



(11) **EP 2 280 383 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**02.02.2011 Patentblatt 2011/05**

(51) Int Cl.:  
**G08G 1/01 (2006.01) G08G 1/07 (2006.01)**  
**G08G 1/081 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **09167020.8**

(22) Anmeldetag: **31.07.2009**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK SM TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL BA RS**

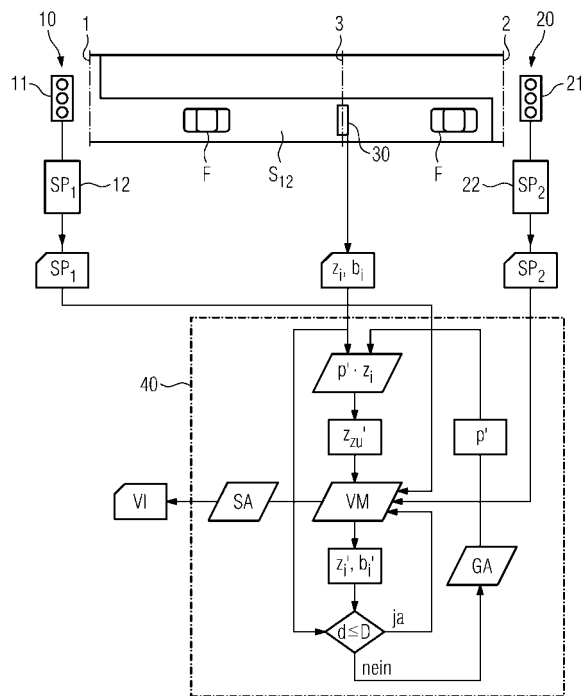
(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**  
**80333 München (DE)**

(72) Erfinder: **Mück, Jürgen**  
**81539, München (DE)**

(54) **Verfahren zur Ermittlung von Verkehrsinformationen für eine Straßenstrecke eines Straßennetzes sowie Verkehrsrechner zur Durchführung des Verfahrens**

(57) Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Ermittlung von Verkehrsinformationen (VI) für eine Straßenstrecke ( $s_{12}$ ) eines Straßennetzes sowie auf einen Verkehrsrechner (40) zur Durchführung des Verfahrens. Die Straßenstrecke ( $s_{12}$ ) weist einen Einfahrtquerschnitt (1), durch den ein die Straßenstrecke ( $s_{12}$ ) nachfragender Verkehrsstrom zufließt, einen Ausfahrtquerschnitt (2), durch den ein mittels einer Lichtsignalanlage (20) gesteuerter Verkehrsstrom abfließt, und wenigstens einen zwischen Ein- (1) und Ausfahrtquerschnitt (2) angeordneten Messquerschnitt (3) auf, an dem ein Fahrzeugdetektor (30) durch passierende Fahrzeuge (F) erzeugte Messdaten ( $q_i, b_i$ ) erfasst. Der Verkehrsfluss längs der Straßenstrecke ( $s_{12}$ ) wird mittels eines Verkehrsmodells (VM) simuliert. Dabei werden in Abhängigkeit eines zufließenden Modell-Verkehrsstroms ( $q_{zu}$ ) den Messdaten ( $q_i, b_i$ ) zugeordnete Modell-Messdaten ( $q_i', b_i'$ ) erzeugt. Der zufließende Modell-Verkehrsstrom ( $q_{zu}$ ) wird bezüglich der zeitlichen Verteilung von in die Modell-Straßenstrecke einfahrenden Modell-Fahrzeugen variiert und hinsichtlich einer Übereinstimmung der jeweils erzeugten Modell-Messdaten ( $q_i', b_i'$ ) mit den entsprechenden vom Fahrzeugdetektor (30) erfassten Messdaten ( $q_i, b_i$ ) optimiert. Die Verkehrsinformationen (VI), wie Wartezeiten und Halte von einzelnen Fahrzeugen, Qualitätskennwerte, und dergleichen, werden hierdurch automatisch und genau aus dem simulierten Modell-Verkehrsfluss ermittelt, der sich aus dem optimierten Modell-Verkehrsstrom ( $q_{zu}$ ) ergibt.

FIG 1



EP 2 280 383 A1

**Beschreibung**

5 **[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Ermittlung von Verkehrsinformationen für eine Straßenstrecke eines Straßennetzes sowie auf einen Verkehrsrechner zur Durchführung des Verfahrens, auf einen maschinenlesbaren Programmcode für den Verkehrsrechner und auf ein Speichermedium mit darauf gespeichertem Programmcode.

10 **[0002]** Die Ermittlung von Verkehrsinformationen für Lichtsignalgesteuerte Straßenstrecken, insbesondere die genaue Erfassung der Verkehrslage an einer Lichtsignalanlage, ist mit hohem manuellen Aufwand durch Beobachtung möglich. Die Messdaten der üblicherweise eingesetzten Fahrzeugdetektoren zur Verkehrssteuerung, in der Regel 10 bis 40 m vor einer Lichtsignalanlage angeordnete Induktionsschleifen, können nicht oder nur eingeschränkt verwendet werden, um genaue Verkehrsinformationen über die Anzahl an haltenden Fahrzeugen, die Wartezeiten oder die im Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen, bekannt unter der Kurzbezeichnung HBS, definierten Stufen der Verkehrsqualität zu gewinnen. Gerade die Erfassung der Koordinierungsqualität aufeinanderfolgender Lichtsignalanlagen über den Anteil der haltenden Fahrzeuge, idealer noch aus Kenntnissen der Ankunftsverteilungen der Fahrzeuge, ist aber eine wesentliche Kenngröße zur Beurteilung der Verkehrsflussqualität an Lichtsignalanlagen.

15 **[0003]** Bei der Offline-Ermittlung der Verkehrslage, z.B. für Gutachten, ist es zur genauen Ermittlung der Verkehrsqualität bekannt, ortsfeste Beobachtungen durchzuführen. Dies erfolgt beispielsweise durch manuelles Zählen des Anteils an zum Halt kommenden Fahrzeugen an einer Zufahrt zu einer Lichtsignalanlage für einen gewissen Zeitraum oder aber durch die nachträgliche Auswertung von Videoaufzeichnungen der Zufahrten. Wartezeiten können auf diese Weise nur qualitativ ermittelt werden. Eine Unterscheidung, ob die Straßenstrecke befahrende Fahrzeuge am vorgelagerten Knotenpunkt über die Hauptrichtung kommen oder aus einer der Nebenrichtungen eingebogen sind, ist in der Regel nicht möglich.

20 **[0004]** Sehr aufwendig ist hingegen die Befahrung der betreffenden Straßenstrecke durch Fahrzeuge und die Messung des Fahrtverlaufs, um beispielsweise einen Wirkungsnachweis einer Netzsteuerungsmaßnahme zu führen. Dies erfolgt entweder über die Aufzeichnung der Ankunftszeitpunkte am Ende einer Warteschlange oder an einer Haltelinie oder aber über die Protokollierung mittels GPS-Empfängern (GPS, kurz für Global Positioning System, zu Deutsch Globales Positionserkennungssystem). Die Auswertung der aufgezeichneten Messdaten erlaubt dann Aussagen über die Reisezeiten bzw. Wartezeiten, über den Anteil der Halte für die durch die Messfahrzeuge befahrenen Routen, und damit auch über die Qualität gemäß HBS. Aussagen über die Verkehrsqualität für Einbieger, deren Routen nicht befahren wurden, sind nicht möglich.

25 **[0005]** Aus der Offenlegungsschrift DE 103 59 977 A1 ist ein Verfahren zum Ermitteln einer Reisezeit für ein Fahrzeug in einem in Streckenabschnitte unterteilbaren Streckennetz bekannt. Das Streckennetz wird dabei derart in Streckenabschnitte unterteilt, dass ein Streckenabschnitt stromab an einer den Verkehrsstrom auf diesem Streckenabschnitt steuernden Lichtsignalanlage endet. An einer Messstelle längs des Streckenabschnitts werden mittels einer straßenseitigen Messeinrichtung den Verkehrsstrom charakterisierende Verkehrsdaten erfasst. Aus dem zeitlichen Verhalten der laufend erfassten Verkehrsdaten und der daraus abgeleiteten aktuellen Verkehrssituation auf diesem Streckenabschnitt wird eine Reisezeit für diesen Streckenabschnitt berechnet. Die gewonnenen Daten für Staulängen und Reisezeiten sind zwar genau genug, um für Steuerungsmaßnahmen in einem Verkehrsmanagementsystem verwendet zu werden, jedoch nicht für gutachterliche Zwecke. Dieses bekannte Verfahren liefert außerdem keine Aussage über die Koordinierungsqualität aufeinanderfolgender Lichtsignalanlagen.

30 **[0006]** Aus der europäischen Patentanmeldung EP 0 501 193 A1 ist ein Verfahren für eine selbsttätige verkehrstechnische Koordinierung eines unabhängigen Knotenpunkt-Steuergerätes einer Straßenverkehrs-Signalanlage mit Nachbarknoten bekannt. Der von dort zufließende Verkehr wird erfasst und analysiert, wobei für einen vorgegebenen Messzeitraum mit einer Vielzahl von Zeitintervallen die Anzahl der Fahrzeuge pro Zeitintervall ermittelt und gespeichert wird. Der Messzeitraum wird in Testzyklen mit gleichlanger Zykluszeit unterteilt. Innerhalb der Testzyklen wird die Fahrzeuganzahl je zugehörigem Zeitintervall aufsummiert. Eine derartige Abbildung des gesamten Messzeitraumes auf einen Testzyklus erlaubt hierfür eine Mittelwert- und Varianzbildung. Für weitere Testzyklen mit jeweils anderen Zykluszeiten werden derartige Abbildungen und Varianzberechnungen vorgenommen. Da die Größe der Varianz ein Maß für die zyklische Eigenschaft des zufließenden Verkehrs ist, wird aus den berechneten Varianzen ein vorhandener Fahrzeugzyklus und dessen Zykluszeit für die koordinierte Steuerung der Signalanlage festgestellt.

35 **[0007]** Die europäische Patentanmeldung EP 1 276 085 A1 zeigt ein Verfahren zur Bestimmung einer Staukennzahl und zur Ermittlung von Rückstaulängen. Es wird ein Verfahren zur Ermittlung einer Staukennzahl an Bedienstationen zur Abfertigung einzeln bewegter Einheiten offenbart. Mit Hilfe der Staukennzahl erhält man zwei Verfahren zur Schätzung der Rückstaulänge an der Bedienstation. Das erste Verfahren nutzt einen linearen Zusammenhang zwischen Rückstaulänge und geglätteter Staukennzahl aus. In jeder Abfertigungsphase wird die Steigung der Staulängenfunktion kalibriert, indem man die aktuelle Staukennzahl mit einer unteren Schranke für die Staulänge vergleicht. Im zweiten Verfahren wird die Rückstaulänge aus der Staukennzahl und dem Sättigungszeitbedarf mit Hilfe eines makroskopischen Warteschlangenmodells berechnet. Dieses bekannte Verfahren ist zwar für den online-Einsatz geeignet, liefert jedoch keine Aussagen über die Koordinierungsqualität aufeinanderfolgender Lichtsignalanlagen.

**[0008]** Die Offenlegungsschrift DE 101 08 611 A1 zeigt ein Verfahren zur Simulation und Prognose der Bewegung von Einzelfahrzeugen auf einem Verkehrswegenetz mit Netzknotenpunkten und diese verbindende Streckenabschnitte durch mikroskopische Größen unter Verwendung von aktuell gemessenen und historischen Verkehrsdaten. In einem ersten Schritt werden makroskopische Verkehrsgrößen bestimmt und in einem weiteren Schritt werden daraus die mikroskopischen Einzelfahrzeuggrößen getrennt für jedes Fahrzeug erzeugt.

**[0009]** Aus der US-Veröffentlichung "Configuring Micro-Genetic Algorithms for Solving Traffic Control Problems: The Case of Number of Generations", veröffentlicht von Abu-Lebdeh und Al-Omari in IEEE Proceedings of the Fourth International Symposium on Uncertainty Modeling and Analysis, 2003, Seiten 1 bis 8, ist die Verwendung von genetischen Algorithmen bei Optimierungsaufgaben in Verkehrsnetzen bekannt.

**[0010]** Aus der DE-Veröffentlichung "Online-Bewertung grüner Wellen: Ein Fuzzy-Expertensystem zur Schätzung der Verlustzeit vor Lichtsignalanlagen mittels halteliniennaher Detektoren", veröffentlicht 2004 in Straßenverkehrstechnik, Verfasser: Braun, Mück, offenbart ein Verfahren zur Online-Bewertung der Koordinierungsqualität zwischen zwei Lichtsignalanlagen. Es benötigt einen halteliniennahen Detektor vor der stromabwärts gelegenen Lichtsignalanlage, der sekundlich den Belegungsgrad misst und die Zahl der Fahrzeuge zählt. Außerdem muss die jeweils aktuelle Signalstellung dieser Lichtsignalanlage bekannt sein. Aus den Detektordaten und der Signalstellung werden für jeden Umlauf sechs charakteristische Größen ermittelt. Um die Koordinierungsqualität zwischen zwei Lichtsignalanlagen zu bewerten, wurde ein Fuzzy-Expertensystem entwickelt, das aus diesen Größen pro Umlauf die durchschnittliche Verlustzeit schätzt. Daraus kann für nicht überlastete ungestörte Verkehrsverhältnisse auf die Koordinierungsqualität zwischen dieser und der stromaufwärts gelegenen Lichtsignalanlage geschlossen werden. Ein Fuzzy-Expertensystem ermöglicht es, komplexe Zusammenhänge linguistisch zu formulieren. Für das vorliegende Problem ist dieser Ansatz sehr gut geeignet, da die verkehrstechnischen Zusammenhänge zwischen den charakteristischen Größen und der Verlustzeit linguistisch formuliert, und als Expertenwissen verarbeitet werden können. Das Verfahren zur Online-Bewertung der Koordinierungsqualität kann zur Überprüfung der Qualität bestehender grüner Wellen eingesetzt werden. Ein Einsatz im Rahmen verkehrsabhängiger Steuerungen von Lichtsignalanlagen ist grundsätzlich denkbar, da das Verfahren unter Echtzeitbedingungen funktioniert. Das Verfahren liefert jedoch keinerlei Informationen über die Zusammensetzungen der Fahrzeugpuls im Zufluss. Außerdem ist das Verfahren komplex und enthält viel Heuristik. Es bezieht keinen historischen Verlauf der Daten ein und verzichtet auf diese Weise auf Information. Schließlich ist die Genauigkeit des Verfahrens für Gutachten und Qualitätssicherung nicht geeignet.

**[0011]** Die EP 1 480 183 A1 zeigt 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.

**[0012]** Aus der europäischen Patentanmeldung EP 1 480 184 A2 ist ein Verfahren zur Bestimmung von Verkehrskenngrößen an Bedienstationen zur Abfertigung einzeln bewegter Einheiten bekannt. Die Bedienstationen weisen sich abwechselnde Sperr- und Durchlassphasen auf sowie einen vor der Bedienstation angeordneten Detektor. Zunächst werden Punkte einer Mehrzahl von Vergleichsfundamentaldiagrammen und Punkte eines Kenngrößendiagramms, das zu jedem Punkt eines Vergleichsfundamentaldiagramms einen Verkehrskenngrößenwert umfasst, bereitgestellt. Des Weiteren werden unter Verwendung von Detektordaten Punkte eines Fundamentaldiagramms für die Bedienstation bereitgestellt. Schließlich werden Punkte des Fundamentaldiagramms mit Punkten jeweils eines der Vergleichsfundamentaldiagramme nach einem vorbestimmten Kriterium automatisch verglichen, bis eine vorbestimmte Ähnlichkeitsbedingung erfüllt ist.

**[0013]** Allen bekannten Verfahren ist gemeinsam, dass sie entweder keine oder nur eine grobe Aussage über die Verteilung der Fahrzeugankünfte an einer Lichtsignalzufahrt ermöglichen. Jedenfalls sind die erreichten Genauigkeiten nicht zufriedenstellend. Den Verfahren ist ferner gemeinsam, dass sie aufgrund des hohen Kalibrierungsaufwands oder der fehlenden Genauigkeit bzw. Kenndaten nicht als Verfahren im Rahmen einer automatisierten Qualitätssicherung der Koordinierung aufeinanderfolgender Lichtsignalanlagen, z.B. durch eine täglich rückwirkende Auswertung, geeignet sind.

**[0014]** Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Ermittlung von Verkehrsinformationen sowie einen Verkehrsrechner zur Durchführung des Verfahrens bereitzustellen, womit auf automatisierte Weise eine genaue Ermittlung der Verkehrsinformationen, wie Wartezeiten und Halte von einzelnen Fahrzeugen, Qualitätskennwerte, und dergleichen, ermöglicht wird.

**[0015]** Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zur Ermittlung von Verkehrsinformationen für eine Straßenstrecke eines Straßennetzes, wobei die Straßenstrecke einen Einfahrtquerschnitt, durch den ein die Straßenstrecke nachfragender Verkehrsstrom zufließt, einen Ausfahrtquerschnitt, durch den ein mittels einer Lichtsignalanlage gesteuerter Verkehrsstrom abfließt, und wenigstens einen zwischen Ein- und Ausfahrtquerschnitt eingeordneten Messquerschnitt, an dem ein Fahrzeugdetektor durch passierende Fahrzeuge erzeugte Messdaten erfasst, aufweist, wobei der Verkehrsfluss längs der Straßenstrecke mittels eines Verkehrsmodells simuliert wird und in Abhängigkeit eines zufließenden Modell-Verkehrsstroms des Messdaten zugeordnete Modell-Messdaten erzeugt werden, wobei der

zufließende Modell-Verkehrsstrom bezüglich der zeitlichen Verteilung von in die Modell-Straßenstrecke einfahrenden Modell-Fahrzeugen variiert wird und hinsichtlich einer Übereinstimmung der jeweils erzeugten Modell-Messdaten mit den entsprechenden vom Fahrzeugdetektor erfassten Messdaten optimiert wird, und wobei die Verkehrsinformationen aus dem simulierten Modell-Verkehrsfluss, der sich aus dem optimierten Modell-Verkehrsstrom ergibt, ermittelt werden.

Die Simulation des Verkehrsflusses erfolgt beispielsweise anhand eines an sich bekannten makroskopischen Verkehrsmodells, wobei die Modellierung des Verkehrsflusses zum Beispiel über sich längs der modellierten Straßenstrecke bewegende Flächen konstanter Verkehrsdichte erfolgen kann. Das erfindungsgemäße Verfahren basiert demnach auf einer simulativen Nachbildung des realen Verkehrsflusses und der daraus entstehenden Messdaten durch ein geeignetes Verkehrsmodell. Der simulierte Modell-Verkehrsfluss wird in seiner Erzeugungscharakteristik am Einfahrtquerschnitt - d.h. die zeitliche Verteilung der durch den Einfahrtquerschnitt einfahrenden Fahrzeuge - so lange verändert, bis die durch ihn generierten, nachgebildeten Modell-Messdaten den real gemessenen Messdaten möglichst ähnlich sind. Der optimierte zufließende Modell-Verkehrsstrom, bzw. der sich daraus ergebende simulierte Modellverkehrsfluss dient dann zur Ableitung der gesuchten, in der Praxis üblichen Kenngrößen als Verkehrsinformationen. Wesentlich für das erfindungsgemäße Verfahren ist es, den zufließenden Verkehrsstrom nicht über eine vorgelagerte Lichtsignalanlage zu modellieren, sondern über ein gezieltes Modellieren des zufließenden Verkehrsstromes. Mit den gewonnenen Verkehrsinformationen ist es möglich, automatisiert Verkehrskenngrößen sowie die Qualität von Lichtsignalsteuerungen und grünen Wellen mit geringem Aufwand und ohne Durchführung von Messfahrten zu ermitteln bzw. evaluieren.

**[0016]** In einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden über einen in Zeitintervalle unterteilten Untersuchungszeitraum als Messdaten ein Zählwert an detektierten Fahrzeugen je Zeitintervall und ein Belegungswert des Fahrzeugdetektors je Zeitintervall erfasst werden, wobei Zähl- und Belegungswerte aus Rohdaten des Fahrzeugdetektors ermittelt werden. Ein wesentlicher Punkt ist hier die erstmalige systematische Auswertung der Rohdaten des Fahrzeugdetektors in Form von Zeitdaten seiner steigenden und fallenden Flanken oder in Form von sekundlich fein aufgelösten Zähl- und Belegungswerten für die Ermittlung der Koordinierungsqualität. Im Falle der Detektor-Flankendaten werden diese auf eine geeignete, aus der Physik des Verkehrsflusses abgeleitete Weise ausgewertet, indem das Abstandsverhalten und die Überfahrdauer über den Fahrzeugdetektor für jedes Fahrzeug in makroskopische Kenngrößen, die zeitlich feiner sein können als die Zeitintervalle des Untersuchungszeitraums, umgewandelt und eventuell geglättet. Die Verwendung der Rohdaten ermöglicht im Vergleich zu den bisher bekannten Verfahren die genaue Ermittlung von Ergebnissen bei Untersuchungszeiträumen, die wesentlich kürzer als bislang üblich sind, beispielsweise 10 bis 30 Minuten. Durch die Verwendung dieses Verfahrens ist im Gegensatz zum Vergleich direkter Flankendaten aus dem Modell und der Messung keine weitere Glättung mehr notwendig, um die Güte der Übereinstimmung berechnen zu können. Durch die Vermeidung einer Glättung wird das Verfahren erheblich genauer. Die auf diese Weise erzeugten Messdaten entsprechend den durch makroskopische Modelle ermittelten Zähl- und Belegungswerten wesentlich besser als direkt geglättete Rohdaten.

**[0017]** In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der zufließende Modell-Verkehrsstrom jeweils auf eine Umlaufzeit eines in einer den zufließenden Verkehrsstrom steuernden Lichtsignalanlage ablaufenden Signalzeitenplans bezogen. In diesem Fall wird dem Umstand Rechnung getragen, dass einem lichtsignalgesteuerten zufließenden Verkehrsstrom die Fahrzeuge in Umlaufzeit-periodischen Pulks durch den Einfahrtquerschnitt in die Straßenstrecke einfahren. Im Verkehrsmodell wird also der zufließende Modell-Verkehrsstrom auf die reale Umlaufzeit der den Zufluss steuernden Lichtsignalanlage bezogen.

**[0018]** In einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die während der Zeitintervalle des Untersuchungszeitraums erfassten Messdaten den einzelnen Signalumläufen des Signalzeitenplans entsprechend zugeordnet. Sind die Zeitintervalle des Untersuchungszeitraums bereits den Signalumläufen des Signalzeitenplans angepasst, können die Messdaten direkt weiterverwendet werden. Überlagern sich die Signalumläufe den Zeitintervallen mit verschiedenen Zeitdauern und/oder Anfangszeitpunkten, so müssen die Messdaten eines Zeitintervalls im Verhältnis zu dessen Überlappung mit den Signalumläufen auf diese aufgeteilt werden. Damit sind die Messdaten auf die Signalumläufe der den zufließenden Verkehrsstrom prägenden Lichtsignalanlage abgestimmt.

**[0019]** In einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der während einer Umlaufzeit zufließende Modell-Verkehrsstrom durch Multiplikation der Summe der dem Umlauf zugeordneten Zählwerte ( $z_i$ ) an detektierten Fahrzeugen ( $F$ ) mit einem normierten Pulkprofil ( $p'$ ) gebildet, das eine zeitliche Verteilung von Fahrzeuganteilen eines zufließenden Fahrzeugpulk innerhalb einer Umlaufzeit angibt, wobei der zufließende Modell-Verkehrsstrom durch Variation des zugrundeliegenden Pulkprofils variiert wird. Hier wird das Pulkprofil als zentrale, zu schätzende Kenngröße des erfindungsgemäßen Verfahrens zugrunde gelegt. Durch dieses Pulkprofil soll das an sich nicht bekannte, real vorliegende Pulkprofil angenähert werden. Das Pulkprofil umfasst die Dauer einer Umlaufzeit des Signalzeitenplans der den Zufluss steuernden Lichtsignalanlage. Das Pulkprofil ist beispielsweise auf eine Einheitsfläche normiert und gibt an, in welchen Zeitabschnitten einer Umlaufzeit der den zufließenden Verkehrsstrom steuernden Lichtsignalanlage, welcher Anteil der Gesamtzahl an während der Umlaufzeit durch den Einfahrtquerschnitt in den Streckenabschnitt eingefahrenen Fahrzeuge zufließt.

**[0020]** Mit Vorteil wird bei der Bildung des im Untersuchungszeitraum zufließenden Modell-Verkehrsstromes für jede

Umlaufzeit dasselbe Pulkprofil zugrunde gelegt. Diese Annahme ist für hinreichend kurze Untersuchungszeiträume, beispielsweise bis zu einer Stunde, gerechtfertigt und vereinfacht das Verfahren durch die Verwendung eines für alle Signalumläufe konstanten Pulkprofils.

**[0021]** In einer vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der Verkehrsfluss simuliert, indem Bewegungen von Modell-Fahrzeugen des zufließenden Modell-Verkehrsstroms längs einer Modell-Straßenstrecke nachgebildet werden, welche beim Passieren eines Modell-Messquerschnitts Modell-Messdaten erzeugen und welche durch einen Lichtsignalgesteuerten Modell-Ausfahrtquerschnitt abfließen. Im Vergleich zu einem makroskopischen Verkehrsmodell bietet die Verwendung eines auf einem gezielten Einsetzen von einzelnen Modell-Fahrzeugen am Modell-Einfahrtquerschnitt beruhenden, mikroskopischen Verkehrsmodells detaillierte Verkehrsinformationen.

**[0022]** In einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der zufließende Modell-Verkehrsstrom aus Modell-Fahrzeugen unterschiedlicher Fahrzeugklassen mit je einer mittleren Fahrzeuglänge gebildet, wobei eine Zusammensetzung des Modell-Verkehrsstroms aus Fahrzeugklassen und deren mittlere Fahrzeuglängen vorgegeben oder variiert werden. Damit kann der zufließende Modell-Verkehrsstrom nicht nur hinsichtlich seiner zeitlichen Verteilung während einer Umlaufzeit untersucht werden, sondern auch hinsichtlich seiner Zusammensetzung bezüglich unterschiedlicher Fahrzeugklassen, wie beispielsweise Personenkraftwagen, Lastkraftwagen oder Bussen, die unterschiedliche Beschleunigungs- und Reisegeschwindigkeitswerte aufweisen. Nach Optimierung des zufließenden Modell-Verkehrsstroms stehen damit auch Kennwerte für unterschiedliche Fahrzeugklassen zur Verfügung. Durch die Einbeziehung von Kenngrößen eines Verkehrsmodells, wie zum Beispiel der Klassenverteilung oder der Klasseneigenschaften - etwa der mittleren Fahrzeuglänge - in den Optimierungsvorgang, kann das zur Simulation verwendete Verkehrsmodell kalibriert werden.

**[0023]** In einer zusätzlichen bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die sich wiederholende Umlaufzeit oder eine Abfolge von sich ändernden Umlaufzeiten des Signalzeitenplans, der in der den zufließenden Verkehrsstrom steuernden Lichtsignalanlage abläuft, variiert, wobei die erfassten Messdaten der sich wiederholenden Umlaufzeit oder den sich ändernden Umlaufzeiten entsprechend zugeordnet werden. Dieses Verfahren kann mit Vorteil bei Unsicherheit bezüglich der Übereinstimmung der Umlaufzeiten der sendenden und betrachteten Lichtsignalanlage eingesetzt werden. Optional kann ein einfaches Pulkprofil, welches beispielsweise aus einem Hauptrichtungspulk und einem Nebenrichtungspulk zusammengesetzt ist, vorausgesetzt werden, so dass sich die Optimierung auf die Ermittlung der Umläufe der sendenden Lichtsignalanlage beschränkt.

**[0024]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird für wenigstens einen Teil der Zeitintervalle ein Abstand zwischen den jeweils erzeugten Modell-messdaten und den entsprechenden vom Fahrzeugdetektor erfassten Messdaten berechnet und zur Optimierung des zufließenden Modell-Verkehrsstroms ein Mittelwert der Abstände für den Teil der Zeitintervalle des Untersuchungszeitraumes minimiert. Liegen als Messdaten je Zeitintervall die Verkehrsstärke in der Einheit Fahrzeuge pro Stunde und der Belegungsgrad in Prozent vor, könnte als Abstandsmaß für ein bestimmtes Zeitintervall die Quadratwurzel aus der Summe der Quadrate der Differenzen zwischen den realen Messdaten und den Modell-Messdaten gebildet werden. Aus allen Abstandsmaßen der Zeitintervalle eines Untersuchungszeitraumes wird nun ein arithmetischer Mittelwert gebildet, der durch Variation des die Modell-Messdaten erzeugenden Pulkprofils iterativ minimiert wird.

**[0025]** In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird das dem zufließenden Modell-Verkehrsstrom zugrundeliegende Pulkprofil durch Anwendung genetischer Algorithmen variiert. Dieses an sich bekannte Verfahren eignet sich in besonderer Weise für den vorliegenden Anwendungsfall, ein normiertes Pulkprofil iterativ anzupassen.

**[0026]** In einer anderen bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird für jede Variante des zufließenden Modell-Verkehrsstroms ein den Grad der Übereinstimmung der von diesem erzeugten Modell-Messdaten mit den entsprechenden vom Fahrzeugdetektor erfassten Messdaten ermittelt, wobei aus den eine vorgegebene Schwelle für das Gütemaß überschreitenden Varianten eine Bandbreite möglicher Variationsparameter bestimmt wird. Dadurch kann neben der Ermittlung der Kenngrößen auch ein Maß für die Genauigkeit oder Zuverlässigkeit der Lösung ermittelt und dargestellt werden.

**[0027]** In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden aus dem optimierten zufließenden Modell-Verkehrsstrom durch statistische Auswertung der Modell-Fahrzeugbewegungen als Verkehrsinformationen Bewegungslinien und/oder Halte und/oder Wartezeiten der Modell-Fahrzeuge ermittelt. Liegt also ein optimiertes geschätztes Pulkprofil vor, so steht auch die daraus entstandene simulative Nachbildung des Verkehrsflusses auf der Straßenstrecke zur Verfügung. Durch die statistische Auswertung des simulierten Verkehrsflusses lassen sich Wartezeiten und Halte aller Fahrzeuge, ggf. unterschieden nach Fahrzeugen die aus der Haupt- bzw. aus einer Nebenrichtung zugeflossen sind, ermitteln. Aus der Form des gefundenen Pulkprofils können die Pulkanteile der Hauptrichtung und der einbiegenden Nebenrichtungen zugeordnet werden. Wird in der Simulation notiert, welche Fahrzeuge aus dem Hauptrichtungsanteil des Pulkprofils generiert wurden, können deren Fahrtverläufe nach der Simulation separat ausgewertet werden. Es ist sogar eine Unterscheidung der Fahrzeuge der Hauptrichtung in solche, die in die Straßenstrecke bei Grünbeginn oder während eines späteren Zeitpunkts der Grünzeit eingefahren sind, möglich.

**[0028]** Mit besonderem Vorteil wird als Verkehrsinformation ein Qualitätswert für die Straßenstrecke berechnet. Hierbei kann es sich um den so genannten "Level-of-Service"-Qualitätskennwert gemäß des Handbuchs für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS) handeln. Damit ist erfindungsgemäß eine automatisierte Qualitätsermittlung für eine Straßenstrecke und damit auch der Nachweis der verkehrlichen Qualität von Planungsmaßnahmen im Rahmen einer Projektanbahnung möglich.

**[0029]** In einer anderen vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird eine optimale Koordinierung der Lichtsignalanlage am Ausfahrtquerschnitt zu der Lichtsignalanlage am Einfahrtquerschnitt ermittelt. Wesentlich ist hierbei der Versatz der beiden Signalzeitenpläne zur Erzielung einer grünen Welle. Werden Wartezeiten und Halte der Haupt- und Nebenrichtungsfahrzeuge gewichtet, kann über einen nachgeschalteten Optimierungsalgorithmus eine Empfehlung für eine optimale Wellenlage bzw. Koordinierung auf dieser Straßenstrecke gegeben werden; es kann auch ermittelt werden, um welchen Prozentsatz die aktuelle Situation vom Optimum entfernt ist.

**[0030]** In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden für Halte- und/oder Wartezeiten und/oder Koordinierungsabweichungen Schwellenwerte vorgegeben, deren Über- bzw. Unterschreiten während eines Analysezeitraums festgestellt und nach Ablauf des Analysezeitraums als Qualitätsanalyse berichtet. Bei der Auswertung lassen sich aus mehreren Zufahrten diejenigen identifizieren, in welchen die Steuerungen der Lichtsignalanlagen hinsichtlich ihrer Qualität überprüft werden sollten. Durch die Vorgabe von Schwellenwerten können automatisierte Mechanismen eingesetzt werden, die im Hintergrund eine Qualitätsprüfung durchführen und beispielsweise nach Ablauf eines Tages eine Qualitäts- und Auffälligkeitsanalyse mit einem Bericht über die Verkehrsqualität und Auffälligkeiten generieren.

**[0031]** In einer anderen bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens weist die Straßenstrecke mehrere Fahrspuren auf, wobei wenigstens eine Fahrspur mindestens einen fahrspurbezogenen Fahrzeugdetektor aufweist, wobei der zufließende Modellverkehrsstrom bezüglich der zeitlichen Verteilung von in die jeweiligen Modell-Fahrspuren der Modell-Straßenstrecke einfahrenden Modell-Fahrzeugen variiert und hinsichtlich einer Übereinstimmung der jeweils erzeugten Modell-Messdaten mit den entsprechenden vom mindestens einen fahrspurbezogenen Fahrzeugdetektor erfassten Messdaten optimiert wird. Erfindungsgemäß kann das Verfahren auch für komplexere Knotenpunkttopologien angewendet werden, wobei in die Schätzung ggf. mehrere Fahrspuren je Straßenstrecke einbezogen werden. Die einzelnen Fahrspuren können keinen, einen oder auch mehrere hintereinander liegende Fahrzeugdetektoren aufweisen.

**[0032]** Die Aufgabe wird ferner gelöst durch einen Verkehrsrechner zur Ermittlung von Verkehrsinformationen für eine Straßenstrecke eines Straßennetzes, der mit einem Programmcode versehen ist, welcher Steuerbefehle enthält, die den Verkehrsrechner zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 16 veranlassen. Hierzu weist der Verkehrsrechner entsprechend ausgebildete Datenverarbeitungsmittel, Schnittstellen für Datenein- und -ausgabe sowie eine Visualisierungseinheit zur Darstellung der Verkehrsinformationen auf.

**[0033]** Des Weiteren bezieht sich die Erfindung auf einen maschinenlesbaren Programmcode für einen Verkehrsrechner, welcher Steuerbefehle enthält, die den Verkehrsrechner zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 16 veranlassen.

**[0034]** Schließlich betrifft die Erfindung auch ein Speichermedium mit einem darauf gespeicherten maschinenlesbaren Programmcode gemäß Anspruch 18.

**[0035]** Weitere Eigenschaften und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus einem in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiel, in deren

- FIG 1 ein Ablaufplan des erfindungsgemäßen Verfahrens in einem Verkehrsrechner für eine Straßenstrecke,
- FIG 2 Rohdaten eines Detektors,
- FIG 3 Zählwert-Zustand variabler Zeitdauer,
- FIG 4 Belegungswert-Zustand variabler Zeitdauer,
- FIG 5 Zähl- und Belegungswert-Zustand konstanter Zeitdauer,
- FIG 6 ein normiertes Pulkprofil,
- FIG 7 ein Diagramm für den Mittelwert der Abstandsmaße in Abhängigkeit der Versatzzeit

schematisch veranschaulicht sind.

**[0036]** FIG 1 zeigt eine Straßenstrecke  $s_{12}$  eines Straßennetzes, die beispielsweise zwei nicht näher dargestellte Knotenpunkte verbindet. Die Straßenstrecke  $s_{12}$  weist einen Einfahrtquerschnitt 1 am Vorknoten, einen Ausfahrtquerschnitt 2 am Hauptknoten sowie einen dazwischen liegenden Messquerschnitt 3 auf. Durch den Einfahrtquerschnitt 1 fließt ein die Straßenstrecke  $s_{12}$  nachfragender Verkehrsstrom, gebildet durch Fahrzeuge F, zu. Der zufließende Verkehrsstrom wird durch eine Lichtsignalanlage 10 am Vorknoten gesteuert. Die Lichtsignalanlage 10 weist Signalgeber 11 für den Hauptverkehrsstrom und die Nebenverkehrsströme auf, deren Signalzeiten entsprechend eines im Steuergerät 12 ablaufenden Signalzeitenplans  $SP_1$  geschaltet werden. Der zufließende Verkehrsstrom erfolgt in Fahrzeugpuls je

Umlaufzeit des Signalzeitenplans  $SP_1$ . Entsprechend des sich ergebenden Verkehrsflusses werden am Messquerschnitt 3 durch einen Fahrzeugdetektor 30, der beispielsweise als Induktionsschleife ausgebildet ist, in äquidistanten Zeitintervallen  $i$  von beispielsweise einer Sekunde Detektor-Rohdaten in Form von Zählwerten  $z_i$  und Belegungswerten  $b_i$  erfasst.

**[0037]** Gemäß FIG 2 werden als Rohdaten des Fahrzeugdetektors 30 sogenannte Flankendaten erfasst, also diejenigen Zeitpunkte, zu welchen der Belegungszustand des Fahrzeugdetektors 30 von "belegt (Wert 1)" auf "nicht belegt (Wert 0)" wechselt und umgekehrt. Zu den Zeitpunkten  $t_1, t_2, t_3$  und  $t_4$  der fallenden Flanken verlässt ein Fahrzeug F den Erfassungsbereich des Fahrzeugdetektors 30. Es entsteht eine Zeitlücke  $h_1, h_2$  bzw.  $h_3$ , bis das nächste Fahrzeug F in den Erfassungsbereich des Fahrzeugdetektors 30 einfährt. Die sich anschließende Belegungsdauer  $o_1, o_2$  bzw.  $o_3$  endet dann an der nächsten fallenden Flanke  $t_2, t_3$  bzw.  $t_4$ . Alternativ zu den Flankendaten können als Rohdaten des Fahrzeugdetektors 30 auch sekundlich aufgelöste Belegungszustände verwendet werden, aus welchen sich ebenfalls die Zeitdaten  $t_i, h_i, o_i$  ergeben. Jedem Intervall  $[t_n; t_{n+1}]$ , mit  $n = 1, 2, 3$ , zweier aufeinander folgender Fahrzeuge F werden gemäß FIG 3 ein Zählwert  $z(n) = 1/(t_{n+1} - t_n)$  und gemäß FIG 4 ein Belegungswert  $b(n) = o_n/(t_{n+1} - t_n)$  zugeordnet. Hierbei handelt es sich um konstante, makroskopische Zustände variabler Zeitdauer. Nach FIG 5 werden nun der Zählwert (strichpunktierte Linie) und der Belegungswert (durchgezogene Linie) einer diskreten Zeitachse mit äquidistanten Zeitintervallen  $i$  von beispielsweise einer Sekunde zugewiesen. Der Zählwert  $z_i$  gibt die Anzahl an Fahrzeugen pro Sekunde im Zeitintervall  $i$  an, während der Belegungswert  $b_i$  die Belegungsdauer pro Sekunde im Zeitintervall  $i$  angibt.

**[0038]** Die Detektor-Rohdaten werden den Signalstellungen entsprechend umlaufweise für den zufließenden Verkehrsstrom zusammengefasst, wobei die Umlaufzeit des Signalzeitenplans  $SP_1$  beispielsweise 60 s oder 90 s betragen kann. Am Ausfahrtquerschnitt 2 wird der abfließende Verkehrsstrom mittels einer Lichtsignalanlage 20 gesteuert, die einen Signalgeber 21 sowie ein Steuergerät 22 aufweist, in welchem vom Signalgeber 21 abgegebene Lichtsignale gemäß eines ablaufenden Signalzeitenplans  $SP_2$  geschaltet werden.

**[0039]** Typischerweise sind die Lichtsignalanlagen 10 bzw. 20 am Einfahrtquerschnitt 1 bzw. Ausfahrtquerschnitt 2 durch Einstellung gleicher Umlaufzeiten der Signalzeitenpläne  $SP_1$  bzw.  $SP_2$  koordiniert; die Signalumläufe der Signalzeitenpläne  $SP_1$  bzw.  $SP_2$  sind dabei entsprechend der Länge der Straßenstrecke  $s_{12}$  und der typischen Fahrgeschwindigkeiten auf der Straßenstrecke  $s_{12}$  zeitlich zueinander versetzt. Die Wahl der Versatzzeit ist dabei entscheidend für die Qualität der Koordinierung der beiden Lichtsignalanlagen 10 bzw. 20.

**[0040]** In einem Verkehrsrechner 40 läuft nun eine Simulation des Verkehrsflusses längs der Straßenstrecke  $s_{12}$  mittels eines Verkehrsmodells VM ab, indem iterativ ein Pulkprofil  $p'$  des zufließenden Modell-Verkehrstromes  $z_{zu}'$  geschätzt wird. Ein derartiges Pulkprofil  $p'$  ist in FIG 6 dargestellt. Das Pulkprofil  $p'$  gibt über eine Umlaufzeit von beispielsweise 90 s den zeitlichen Verlauf des Anteils an Fahrzeugen F an, die je Zeitabschnitt durch den Einfahrtquerschnitt 1 einfahren. Das gesamte Pulkprofil  $p'$  ist durch Division durch die Gesamtzahl an während der Umlaufzeit den Einfahrtquerschnitt 1 passierenden Fahrzeugen F normiert. Über einen Untersuchungszeitraum von beispielsweise einer Stunde kann davon ausgegangen werden, dass das Pulkprofil  $p'$  für alle 40 Zeitintervalle bzw. Umlaufzeiten von jeweils 90 s konstant ist. Die Optimierung mit Hilfe des Verkehrsmodells VM erfolgt nun folgendermaßen:

**[0041]** Ausgehend von einem Pulkprofil  $p'$  werden diesem für jeden der Signalumläufe die zugehörigen real gemessenen Zählwerte  $z_i$  multiplikativ aufgeprägt. Daraus resultiert als Eingangsgröße für das Verkehrsmodell VM die Intensitätsverteilung des während einer Umlaufzeit zufließenden Modell-Verkehrstromes  $z_{zu}'$ .

**[0042]** Mittels des Verkehrsmodells VM werden nun die Bewegungen von Modell-Fahrzeugen des zufließenden Modell-Verkehrstromes  $z_{zu}'$  längs einer Modell-Straßenstrecke nachgebildet, welche beim Passieren eines Modell-Messquerschnitts Modell-Messdaten  $z_i'$  bzw.  $b_i'$  erzeugen und welche durch einen lichtsignalgesteuerten Modell-Ausfahrtquerschnitt abfließen. An dieser Stelle gehen in das Verkehrsmodell VM die realen Signalzyklen des Signalzeitenplans  $SP_2$  der den Abfluss steuernden Lichtsignalanlage 20 ein. Derartige Verkehrsmodelle VM sind dem Fachmann an sich bekannt. Neben makroskopischen Verkehrsmodellen sind hier mikroskopische, auf die Verfolgung einzelner Modell-Fahrzeuge abzielende Verkehrsmodelle im Gebrauch. Als Ergebnis liefert das Verkehrsmodell VM Modell-Messdaten in Form von Modell-Zählwerten  $z_i'$  und Modell-Belegungswerten  $b_i'$ , welche nun mit den real vom Fahrzeugdetektor 30 in den jeweiligen Zeitintervallen  $i$  erzeugten Messdaten  $z_i$  bzw.  $b_i$  verglichen werden.

**[0043]** Als Abstandsmaß  $d_i$  wird der euklidische Abstand zwischen den entsprechenden realen und Modell-generierten Punkten im Fundamentaldiagramm herangezogen, in welchem für jedes Zeitintervall  $i$  die Verkehrsstärke  $q$  in Fahrzeugen pro Stunde über den Belegungsgrad  $b$  in Prozent aufgetragen ist. Das Abstandsmaß ergibt sich nun wie folgt:

$$d_i = \sqrt{(q_i - q_i')^2 + (b_i - b_i')^2}$$

**[0044]** Daraus wird nun ein Mittelwert  $d$  aus sämtlichen Abstandsmaßen  $d_i$  für einen Untersuchungszeitraum mit  $N$  Zeitintervallen gebildet:

$$d = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N d_i$$

5

**[0045]** Der Mittelwert  $d$  der Abstandsmaße  $d_i$  wird nun mit einem Schwellenwert  $D$  verglichen. Solange der Mittelwert  $d$  den Schwellenwert  $D$  überschreitet, wird unter Verwendung genetischer Algorithmen GA das Pulkprofil  $p'$  angepasst und mittels des Verkehrsmodells VM solange neue Modell-Messdaten  $z_i'$  bzw.  $b_i'$  erzeugt, bis der Mittelwert  $d$  der Abstandsmaße  $d_i$  den Schwellenwert  $D$  erreicht oder unterschreitet. Das Iterationsverfahren kann auch abgebrochen werden, wenn eine vorgebbare Laufzeit überschritten wird oder wenn sich der Mittelwert  $d$  nur noch um kleine Werte ändert. In diesem Fall wurde der optimierte Modell-Verkehrstrom  $z_{zu}'$  ermittelt, der die realen Messdaten  $z_i$  bzw.  $b_i$  am besten nachbildet.

**[0046]** Erfindungsgemäß wird nun davon ausgegangen, dass eine gute Übereinstimmung zwischen den erzeugten Modell-Messdaten  $z_i'$  bzw.  $b_i'$  und den entsprechenden vom Fahrzeugdetektor 30 erfassten Messdaten  $z_i$  bzw.  $b_i$  vorliegt, so dass die Verkehrsinformationen VI aus dem simulierten Modell-Verkehrsfluss, der sich aus dem optimierten Modell-Verkehrstrom  $z_{zu}'$  ergibt, ermittelt werden können. Durch statistische Auswertung SA der Modell-Fahrzeugbewegungen des optimierten zufließenden Modell-Verkehrstroms  $z_{zu}'$  werden beispielsweise Bewegungslinien, Halte und Wartezeiten der Modell-Fahrzeuge ermittelt. Des Weiteren wird ein Qualitätskennwert für die Straßenstrecke  $s_{12}$  berechnet. Außerdem kann die optimale Koordinierung zwischen den Lichtsignalanlagen 10 bzw. 20 am Ausfahrtquerschnitt 2 bzw. Einfahrtquerschnitt 1 ermittelt werden.

**[0047]** Hierzu zeigt FIG 7 ein Diagramm, wie sich der Mittelwert  $d$  der Abstandsmaße  $d_i$  in Abhängigkeit der Veränderung der Versatzzeit zwischen den Signalzeitenplänen  $SP_1$  und  $SP_2$  verändert. Bei dem fiktiven Beispiel wird von einer gegebenen Koordinierung von 60 s Versatzzeit ausgegangen. In der Simulation mittels des Verkehrsmodells VM wurde die Koordinierung über einen Umlauf in Schritten von 10 s variiert, wobei man ein deutliches Minimum des Abstandsmittelwertes  $d$  bei einem im Verkehrsmodell VM modellierten Versatz von 60 s erkennt. Dies zeigt die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erreichbare Sensitivität für die Koordinierung schon bei einem relativ kurzen Zeitraum von weniger als einer Stunde.

30

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung von Verkehrsinformationen (VI) für eine Straßenstrecke ( $s_{12}$ ) eines Straßennetzes, wobei die Straßenstrecke ( $s_{12}$ ) einen Einfahrtquerschnitt (1), durch den ein die Straßenstrecke ( $s_{12}$ ) nachfragender Verkehrsstrom zufließt, einen Ausfahrtquerschnitt (2), durch den ein mittels einer Lichtsignalanlage (20) gesteuerter Verkehrsstrom abfließt, und wenigstens einen zwischen Ein- (1) und Ausfahrtquerschnitt (2) angeordneten Messquerschnitt (3), an dem ein Fahrzeugdetektor (30) durch passierende Fahrzeuge (F) erzeugte Messdaten ( $z_i$ ,  $b_i$ ) erfasst, aufweist, wobei der Verkehrsfluss längs der Straßenstrecke ( $s_{12}$ ) mittels eines Verkehrsmodells (VM) simuliert wird und in Abhängigkeit eines zufließenden Modell-Verkehrstromes ( $z_{zu}'$ ) den Messdaten ( $z_i$ ,  $b_i$ ) zugeordnete Modell-Messdaten ( $z_i'$ ,  $b_i'$ ) erzeugt werden, wobei der zufließende Modell-Verkehrstrom ( $z_{zu}'$ ) bezüglich der zeitlichen Verteilung von in die Modell-Straßenstrecke einfahrenden Modell-Fahrzeugen variiert wird und hinsichtlich einer Übereinstimmung der jeweils erzeugten Modell-Messdaten ( $z_i'$ ,  $b_i'$ ) mit den entsprechenden vom Fahrzeugdetektor (30) erfassten Messdaten ( $z_i$ ,  $b_i$ ) optimiert wird, und wobei die Verkehrsinformationen (VI) aus dem simulierten Modell-Verkehrsfluss, der sich aus dem optimierten Modell-Verkehrstrom ( $z_{zu}'$ ) ergibt, ermittelt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei über einen in Zeitintervalle (i) unterteilten Untersuchungszeitraum (T) als Messdaten ein Zählwert ( $z_i$ ) an detektierten Fahrzeugen (F) je Zeitintervall (i) und ein Belegungswert ( $b_i$ ) des Fahrzeugdetektors (30) je Zeitintervall (i) erfasst werden, wobei Zähl- und Belegungswerte ( $z_i$ ,  $b_i$ ) aus Rohdaten des Fahrzeugdetektors (30) ermittelt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei der zufließende Modell-Verkehrstrom ( $z_{zu}'$ ) jeweils auf eine Umlaufzeit eines in einer den zufließenden Verkehrsstrom steuernden Lichtsignalanlage (10) ablaufenden Signalzeitenplans ( $SP_1$ ) bezogen wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die während der Zeitintervalle (i) des Untersuchungszeitraums (T) erfassten Messdaten ( $z_i$ ,  $b_i$ ) den einzelnen Signalumläufen des Signalzeitenplans ( $SP_1$ ) entsprechend zugeordnet werden.

55

- 5
5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei der während einer Umlaufzeit zufließende Modell-Verkehrstrom ( $z_{zu}$ ) durch Multiplikation der Summe der dem Umlauf zugeordneten Zählwerte ( $z_i$ ) an detektierten Fahrzeugen (F) mit einem normierten Pulkprofil ( $p'$ ) gebildet wird, das eine zeitliche Verteilung von Fahrzeuganteilen eines zufließenden Fahrzeugpulses innerhalb einer Umlaufzeit angibt, wobei der zufließende Modell-Verkehrstrom ( $z_{zu}$ ) durch Variation des zugrundeliegenden Pulkprofils ( $p'$ ) variiert wird.
- 10
6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei bei der Bildung des im Untersuchungszeitraum (T) zufließenden Modell-Verkehrstromes ( $z_{zu}$ ) für jede Umlaufzeit dasselbe Pulkprofil ( $p'$ ) zugrunde gelegt wird.
- 15
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Verkehrsfluss simuliert wird, indem Bewegungen von Modell-Fahrzeugen eines zufließenden Modell-Verkehrstroms ( $z_{zu}$ ) längs einer Modell-Straßenstrecke nachgebildet werden, welche beim Passieren eines Modell-Messquerschnitts die Modell-Messdaten ( $z_i', b_i'$ ) erzeugen und welche durch einen Lichtsignalgesteuerten Modell-Ausfahrtquerschnitt abfließen.
- 20
8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei der zufließende Modell-Verkehrstrom ( $z_{zu}$ ) aus Modell-Fahrzeugen unterschiedlicher Fahrzeugklassen mit je einer mittleren Fahrzeuglänge gebildet wird, wobei eine Zusammensetzung des Modell-Verkehrstroms ( $z_{zu}$ ) aus Fahrzeugklassen und deren mittlere Fahrzeuglängen vorgegeben oder variiert werden.
- 25
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 8, wobei die sich wiederholende Umlaufzeit oder eine Abfolge sich ändernder Umlaufzeiten des Signalzeitenplans ( $SP_1$ ), der in der den zufließenden Verkehrstrom steuernden Lichtsignalanlage (10) abläuft, variiert wird, wobei die erfassten Messdaten ( $z_i, b_i$ ) der sich wiederholenden Umlaufzeit oder den sich ändernden Umlaufzeiten entsprechend zugeordnet werden.
- 30
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei für wenigstens einen Teil der Zeitintervalle (i) ein Abstand ( $d_i$ ) zwischen den jeweils erzeugten Modell-Messdaten ( $z_i', b_i'$ ) und den entsprechenden vom Fahrzeugdetektor (30) erfassten Messdaten ( $z_i, b_i$ ) berechnet und zur Optimierung des zufließenden Modell-Verkehrstroms ( $z_{zu}$ ) ein Mittelwert (d) der Abstände für den Teil der Zeitintervalle (i) des Untersuchungszeitraumes (T) minimiert wird.
- 35
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 10, wobei das dem zufließenden Modell-Verkehrstrom ( $z_{zu}$ ) zugrunde liegende Pulkprofil ( $p'$ ) durch Anwendung genetischer Algorithmen variiert wird.
- 40
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei für jede Variante des zufließenden Modell-Verkehrstroms ( $z_{zu}$ ) ein den Grad der Übereinstimmung der von diesem erzeugten Modell-Messdaten ( $z_i', b_i'$ ) mit den entsprechenden vom Fahrzeugdetektor (30) erfassten Messdaten ( $z_i, b_i$ ) wiedergebendes Gütemaß ermittelt wird, wobei aus den eine vorgegebene Schwelle für das Gütemaß überschreitenden Varianten eine Bandbreite möglicher Variationsparameter bestimmt wird.
- 45
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei aus dem optimierten zufließenden Modell-Verkehrstrom ( $z_{zu}$ ) durch statistische Auswertung (AW) der Modell-Fahrzeugbewegungen als Verkehrsinformationen (VI) Bewegungslinien und/oder Halte und/oder Wartezeiten der Modell-Fahrzeuge ermittelt werden.
- 50
14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei als Verkehrsinformation (VI) ein Qualitätskennwert für die Straßenstrecke ( $s_{12}$ ) berechnet wird.
- 55
15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, wobei eine optimale Koordinierung der Lichtsignalanlage (20) am Ausfahrtquerschnitt (2) zu der Lichtsignalanlage (10) am Einfahrtquerschnitt (1) ermittelt wird.
16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei eine Abweichung einer aktuellen Koordinierung von der optimalen Koordinierung der Lichtsignalanlagen (10, 20) bestimmt wird.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 16, wobei für Halte und/oder Wartezeiten und/oder Koordinierungsabweichungen Schwellenwerte vorgegeben werden, deren Über- bzw. Unterschreiten während eines Analysezeitraumes festgestellt und nach Ablauf des Analysezeitraumes als Qualitätsanalyse berichtet werden.
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17, wobei die Straßenstrecke mehrere Fahrspuren aufweist, wobei wenigstens eine Fahrspur mindestens einen fahrspurbezogenen Fahrzeugdetektor aufweist, wobei der zufließende Modell-Verkehrstrom bezüglich der zeitlichen Verteilung von in die jeweiligen Modell-Fahrspuren der Modell-Stra-

## EP 2 280 383 A1

ßenstrecke einfahrenden Modell-Fahrzeugen variiert und hinsichtlich einer Übereinstimmung der jeweils erzeugten Modell-Messdaten mit den entsprechenden von dem mindestens einen fahrspurbezogenen Fahrzeugdetektor erfassten Messdaten optimiert wird.

- 5   **19.** Verkehrsrechner (40) zur Ermittlung von Verkehrsinformationen (VI) für eine Straßenstrecke ( $s_{12}$ ) eines Straßennetzes, der mit einem Programmcode versehen ist, welcher Steuerbefehle enthält, die den Verkehrsrechner (40) zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 18 veranlassen.
- 10   **20.** Maschinenlesbarer Programmcode für einen Verkehrsrechner (40), welcher Steuerbefehle enthält, die den Verkehrsrechner (40) zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 18 veranlassen.
- 15   **21.** Speichermedium mit einem darauf gespeicherten maschinenlesbaren Programmcode gemäß Anspruch 20.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

FIG 1

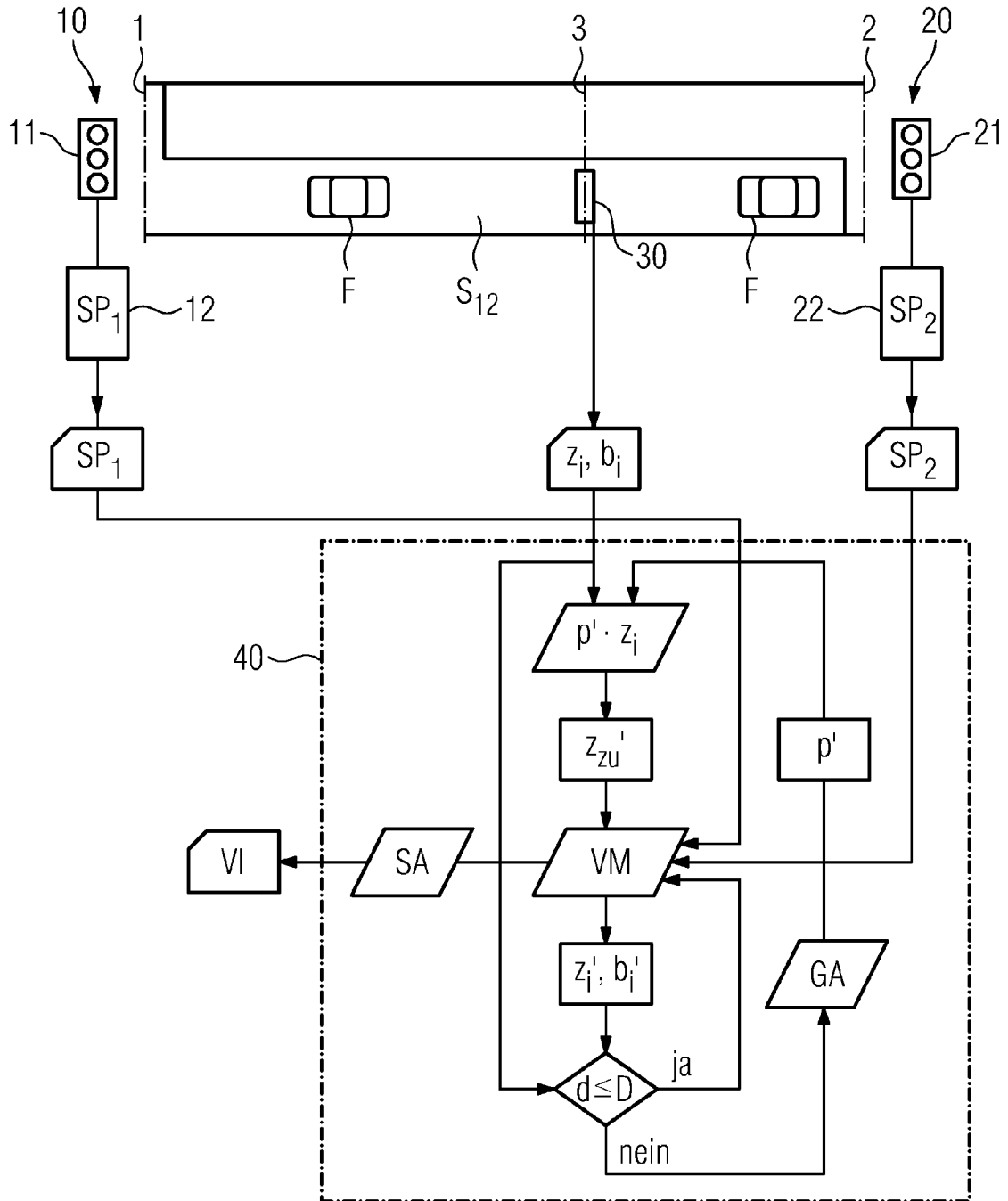


FIG 2

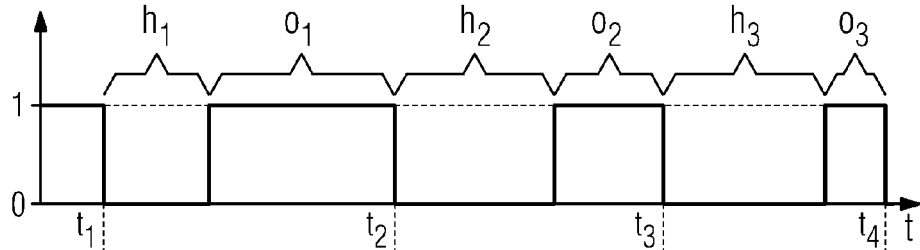


FIG 3

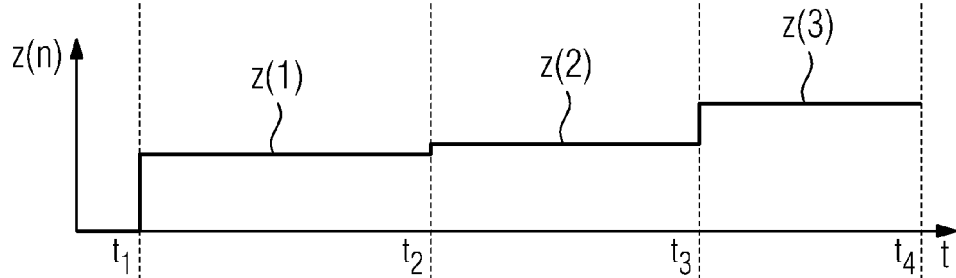


FIG 4

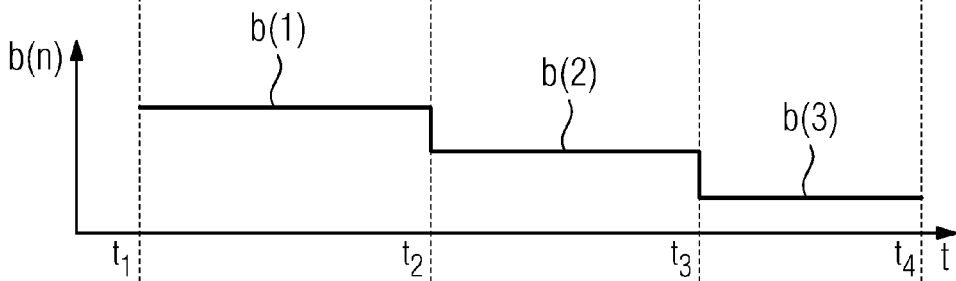


FIG 5

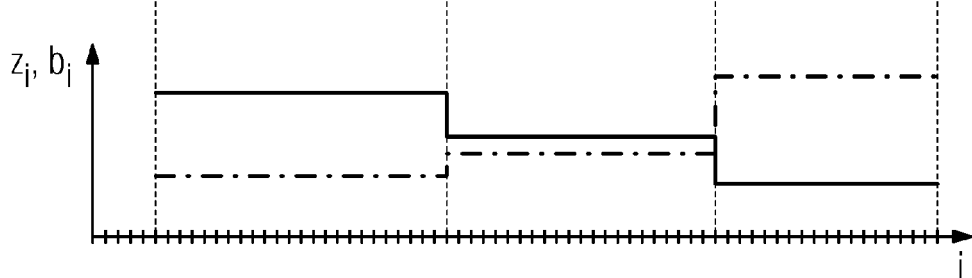


FIG 6

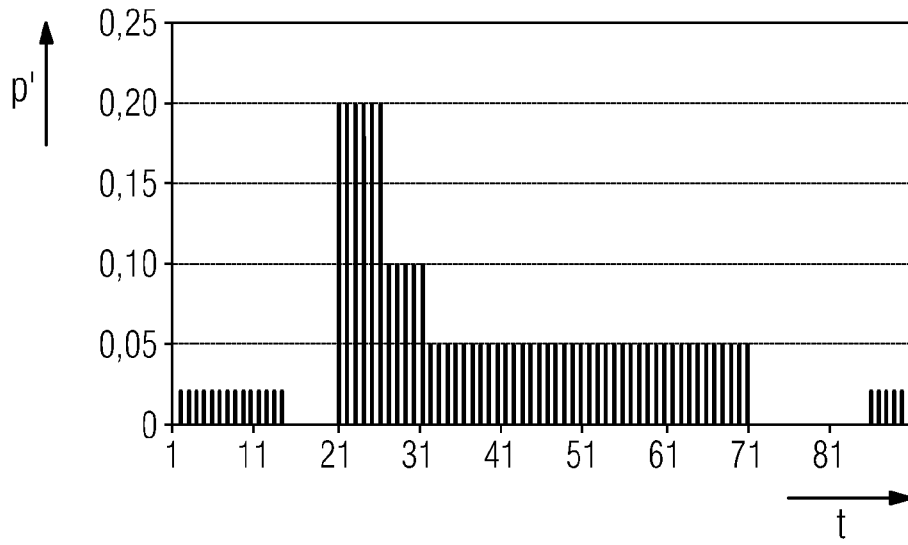
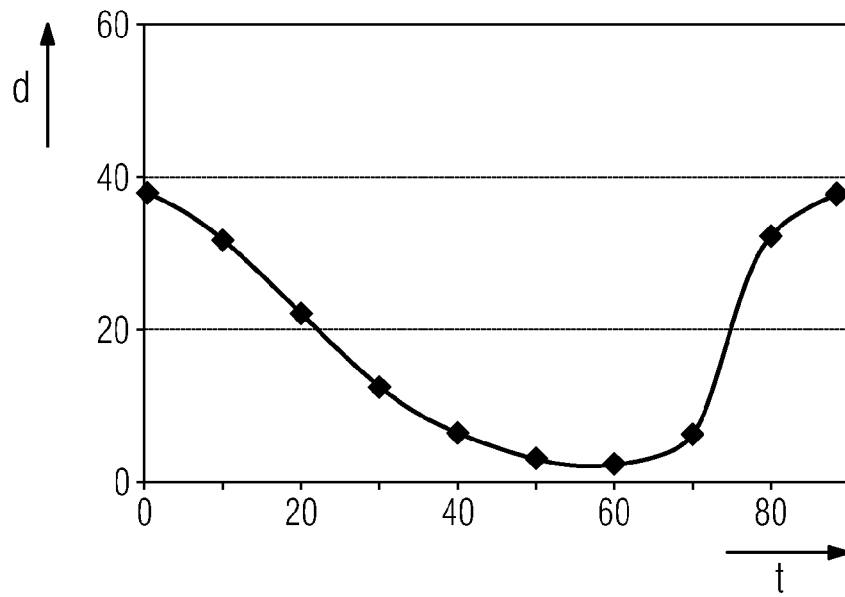


FIG 7





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 09 16 7020

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A, D	EP 1 480 183 A1 (TRANSVER GMBH [DE]) 24. November 2004 (2004-11-24) * Zusammenfassung * * Absätze [0001] - [0003], [0005], [0006], [0008] - [0012], [0018] - [0020], [0022] - [0027], [0042], [0053], [0074], [0077] * * Ansprüche 1-4,8,9,11,12 * * Abbildungen 1,2,4,10 * -----	1-21	INV. G08G1/01 G08G1/07 G08G1/081
A	EP 0 821 334 A1 (THOMAS RIEDEL [CH] RIEDEL THOMAS DR [CH]) 28. Januar 1998 (1998-01-28) * Zusammenfassung * * Spalte 1, Zeilen 23-56 * * Spalte 3, Zeile 31 - Spalte 4, Zeile 15 * * Spalte 5, Zeile 53 - Spalte 6, Zeile 2 * * Spalte 6, Zeilen 27-49 * * Spalte 7, Zeilen 8-19 * * Ansprüche 1-4,11,15-17 * * Abbildungen 2,3 * -----	1-4,7-8,10,12-21	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) G08G
A, D	EP 1 480 184 A2 (TRANSVER GMBH [DE]) 24. November 2004 (2004-11-24) * Zusammenfassung * * Absätze [0001], [0004], [0006] - [0009], [0040] - [0042], [0049], [0050], [0055] - [0062] * * Ansprüche 1,12,13,18,19 * * Abbildungen 1,2 * ----- -/--	1-7,10,12-16,19-21	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
2 Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 11. Februar 2010	
		Prüfer Quartier, Frank	
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 : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, 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 03.02 (P04C03)



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 09 16 7020

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	SIEMENS AG ET AL: "Versatzoptimierung im Strassennetz VERO" STRASSENVERKEHRSTECHNIK, KIRSCHBAUM, BONN-BAD GODESBERG, DE, Bd. 1994, Nr. 11, 30. November 1994 (1994-11-30), Seiten 1-50, XP002558034 ISSN: 0039-2219 * Zusammenfassung * * Seite 12 - Seite 15 * -----	1-4,7, 9-10, 12-21	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>Den Haag</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>11. Februar 2010</b>	Prüfer <b>Quartier, Frank</b>
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 : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, 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	

2  
EPO FORM 1503 03-92 (P04C03)

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

EP 09 16 7020

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.

11-02-2010

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1480183 A1	24-11-2004	KEINE	
EP 0821334 A1	28-01-1998	AT 205321 T DE 59607632 D1	15-09-2001 11-10-2001
EP 1480184 A2	24-11-2004	KEINE	

EPO FORM P0461

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

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

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

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- DE 10359977 A1 [0005]
- EP 0501193 A1 [0006]
- EP 1276085 A1 [0007]
- DE 10108611 A1 [0008]
- EP 1480183 A1 [0011]
- EP 1480184 A2 [0012]

**In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur**

- **Abu-Lebdeh ; Al-Omari.** Configuring Micro-Genetic Algorithms for Solving Traffic Control Problems: The Case of Number of Generations. *IEEE Proceedings of the Fourth International Symposium on Uncertainty Modeling and Analysis*, 2003, 1-8 [0009]
- Online-Bewertung grüner Wellen: Ein Fuzzy-Expertensystem zur Schätzung der Verlustzeit vor Lichtsignalanlagen mittels halteliniennaher Detektoren. *Straßenverkehrstechnik*. Verfasser: Braun, Mück, 2004 [0010]