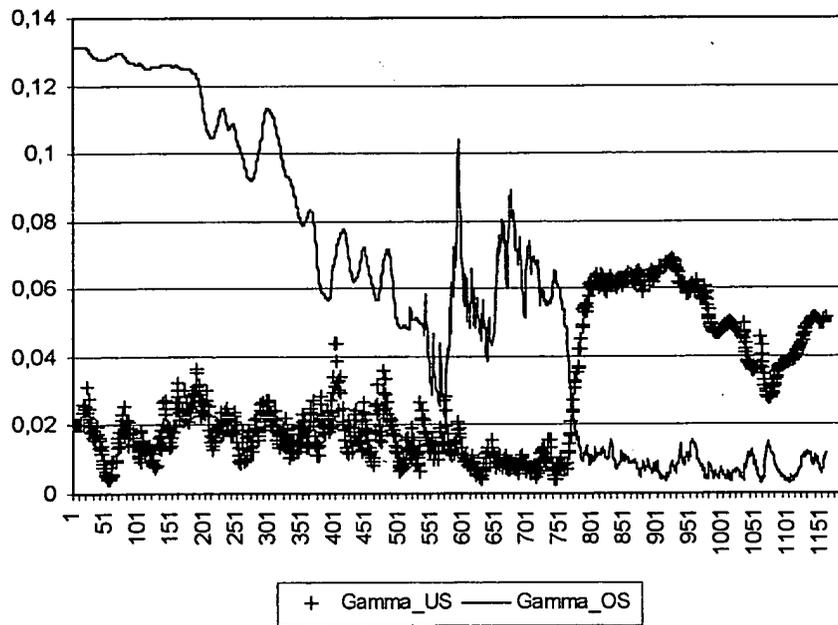


Fig. 9

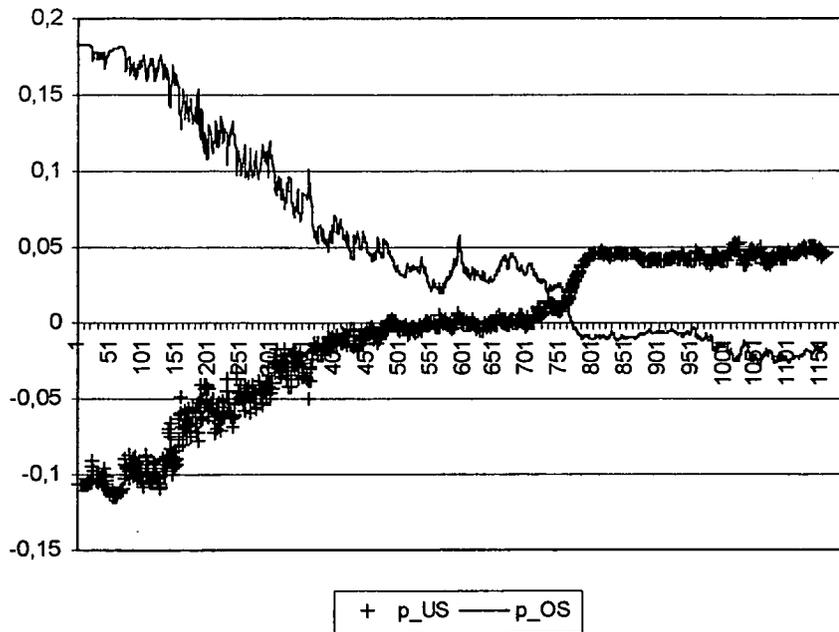


Fig. 10

Geglättete Zugehörigkeit

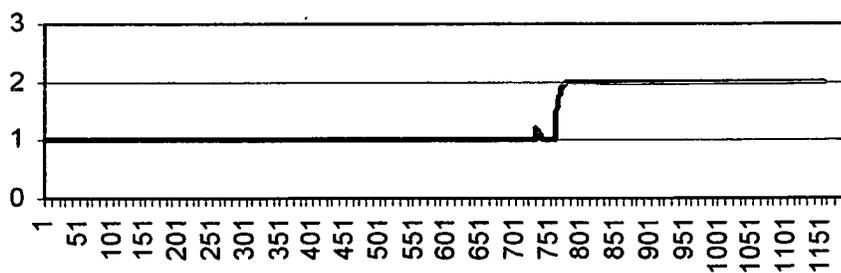


Fig. 11