

(19)



(11)

EP 2 824 648 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
14.01.2015 Patentblatt 2015/03

(51) Int Cl.:
G08G 1/08 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **14176063.7**

(22) Anmeldetag: **08.07.2014**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL 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 RS SE SI SK SM TR**
 Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

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

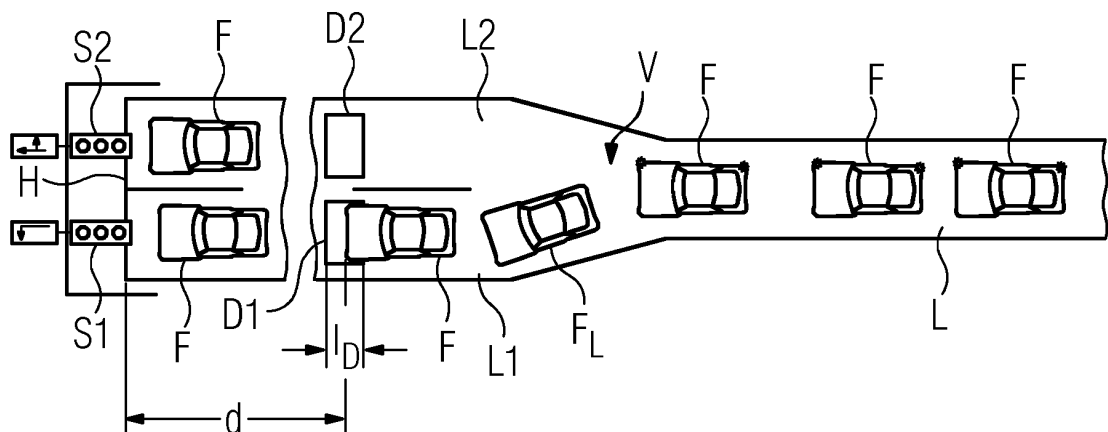
(72) Erfinder:
 • **Pranckus, Vytautas**
80335 München (DE)
 • **Mück, Jürgen**
81539 München (DE)

(30) Priorität: **12.07.2013 DE 102013213703**
12.08.2013 DE 102013215876

(54) **Verfahren zur Erfassung des Verkehrszustandes an einem lichtsignalgesteuerten Knotenpunkt eines Straßennetzes**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erfassung des Verkehrszustandes an einem lichtsignalgesteuerten Knotenpunkt eines Straßennetzes, dem sich Fahrzeuge (F) auf einer Fahrspur (L) nähern. Es werden Belegungszeiten (t_b) eines der Fahrspur (L1, L2) zugeordneten Fahrzeugdetektors (D1, D2) gemessen. Es werden ferner sich abwechselnde Sperr- und Freigabezeiten (t_s , t_f) eines der Fahrspur (L1, L2) zugeordneten Signalgebers (S1, S2) einer Lichtsignalanlage gemessen. Es wird dann eine Füllzeit ab Beginn einer Sperrzeit (t_s) bis zu einer Dauerbelegung des Fahrzeugdetektors (D1, D2) gemessen. Die Füllzeit wird mit einer vorgebbaren Re-

ferenzfüllzeit verglichen. Der Verkehrszustand wird als nicht überlastet gewertet, solange die Referenzfüllzeit überschritten wird, andernfalls wird der Verkehrszustand als überlastet gewertet. Erfindungsgemäß wird bei unterschrittener Referenzfüllzeit wenigstens ein Ausschlusskriterium geprüft, wobei die Wertung des Verkehrszustandes in nicht überlastet abgeändert wird, wenn das Ausschlusskriterium zutrifft, andernfalls die Wertung des Verkehrszustandes als überlastet bestätigt wird. Hierdurch wird die automatisierte Erfassung des Verkehrszustandes an dem lichtsignalgesteuerten Knotenpunkt verbessert.

FIG 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Erfassung des Verkehrszustandes an einem lichtsignalgesteuerten Knotenpunkt eines Straßennetzes nach dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

[0002] Die Erfassung des Verkehrszustandes an lichtsignalgesteuerten Knotenpunkten, also ob eine Überlastung mit größerer Rückstaubildung vorliegt oder nicht, stellt eine zentrale Aufgabe intelligenter Verkehrssteuerungssysteme dar. Nur mit der Kenntnis des Verkehrszustandes kann die Kapazität der Lichtsignalanlage an die Verkehrssituation angepasst und der Verkehrsfluss optimiert werden.

[0003] Aus der Patentschrift EP 1 276 085 B1 ist ein Verfahren zur Bestimmung einer Staukennzahl bekannt. An einer Zufahrt einer hochbelasteten Lichtsignalanlage werden Fahrzeuge mit sich abwechselnden Rot- und Grünzeiten abgefertigt. Ein Detektor befindet sich beispielsweise 30 m oder etwa fünf Fahrzeuge vor der Haltlinie entfernt. Nun wird die Füllzeit zwischen Rotbeginn und einer Dauerbelegung des Detektors gemessen. Die Füllzeit wird mit einer Referenzfüllzeit verglichen, die in Abhängigkeit von der Geometrie des Zuflussbereichs und von der Grünzeit gewählt wird und beispielsweise 22 s betragen kann. Bei Überschreiten der Referenzfüllzeit wird der Staukennzahl der Wert 0, was als freier Verkehrsfluss interpretiert wird, und bei Nichtüberschreitung der Wert 1, was als Verkehrsstau interpretiert wird, zugeordnet.

[0004] Das bekannte Verfahren kann bei einigen Knotenpunkttopologien und Anordnungen von Fahrzeugdetektoren zu Fehlwertungen des Verkehrszustandes auf einer Fahrspur einer Zufahrt führen.

[0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein gattungsgemäßes Verfahren bereitzustellen, mit dem die automatisierte Erfassung des Verkehrszustandes an einem lichtsignalgesteuerten Knotenpunkt verbessert wird.

[0006] Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren der eingangs genannten Art mit den im kennzeichnenden Teil des Patentanspruches 1 angegebenen Merkmalen. Das Verfahren dient der Erfassung des Verkehrszustandes an einem lichtsignalgesteuerten Knotenpunkt eines Straßennetzes, dem sich Fahrzeuge auf einer Fahrspur nähern. Zufahrten zum Knotenpunkt können eine oder mehrere Fahrspuren aufweisen, die bestimmten Fahrtrichtungen zugeordnet sein können. Es werden Belegungszeiten eines der Fahrspur zugeordneten Fahrzeugdetektors, beispielsweise einer Induktionsschleife, gemessen. Es werden sich abwechselnde Sperr- und Freigabezeiten eines oder mehrerer der Fahrspur zugeordneten Signalgebers einer Lichtsignalanlage gemessen. Die Lichtsignalanlage umfasst den Fahrspuren zugeordnete Signalgeber, die nach einem in einem Steuergerät ablaufenden Signalprogramm angesteuert werden. Es wird ab Beginn einer Sperrzeit eine Füllzeit bis zu einer Dauerbelegung des Fahrzeugdetektors gemessen.

Dauerbelegung kann beispielsweise als eine Belegung des Fahrzeugdetektors definiert sein, die länger als 10 s dauert. Die gemessene Füllzeit wird mit einer vorgebbaren Referenzfüllzeit verglichen. Solange die Füllzeit die Referenzfüllzeit überschreitet, wird der Verkehrszustand als nicht überlastet gewertet. Die Referenzfüllzeit kann abhängig vom Abstand vorgegeben werden, im dem der Fahrzeugdetektor stromauf einer Haltlinie der Fahrspur angeordnet ist, und der beispielsweise 30 m bis 60 m betragen kann. Andernfalls wird der Verkehrszustand als überlastet gewertet. Erfindungsgemäß wird bei unterschrittener Referenzfüllzeit wenigstens ein Ausschlusskriterium geprüft. Wenn das Ausschlusskriterium zutrifft, wird die Wertung des Verkehrszustandes abgeändert und als nicht überlastet gewertet. Andernfalls wird die Wertung des Verkehrszustandes als überlastet bestätigt. Durch die Überprüfung eines oder mehrerer Kriterien, anhand derer ein überlasteter Verkehrszustand trotz unterschrittener Referenzfüllzeit ausgeschlossen werden kann, werden Fehleinschätzungen über den tatsächlich vorherrschenden Verkehrszustand verringert. Fehleinschätzungen können beispielsweise durch die Stochastik der Messdaten entstehen. So kann beispielsweise geprüft werden, ob die Geschwindigkeiten, mit welchen Fahrzeuge nach Beginn der Freigabezeit den Fahrzeugdetektor passieren, und ob die Zeitlücken zwischen den Fahrzeugpassagen mit der angenommenen Überlast in Einklang stehen. Mithin liefert das erfindungsgemäße Verfahren zuverlässigere Erfassungsergebnisse des Verkehrszustandes.

[0007] In einer vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird als Ausschlusskriterium geprüft, ob vom Fahrzeugdetektor nur eine geringe Anzahl an langsam fahrenden Fahrzeugen detektiert wird. Ein Fahrzeug kann als langsam fahrend definiert werden, wenn seine Belegungszeit am Fahrzeugdetektor größer als beispielsweise 1,5 s ist. Werden nun nach Beginn der Freigabezeit nur wenige, zum Beispiel nicht mehr als zwei, langsam fahrende Fahrzeuge detektiert, herrscht freier Verkehrsfluss. Die Wertung des Verkehrszustandes wird dann abgeändert und als nicht überlastet gewertet.

[0008] In einer bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird als Ausschlusskriterium geprüft, ob vom Fahrzeugdetektor zu einem Zeitpunkt, zu dem bei einem überlasteten Verkehrszustand langsame Fahrzeuge den Fahrzeugdetektor passieren, ein schnelles Fahrzeug detektiert wird. Für die Prüfung dieses Ausschlusskriteriums werden nur Signalläufe herangezogen, in welchen entweder die Freigabezeit zu einer Kapazität von weniger als 10 Fahrzeugen führt oder die Auslastung - also die Anzahl der detektierten Fahrzeuge - weniger als 80 % der Kapazität beträgt. Wenn nun in diesem Signallauf ein schnelles Fahrzeug, welches durch eine Belegungszeit von beispielsweise weniger als 0,6 s definiert sein kann, detektiert wird, kann dies auf einen nicht überlasteten Verkehrszustand hindeuten. Da nach Beginn der Freigabezeit ab einem ge-

wissen Fahrzeug jedes Fahrzeug schnell fahren kann, trifft das Ausschlusskriterium nur zu, wenn das erste schnell fahrende Fahrzeug früher als ein vorgegebener Zeitpunkt nach Freigabebeginn detektiert wird. Wenn das erste schnell fahrende Fahrzeug also zu denjenigen gehört, die aufgrund eines überlasteten Verkehrszustandes langsam fahren müssten, dann wird die Wertung des Verkehrszustandes abgeändert und als nicht überlastet gewertet.

[0009] In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird als Ausschlusskriterium geprüft, ob vom Fahrzeugdetektor Zeitlücken zwischen aufeinanderfolgenden Fahrzeugen detektiert werden, die größer sind, als sie bei angenommenem überlasteten Verkehrszustand wären. Nimmt man einen überlasteten Verkehrszustand an, so werden die im Rückstau stehenden Fahrzeuge nach Freigabebeginn in kurzen Abständen den Fahrzeugdetektor passieren. Wird eine Zeitlücke größer als ein vorgegebener Schwellenwert gemessen, deutet dies auf einen nicht überlasteten Verkehrszustand hin. Es werden aber nur die Zeitlücken zwischen den ersten 70 % der Fahrzeuge überprüft, die entsprechend der Kapazität der Freigabezeit fahren könnten. Außerdem werden die beiden ersten Zeitlücken nicht ausgewertet, da diese Fahrzeuge aus dem Stand anfahren. Desweiteren werden nur Zeitlücken von Fahrzeugen ausgewertet, die stromab eines Verzweigungspunktes, an dem sich eine Fahrspur in zwei oder mehrere Fahrspuren verzweigt, gestanden haben müssten. Die Zeitlücken zwischen Fahrzeugen stromauf des Verzweigungspunktes müssen deshalb außer Betracht bleiben, weil diese schon aufgrund des sich am Verzweigungspunkt aufteilenden Verkehrsstromes zum Teil große Zeitlücken aufweisen, die nicht durch eine Überlast bedingt sind.

[0010] In einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird als Ausschlusskriterium geprüft, ob vom Fahrzeugdetektor bei Ende der Freigabezeit eine Zeitlücke gemessen wird, die länger als eine vorgegebene Referenzzeitlücke dauert. Wenn der Fahrzeugdetektor am Ende der Freigabezeit nicht belegt ist und diese Nichtbelegung länger als beispielsweise 10 s andauert, ist der Verkehrszustand nicht überlastet.

[0011] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der Verkehrszustand als überlastet gewertet, wenn nach Beginn der Freigabezeit vom Fahrzeugdetektor eine dichte Folge an Fahrzeugen detektiert wird. Ein überlasteter Verkehrszustand kann vorliegen, obwohl die Füllzeit die Referenzfüllzeit überschritten hat. Während einer Räumzeit, die von Beginn der Freigabezeit bis zum Ende der Dauerbelegung dauert, passiert ein dichter Pulk von vorher aufgestellten Fahrzeugen die Haltlinie. Ein überlasteter Verkehrszustand liegt vor, wenn nach Ende der Dauerbelegung eine vorgegebene Anzahl an Fahrzeugen den Fahrzeugdetektor in dichter Folge passiert. Eine dichte Folge liegt vor, wenn das letzte Fahrzeug dieser Folge den Fahrzeugdetektor vor Ablauf einer vorgege-

benen Zeitgrenze passiert. Die Zeitgrenze ergibt sich aus der Räumzeit und der Zeitdauer, die das letzte Fahrzeug benötigen würde, um den Fahrzeugdetektor aus dem Stand in freier Beschleunigung bis zu seiner Reisegeschwindigkeit zu erreichen.

[0012] Vorzugsweise wird der Verkehrszustand ohne weitere Prüfung von Ausschlusskriterien als überlastet gewertet, wenn die Referenzfüllzeit unterschritten und nach Beginn der Freigabezeit vom Fahrzeugdetektor eine dichte Folge an Fahrzeugen detektiert wird. Sind zwei Bedingungen gleichzeitig erfüllt, die auf einen überlasteten Verkehrszustand hindeuten, so wird das erfindungsgemäße Verfahren ohne weitere Prüfung von Ausschlusskriterien abgebrochen und der Verkehrszustand als überlastet gewertet. Ein oder mehrere Ausschlusskriterien können überprüft werden, wenn nur eine dichte Folge an Fahrzeugen aber kein Unterschreiten der Referenzfüllzeit gemessen wurde. Hierdurch werden schnell und zuverlässig Erfassungsergebnisse für den Verkehrszustand ermittelt.

[0013] In einer anderen bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird für eine mehrspurige Zufahrt die Referenzfüllzeit für eine Fahrspur dynamisch umso größer vorgegeben, je mehr Fahrzeuge während der Füllzeit von einem einer Nachbarspur zugeordneten Fahrzeugdetektor gezählt werden. Verkehrszustand und Rückstau auf Fahrspuren einer mehrspurigen Zufahrt zum Knotenpunkt beeinflussen sich gegenseitig. Ein zufließender Verkehrsstrom teilt sich an einem Verzweigungspunkt auf diese Fahrspuren auf, wobei ein bis zum Verzweigungspunkt zurückreichender Rückstau auf einer Fahrspur die Zufahrt auf einer benachbarten Fahrspur blockieren kann. Außerdem können Fahrzeuge stromauf und stromab von zugeordneten Fahrzeugdetektoren die Fahrspuren wechseln. Um dem Rechnung zu tragen, wird bei mehrspurigen Zufahrten die Referenzfüllzeit für eine Fahrspur dynamisch verlängert, wenn während der Füllzeit Fahrzeuge von benachbarten Fahrzeugdetektoren detektiert werden. Je detektiertes Nachbarfahrzeug kann die Referenzfüllzeit beispielsweise um 3 s verlängert werden.

[0014] In einer anderen bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird für einen Signalumlauf ohne gemessene Dauerbelegung anhand einer Belegungsregel überprüft, ob der Fahrzeugdetektor aufgrund einer in seinem Messbereich entstandenen Fahrzeuglücke zwischen sich rückstauenden, stehenden Fahrzeugen nicht belegt war, wobei bei Zutreffen der Belegungsregel ein Fahrzeug ermittelt wird, dem eine Dauerbelegung nachträglich zugeordnet wird. Hierbei wird dem Umstand Rechnung getragen, dass sich die Fahrzeuge ab Beginn der Sperrzeit derart hinter der Haltlinie aufstellen können, dass der Fahrzeugdetektor von keinem Fahrzeug dauerbelegt wird - also eine Fahrzeuglücke über dem Messbereich des Fahrzeugdetektors zu liegen kommt. Der Rückstau hat eine Länge erreicht, die bei anderer Fahrzeuganordnung eine Dauerbelegung nach einer entsprechenden Füllzeit hervorgerufen

hätte. Mit Vorteil wird hier das Fahrzeug ermittelt, dem diese Dauerbelegung zugeordnet werden kann, womit die erfassten Messdaten vervollständigt werden.

[0015] Vorzugsweise wird dabei für einen Signallumlauf ein Zeitintervall bestimmt, innerhalb dessen eine Dauerbelegung möglich ist, wobei als Belegungsregel überprüft wird, ob im Signallumlauf vor Beginn des Zeitintervalls eine vorgebbare Mindestanzahl an Fahrzeugen detektiert wird und während des Zeitintervalls kein Fahrzeug detektiert wird. Der Signallumlauf startet mit Beginn der Sperrzeit. Das Zeitintervall beginnt mit dem Zeitpunkt, zu dem eine Dauerbelegung am meisten erwartet werden kann, und der sich aus dem Produkt aus einer minimalen Brutto-Zeitlücke aufeinanderfolgender Fahrzeuge, etwa bis zu 1,8 s, und dem Quotienten aus dem Abstand von Haltlinie bis Fahrzeugdetektor und der durchschnittlichen Fahrzeuglänge, etwa 6 m, errechnet. Das Zeitintervall dauert so lange an wie die Räumzeit, die sich aus dem Produkt aus einer Reaktionszeit je Fahrzeug, etwa 1,0 s bis 1,1 s, und dem Quotienten aus dem Abstand von Haltlinie bis Fahrzeugdetektor und der durchschnittlichen Fahrzeuglänge errechnet. Wenn während dieses Zeitintervalls kein Fahrzeug, vorher aber eine gewisse Mindestanzahl detektiert wird, dann wird dies als Vorliegen einer Nichtbelegung wegen Fahrzeugglücke über dem Fahrzeugdetektor gedeutet. Die Mindestanzahl entspricht der Anzahl an Fahrzeugen, die sich von der Haltlinie bis unmittelbar stromab des Fahrzeugdetektors aufstellen können.

[0016] Weiter vorzugsweise wird gemäß der Belegungsregel zusätzlich überprüft, ob das erste im Signallumlauf nach dem Zeitintervall detektierte Fahrzeug früher als ein vorgegebener Referenzzeitpunkt detektiert wurde. Auch ein positives Ergebnis dieser Prüfung deutet auf eine Nichtbelegung wegen Fahrzeugglücke über dem Fahrzeugdetektor hin, da das erste nach dem Zeitintervall detektierte Fahrzeug aufgrund seiner kurzen Fahrzeit bis zur Detektion unmittelbar stromauf des Fahrzeugdetektors gestanden haben muss.

[0017] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird einem Signallumlauf eine Staukennzahl zugeordnet, die bei überlastetem Verkehrszustand einen ersten Wert und bei nicht überlastetem Verkehrszustand einen zweiten Wert annimmt, wobei der Verlauf der Staukennzahl über einen Beobachtungszeitraum geglättet wird, und wobei aus dem geglätteten Verlauf der Staukennzahl für einen Signallumlauf eine Staulänge eines sich von einer Haltlinie auf einer Fahrspur gebildeten Rückstaus an Fahrzeugen berechnet wird. Ausgehend von Staulängen oder ähnlichen Kennwerten für einen Knotenpunkt können verkehrsplanerische Maßnahmen oder Steuerungseingriffe vorgenommen werden.

[0018] Weitere Eigenschaften und Vorteile ergeben sich aus nachfolgender Beschreibung eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens anhand der Zeichnungen, in deren

FIG 1 eine mehrspurige Zufahrt zu einem signalisierten Knotenpunkt,

FIG 2 ein Weg-Zeit-Diagramm von Fahrzeugbewegungen auf einer Fahrspur der Zufahrt aus FIG 1,

FIG 3 ein Flussdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens,

FIG 4 ein Zeitdiagramm für gemessene Signal- und Belegungszeiten,

FIG 5 eine erste Zuordnung einer nicht detektierten Dauerbelegung und

FIG 6 eine zweite Zuordnung einer nicht detektierten Dauerbelegung

15 schematisch veranschaulicht sind.

[0019] Das erfindungsgemäße Verfahren ist zur Erfassung des Verkehrszustandes an einem lichtsignalgesteuerten Knotenpunkt eines Straßennetzes vorgesehen, dem sich Fahrzeuge F auf einer Fahrspur L nähern. Gemäß FIG 1 teilt sich die Fahrspur L an einem Verzweigungspunkt V in eine Fahrspur L1 für Linksabbieger und eine benachbarte Fahrspur L2 für Geradeausfahrer und Rechtsabbieger auf. Den Fahrspuren L1 und L2 sind Signalgeber S1 und S2 einer Lichtsignalanlage zugeordnet, die nach einem in einem Steuergerät ablaufenden Signalprogramm abwechselnd ein Freigabesignal und ein Sperrsignal abgeben. Das Sperrsignal wird während einer Sperrzeit als rotes, gelbes oder rot-gelbes Lichtzeichen abgegeben; das Freigabesignal wird während einer Freigabezeit als grünes Lichtzeichen abgegeben. Stromauf der Konfliktflächen des Knotenpunktes sind die Fahrspuren L1 und L2 durch eine Haltlinie H markiert, die bei Abgabe eines Freigabesignals von Fahrzeugen F passiert werden darf. Bei Abgabe eines Sperrsignals darf die Haltlinie H nicht passiert werden, so dass sich nähernde Fahrzeug F stromauf der Haltlinie H in einer Warteschlange aufstellen müssen. Je nach Verkehrsnachfrage und Bemessung der Sperrzeit entsteht auf einer oder mehreren der Fahrspuren L, L1, L2 ein Rückstau an Fahrzeugen F. Den Fahrspuren L1 und L2 sind Fahrzeugdetektoren D1 und D2 zugeordnet, die in einem Abstand d von etwa 10 m bis 60 m stromauf der Haltlinie H angeordnet und beispielsweise als in den Fahrbahnbelag eingebettete Induktionsschleifen ausgebildet sind. Die Fahrzeugdetektoren D1 und D2 weisen kurze Messbereiche der Länge l_D auf und geben ein Belegungssignal ab, solange der Messbereich durch ein Fahrzeug F belegt ist, sonst nicht. Verweilt ein Fahrzeug F länger als eine vorgegebene Zeitdauer, beispielsweise länger als 10 s, im Messbereich eines Fahrzeugdetektors D1 oder D2, so spricht man von Dauerbelegung.

[0020] In einem Weg-Zeit-Diagramm gemäß FIG 2 sind Trajektorien von Fahrzeugen F dargestellt, die sich auf einer Fahrspur L der Haltlinie H nähern. Nach rechts ist die Zeit t aufgetragen, nach unten der zurückgelegte Weg s. Bei H befindet sich die Haltlinie, im Abstand d stromauf der Detektor D1 mit seinem Messbereich der

Länge l_D . Während der Freigabezeit t_F stoßen die Trajektorien der Fahrzeug mit einer Steigung auf die Haltlinie H, die der aktuellen Geschwindigkeit des Fahrzeugs F entspricht - je größer die Steigung, desto größer die Geschwindigkeit. Die Belegung b des Fahrzeugdetektors D1 während der Zeit t ist unterhalb des Weg-Zeit-Diagramms dargestellt. Bei Passage eines Fahrzeugs F nimmt die Belegung b den Wert 1 an, bei Nichtbelegung den Wert 0. Das erfindungsgemäße Verfahren misst nun Beginn und Ende der Freigabezeiten t_F , die im Weg-Zeit-Diagramm durch einen breiten Balken dargestellt sind, und der Sperrzeiten t_S , die im Weg-Zeit-Diagramm durch einen schmalen Balken dargestellt sind, sowie Beginn und Ende der Belegungszeiten t_b . Während der Sperrzeit t_S kommen sich der Haltlinie H nähernde Fahrzeuge F zum Stillstand, was durch einen waagerechten Verlauf der Trajektorie erkennbar ist, und bilden eine sich aufbauende Warteschlange. Im dargestellten Beispiel ist nur die Trajektorie f des ersten Fahrzeugs F in der Warteschlange bezeichnet. Das sechste Fahrzeug F der Warteschlange kommt auf dem Fahrzeugdetektor D1 zum Stillstand, was eine Dauerbelegung auslöst.

[0021] Das erfindungsgemäße Verfahren erfasst den Verkehrszustand am Knotenpunkt je Signalumlauf, der mit Beginn der Sperrzeit t_S anfängt und mit dem Ende der sich anschließenden Freigabezeit t_F endet. Die computerimplementierten Verfahrensschritte zeigt das Flussdiagramm gemäß FIG 3.

[0022] Im Schritt 10 beginnt jeweils ein neuer Signalumlauf.

[0023] Im Schritt 11 werden die gemessenen Sperrzeiten t_S , Freigabezeiten t_F und Belegungszeiten t_b als Messdaten eingelesen.

[0024] Im Schritt 12 werden die Messdaten vervollständigt, wenn beispielsweise eine Dauerbelegung des Fahrzeugdetektors D1 nicht gemessen werden kann, weil sich über dessen Messbereich eine Lücke zwischen zwei Fahrzeugen F der Warteschlange s gebildet hat. Hierzu wird auf die Beschreibung weiter unten zu FIG 4 bis 6 verwiesen.

[0025] Im Schritt 13 werden aus den Messdaten die für die Verkehrszustandsermittlung erforderlichen Parameter berechnet. Es wird die Füllzeit gemessen, die von Beginn der Sperrzeit t_S bis zur Dauerbelegung des Fahrzeugdetektors D1 dauert. Es wird eine Referenzfüllzeit berechnet, die vom Abstand d des Fahrzeugdetektors D1 von der Haltlinie H und dynamisch von der Anzahl an Fahrzeugen F, die während der Füllzeit einen Fahrzeugdetektor D2 der benachbarten Fahrspur L2 passieren, abhängt. Die Referenzfüllzeit gibt die minimale Füllzeit bei nicht überlastetem Verkehrszustand vor. Ferner wird das im Rückstau letzte Fahrzeug F_L der Fahrspur L1 stromab eines Verzweigungspunktes V, welches bei einer sich anschließenden Freigabezeit t_F noch die Haltlinie passieren wird, und die Zeitdauer, die dieses ab Beginn der Freigabezeit t_F bis zum Erreichen des Fahrzeugdetektors D1 benötigt, bestimmt. Außerdem wird eine Zeitgrenze für diese Zeitdauer berechnet, die das letzte

Fahrzeug F_L bei nicht überlastetem Verkehrszustand mindestens benötigt muss.

[0026] Im Schritt 14 wird nun überprüft, ob sich während der Sperrzeit t_S der Abschnitt zwischen Haltlinie H und Fahrzeugdetektor D1 schnell mit Fahrzeugen F füllt - also ob die Füllzeit die vorgegebene Referenzfüllzeit unterschreitet.

[0027] Falls nicht, wird im Schritt 15 überprüft, ob nach Beginn der Freigabezeit t_F eine dichte Folge an Fahrzeugen F detektiert wird - also ob die Zeitdauer, die das letzte Fahrzeug F_L ab Beginn der Freigabezeit t_F bis zum Fahrzeugdetektor D1 benötigt, die vorgegebene Zeitgrenze unterschreitet. Ist auch dies nicht der Fall, so wird der Verkehrszustand im Schritt 16 als nicht überlastet gewertet.

[0028] Wird im Schritt 14 eine Unterschreitung der Referenzfüllzeit und im Schritt 15 eine Unterschreitung der Zeitgrenze festgestellt, so wird der Verkehrszustand ohne weitere Prüfung in Schritt 17 als überlastet gewertet. Dieser Ast ist im Flussdiagramm nach FIG 3 nicht eingezeichnet.

[0029] Wird jedoch in einem der beiden Schritte 14 und 15 eine Überschreitung und im anderen eine Unterschreitung festgestellt, so wird der Verkehrszustand als überlastet angenommen, aber noch einer Prüfung von Ausschlusskriterien unterzogen, anhand derer ein überlasteter Verkehrszustand ausgeschlossen werden kann.

[0030] Hierzu werden in Schritt 18 Parameter für die Ausschlusskriterien berechnet, die anhand der nachfolgenden Prüfschritte erläutert werden.

[0031] In Schritt 19 wird überprüft, ob es unter den ab Beginn der Freigabezeit t_F den Fahrzeugdetektor D1 passierenden Fahrzeugen F derart schnelle Fahrzeuge gibt, die einen nicht überlasteten Verkehrszustand belegen. Falls ja, wird die angenommene Wertung des Verkehrszustandes abgeändert und im Schritt 16 auf nicht überlastet gesetzt.

[0032] Falls nicht, wird im Schritt 20 überprüft, ob ab Beginn der Freigabezeit t_F nur wenige, langsame Fahrzeuge F den Fahrzeugdetektor D1 passieren, was einen freien Verkehrsfluss belegt. Falls ja, wird die angenommene Wertung des Verkehrszustandes abgeändert und im Schritt 16 auf nicht überlastet gesetzt.

[0033] Falls nicht, wird im Schritt 21 überprüft, ob vom Fahrzeugdetektor D1 bei Ende der Freigabezeit t_F Zeitlücken zwischen aufeinander folgenden Fahrzeugen F detektiert werden, die länger als eine parametrisierte Referenzzeitlücke sind. Falls ja, wird die angenommene Wertung des Verkehrszustandes abgeändert und im Schritt 16 auf nicht überlastet gesetzt.

[0034] Falls nicht, wird im Schritt 22 überprüft, ob vom Fahrzeugdetektor D1 ab Beginn der Freigabezeit t_F Zeitlücken zwischen aufeinander folgenden Fahrzeugen F detektiert werden, die größer sind, als sie bei angenommenem überlasteten Verkehrszustand wären, was durch einen Schwellenwert für die Zeitlücke parametrisiert wird. Falls ja, wird die angenommene Wertung des Verkehrszustandes abgeändert und im Schritt 16 auf nicht über-

lastet gesetzt.

[0035] Falls nicht, wird im Schritt 17 die Wertung des als überlastet angenommenen Verkehrszustandes bestätigt, da kein Ausschlusskriterium zugetroffen hat.

[0036] Im abschließenden Schritt 23 wird dem betrachteten Signalumlauf die Wertung des Verkehrszustandes als "nicht überlastet" gemäß Schritt 16 oder als "überlastet" gemäß Schritt 17 zugewiesen.

[0037] Der Schritt 12 der Datenvervollständigung soll nun anhand FIG 4 bis 6 erläutert werden. FIG 4 zeigt einen typischen Verlauf der Belegungszeiten t_b eines Fahrzeugdetektors D1 vor einer Haltlinie H. Ab Beginn der Sperrzeit t_s passieren die die Warteschlange aufbauenden Fahrzeuge F den Fahrzeugdetektor D1 nacheinander mit geringerer Geschwindigkeit, was sich in länger werdenden Belegungszeiten t_b und länger werdenden Zeittücken niederschlägt, bis hin zu einer Dauerbelegung. Die Dauerbelegung endet nach einer gewissen Räumzeit ab Beginn der Freigabezeit t_f , nach der wieder Fahrzeuge F den Fahrzeugdetektor D1 passieren können. Im Signalumlauf wird nun ein Zeitintervall t_B definiert, innerhalb dessen eine Dauerbelegung möglich ist. Das Zeitintervall t_B beginnt mit dem Zeitpunkt, zu dem eine Dauerbelegung am meisten erwartet werden kann. Dieser ergibt sich aus dem Produkt aus einer minimalen Zeittücke aufeinanderfolgender Fahrzeuge, etwa bis zu 1,8 s, und dem Quotienten aus dem Abstand d von Haltlinie H bis Fahrzeugdetektor D1 und der durchschnittlichen Fahrzeuglänge, etwa 6 m. Das Zeitintervall t_B zum gleichen Zeitpunkt wie die Räumzeit. Die Räumzeit beginnt gleichzeitig mit der Freigabezeit t_f . Die Dauer der Räumzeit ergibt sich aus dem Produkt aus einer Reaktionszeit je Fahrzeug, etwa 1,0 s bis 1,1 s, und dem Quotienten aus dem Abstand d von Haltlinie H bis Fahrzeugdetektor D1 und der durchschnittlichen Fahrzeuglänge errechnet.

[0038] Gemäß der jeweils linken Abbildung von FIG 5 und 6 wurde keine Dauerbelegung des Fahrzeugdetektors D1 gemessen. Es wird nun anhand einer Belegungsregel geprüft, ob der Fahrzeugdetektor D1 aufgrund einer in seinem Messbereich entstandenen Fahrzeuglücke zwischen sich rückstauenden Fahrzeugen F nicht belegt war. Trifft die Belegungsregel zu, wird ein Fahrzeug ermittelt, dem gemäß den jeweils rechten Abbildungen in FIG 5 und 6 eine Dauerbelegung nachträglich zugeordnet wird.

[0039] Als Belegungsregel wird nun überprüft, ob im Signalumlauf vor Beginn des Zeitintervalls t_B eine vorgebbare Mindestanzahl an

[0040] Fahrzeugen F detektiert wird und während des Zeitintervalls t_B kein Fahrzeug F detektiert wird. Trifft dies zu, kann von einer Nichtbelegung wegen Fahrzeuglücke über dem Fahrzeugdetektor D1 ausgegangen werden. Die Mindestanzahl entspricht der Anzahl an Fahrzeugen F, die sich von der Haltlinie H bis unmittelbar stromab des Fahrzeugdetektors D1 aufstellen können. Dem zeitlich letzten dieser Mindestzahl an Fahrzeugen F wird gemäß FIG 5 eine Dauerbelegung zugeordnet.

[0041] Zusätzlich wird in der Belegungsregel überprüft, ob das erste im Signalumlauf nach dem Zeitintervall detektierte Fahrzeug früher als ein vorgegebener Referenzzeitpunkt detektiert wurde. Auch ein positives Ergebnis dieser Prüfung deutet auf eine Nichtbelegung wegen Fahrzeuglücke über dem Fahrzeugdetektor hin, da das erste nach dem Zeitintervall detektierte Fahrzeug aufgrund seiner kurzen Fahrzeit bis zur Detektion unmittelbar stromauf des Fahrzeugdetektors D1 gestanden haben muss. Diesem Fahrzeug wird gemäß FIG 6 eine Dauerbelegung nachträglich zugeordnet.

[0042] Durch die Zuordnung einer Dauerbelegung anhand der Belegungsregel werden die Messdaten im Schritt 12 vervollständigt und dann zu Zwecken der Verkehrsstatistik oder Verkehrssteuerung weiterverarbeitet.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erfassung des Verkehrszustandes an einem lichtsignalgesteuerten Knotenpunkt eines Straßennetzes, dem sich Fahrzeuge (F) auf einer Fahrspur (L) nähern, wobei Belegungszeiten (t_b) eines der Fahrspur (L1, L2) zugeordneten Fahrzeugdetektors (D1, D2) gemessen werden, wobei sich abwechselnde Sperr- und Freigabezeiten (t_s , t_f) eines der Fahrspur (L1, L2) zugeordneten Signalgebers (S1, S2) einer Lichtsignalanlage gemessen werden, wobei ab Beginn einer Sperrzeit (t_s) eine Füllzeit bis zu einer Dauerbelegung des Fahrzeugdetektors (D1, D2) gemessen wird, wobei die Füllzeit mit einer vorgebbaren Referenzfüllzeit verglichen wird, und wobei der Verkehrszustand als nicht überlastet gewertet wird, solange die Referenzfüllzeit überschritten wird, andernfalls wird der Verkehrszustand als überlastet gewertet, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei unterschrittener Referenzfüllzeit wenigstens ein Ausschlusskriterium geprüft wird, wobei die Wertung des Verkehrszustandes in nicht überlastet abgeändert wird, wenn das Ausschlusskriterium zutrifft, andernfalls die Wertung des Verkehrszustandes als überlastet bestätigt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei als Ausschlusskriterium geprüft wird, ob vom Fahrzeugdetektor (D1, D2) nur eine geringe Anzahl an langsam fahrenden Fahrzeugen (F) detektiert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei als Ausschlusskriterium geprüft wird, ob vom Fahrzeugdetektor (D1, D2) zu einem Zeitpunkt, zu dem bei einem überlasteten Verkehrszustand langsame Fahrzeuge (F) den Fahrzeugdetektor (D1, D2) passieren, ein schnelles Fahrzeug (F) detektiert wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei als Ausschlusskriterium geprüft wird, ob vom Fahrzeugdetektor (D1, D2) Zeittücken zwischen aufeinanderfolgenden Fahrzeugen (F) gemessen werden, wobei die Zeittücken mit einer vorgebbaren Referenzzeit verglichen werden, und wobei der Verkehrszustand als nicht überlastet gewertet wird, solange die Referenzzeit überschritten wird, andernfalls wird der Verkehrszustand als überlastet gewertet.

ander folgenden Fahrzeugen (F) detektiert werden, die größer sind, als sie bei angenommenem überlasteten Verkehrszustand wären.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei als Ausschlusskriterium geprüft wird, ob vom Fahrzeugdetektor (D1, D2) bei Ende der Freigabezeit (t_F) eine Zeitlücke gemessen wird, die länger als eine vorgegebene Referenzzeitlücke dauert. 5
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Verkehrszustand als überlastet gewertet wird, wenn nach Beginn der Freigabezeit (t_F) vom Fahrzeugdetektor (D1, D2) eine dichte Folge an Fahrzeugen (F) detektiert wird. 10 15
7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei der Verkehrszustand ohne weitere Prüfung von Ausschlusskriterien als überlastet gewertet wird, wenn die Referenzfüllzeit unterschritten und nach Beginn der Freigabezeit (t_F) vom Fahrzeugdetektor (D1, D2) eine dichte Folge an Fahrzeugen (F) detektiert wird. 20
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei für eine mehrspurige Zufahrt die Referenzfüllzeit für eine Fahrspur (L1) dynamisch umso größer vorgegeben wird, je mehr Fahrzeuge (F) während der Füllzeit von einem einer Nachbarspur (L2) zugeordneten Fahrzeugdetektor (D2) gezählt werden. 25 30
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei für einen Signalumlauf ohne gemessene Dauerbelegung anhand einer Belegungsregel überprüft wird, ob der Fahrzeugdetektor (D1, D2) aufgrund einer in seinem Messbereich entstandenen Fahrzeuglücke zwischen sich rückstauenden Fahrzeugen (F) nicht belegt war, wobei bei Zutreffen der Belegungsregel ein Fahrzeug (F) ermittelt wird, dem eine Dauerbelegung nachträglich zugeordnet wird. 35 40
10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei für einen Signalumlauf ein Zeitintervall (t_B) bestimmt wird, innerhalb dessen eine Dauerbelegung möglich ist, und wobei als Belegungsregel überprüft wird, ob im Signalumlauf vor Beginn des Zeitintervalls (t_B) eine vorgegebene Mindestanzahl an Fahrzeugen (F) detektiert wird und während des Zeitintervalls (t_B) kein Fahrzeug (F) detektiert wird. 45
11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei gemäß der Belegungsregel zusätzlich überprüft wird, ob das erste im Signalumlauf nach dem Zeitintervall (t_B) detektierte Fahrzeug (F) früher als ein vorgegebener Referenzzeitpunkt detektiert wurde. 50 55
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei einem Signalumlauf eine Staukennzahl zugeordnet wird, die bei überlastetem Verkehrszustand einen

ersten Wert und bei nicht überlastetem Verkehrszustand einen zweiten Wert annimmt, wobei der Verlauf der Staukennzahl über einen Beobachtungszeitraum geglättet wird, und wobei aus dem geglätteten Verlauf der Staukennzahl für einen Signalumlauf eine Staulänge eines sich von einer Haltlinie (H) auf einer Fahrspur (L) gebildeten Rückstaus an Fahrzeugen (F) berechnet wird.

FIG 1

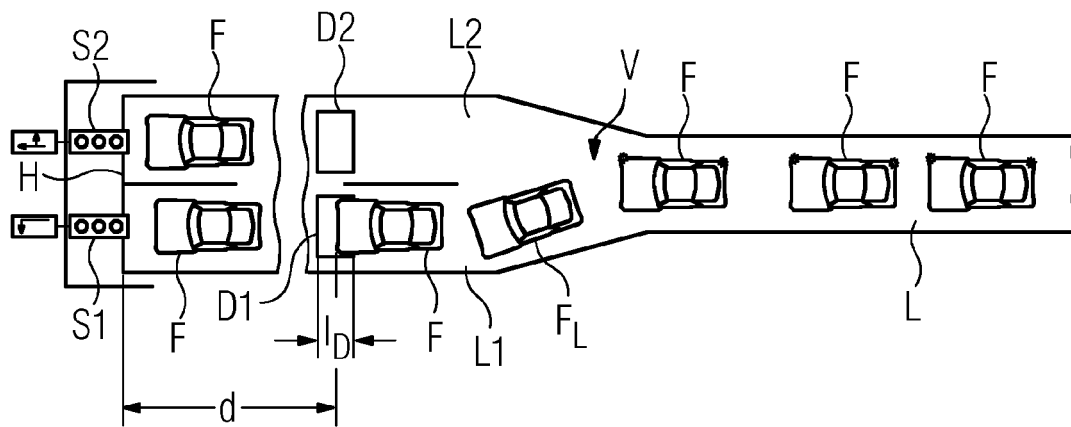


FIG 2

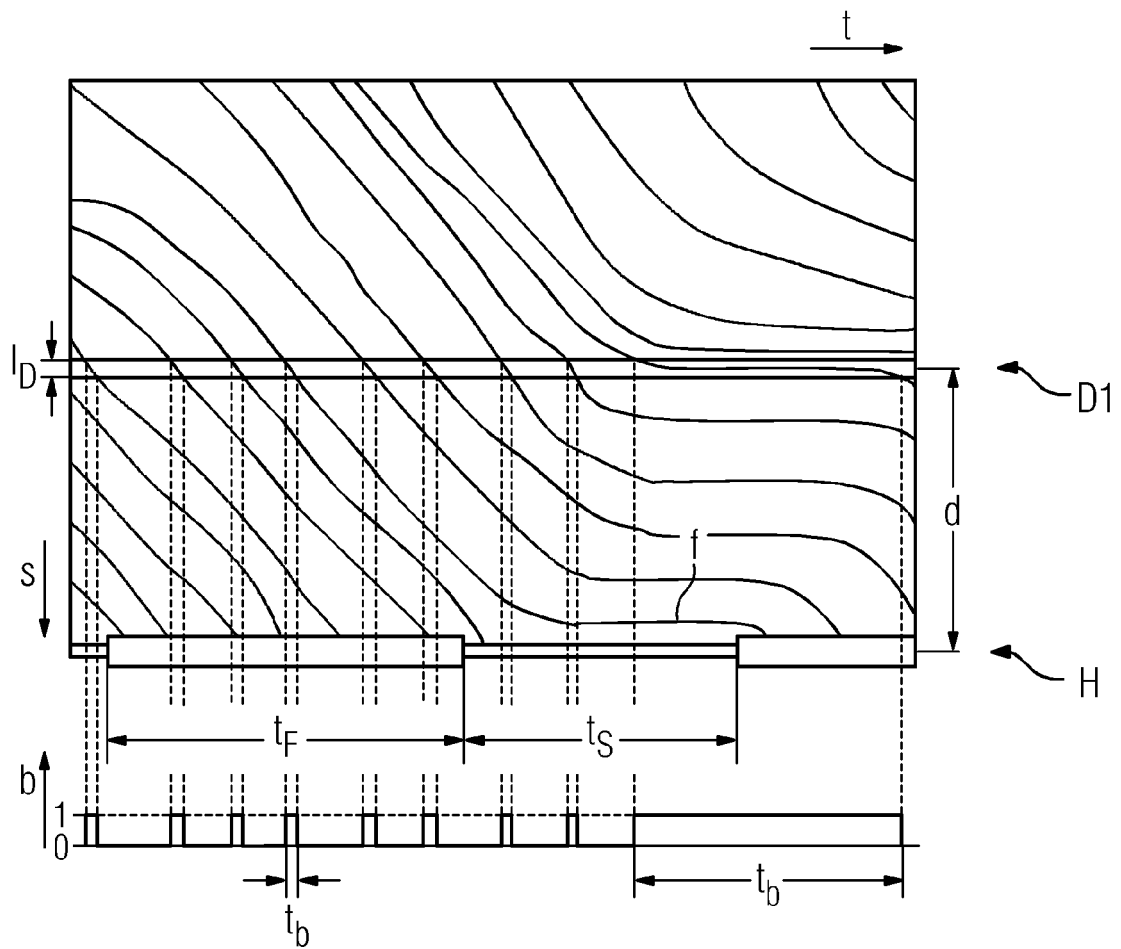


FIG 3

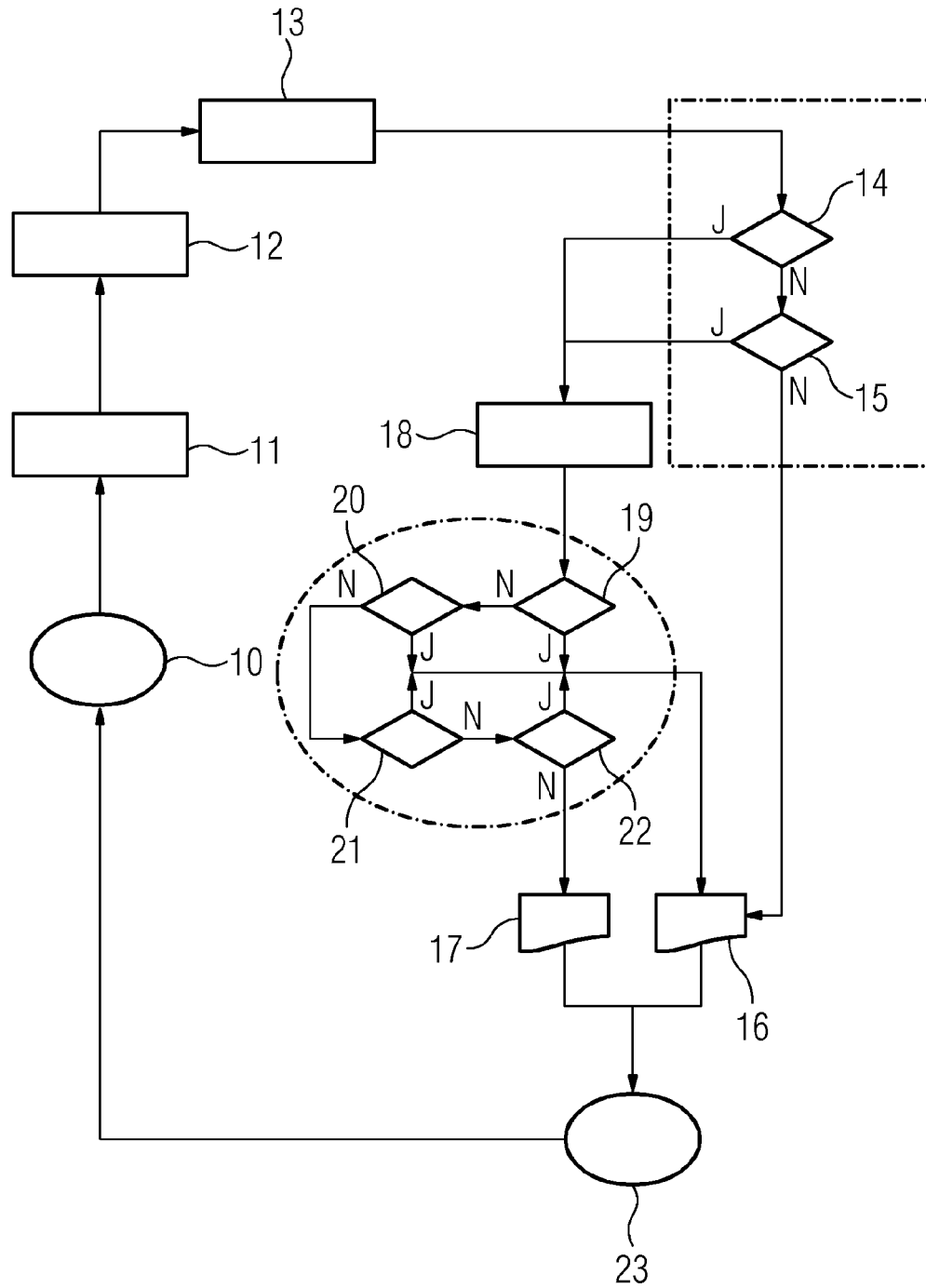


FIG 4

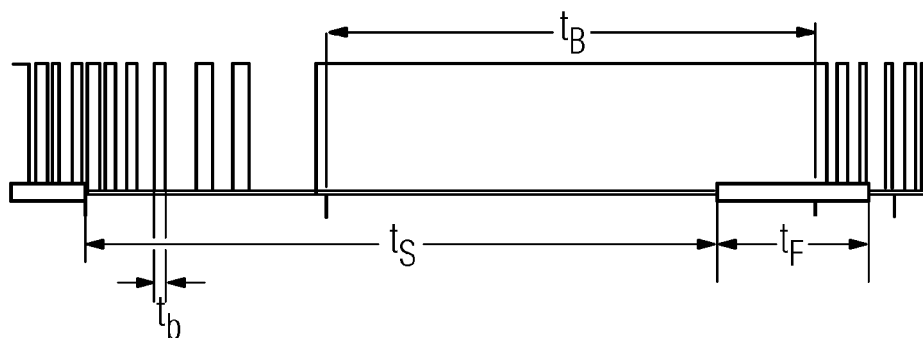


FIG 5

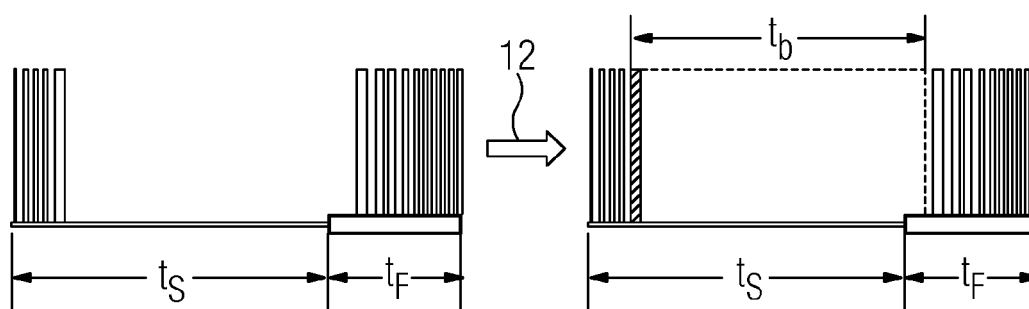
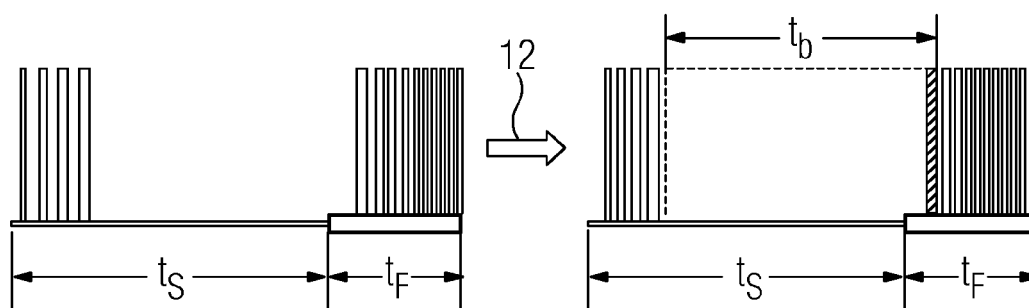


FIG 6



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 1276085 B1 [0003]