

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 903 711 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
24.03.1999 Patentblatt 1999/12

(51) Int. Cl.⁶: G08G 1/01

(21) Anmeldenummer: 98117283.6

(22) Anmeldetag: 11.09.1998

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: 18.09.1997 DE 19741229

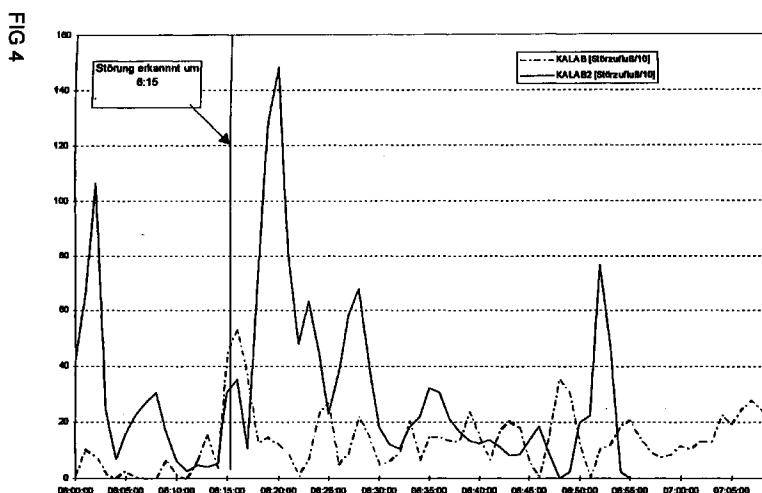
(71) Anmelder:
SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
80333 München (DE)

(72) Erfinder:
• Sachse, Thomas
83607 Holzkirchen (DE)
• Busch, Fritz, Dr.
86415 Mering (DE)
• Ghio, Andrea
81377 München (DE)
• Konrad, Johannes
81243 München (DE)

(54) Verfahren zur Ermittlung von Verkehrsinformationen

(57) Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine flächendeckende Verkehrsdatenerfassung, durch welche mit Einfachsensoren und geringem Datenübertragungs- sowie Energieaufwand zuverlässige und hinreichend aussagekräftige Datengrundlagen für unterschiedliche Verkehrsinformationsdienste bereitgestellt werden, derart verbessert bereitzustellen, so daß die erfassten und gesendeten Daten so umfassend und aussagekräftig sowie vom Ergebnis her so eindeutig und sicher wie möglich analysiert und verarbeitet werden. Zur technischen Lösung dieser Aufgabe wird mit der Erfindung vorgeschlagen ein Verfahren zur Ermittlung von auf Straßenstrecken, insbesondere Autobahnen, bezogene Verkehrsinformationen, wobei mittels ortsfester Detektoren lokale Erfassungsquerschnitte gebildet, verkehrsbezogene Meßwerte erfaßt, mittels lokaler Rechner vorverarbeitet und auf ein vor-

gegebenes Datenprotokoll normiert, aggregiert und per drahtloser Übermittlung an eine übergeordnete Datenverarbeitungsanlage übertragen werden, wobei die übertragenen Daten in wenigstens einem Berechnungsverfahren zur Ermittlung von Verkehrsinformationen bearbeitet werden, dessen Eingangsdaten wenigstens Fahrzeuggeschwindigkeit v und Verkehrsstärke q sind und das als Ausgangsdaten wenigstens Reisegeschwindigkeit und Verkehrsdichte k an einem Erfassungsquerschnitt hervorbringen kann, wobei die Daten anschließend in wenigstens einem komplexen erweiterten Bearbeitungsverfahren, insbesondere einer auf Fuzzy-Logik basierenden Multi-Modell-Logik, zur Ermittlung von auf Strecken bezogenen Verkehrsinformationen weiterverarbeitet werden.



EP 0 903 711 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung von auf Straßenstrecken, insbesondere Autobahnen bezogene Verkehrsinformationen, wobei mittels ortsfester Detektoren lokale Erfassungsquerschnitte gebildet, verkehrsbe-

[0002] Im Stand der Technik ist es bekannt, an einzelnen Meßstellen Verkehrsflußinformationen zu erfassen, um daraus direkte Störinformationen abzuleiten oder Verkehrsentwicklungsprognosen für benachbarte Streckenabschnitte zu entwickeln. Es sind jeweils nur Einzellösungen bekannt.

[0003] Beispielsweise ist in der EP 0 256 483 A1 ein Verkehrsleit- und Informationssystem offenbart, welches unter Verwendung ortsfester Leitbaken und in Fahrzeugen angeordneten Sende- bzw. Empfangseinheiten Verkehrsflußinformationen ermittelt. Aus diesen Verkehrsflußinformationen werden insbesondere Störinformationen ermittelt, um Leitsignale zu schalten.

[0004] Aus der DE-P 44 08 547 ist ein Verfahren zur Verkehrserfassung und Verkehrssituationserkennung auf Autostraßen, vorzugsweise Autobahnen, bekannt. Zur Bildung von sogenannten Meßquerschnitten werden spurbezogene Meßstellen eingerichtet, die mit Verkehrssensoren, beispielsweise Induktionsschleifen, zur Kfz.-Detektion und mit einer Verkehrsdaten-Verarbeitungs-Einrichtung versehen sind. Es werden regelmäßig Verkehrsdaten wie Kfz.-Geschwindigkeit, Verkehrsstärke und Verkehrsdichte ermittelt und daraus bestimmte Verkehrskenngrößen in einer Verkehrsdatenaufbereitung gebildet. Dabei bilden jeweils zwei benachbarte Meßstellen einen Meßabschnitt mit einer bestimmten Streckenlänge. Aus den Verkehrsdaten zweier solcher Meßstellen werden Verkehrskenngrößen gebildet. Diese sind eine Geschwindigkeitsdichte-Differenz, berechnet aus lokalen Verkehrsdaten mittlerer Geschwindigkeit und der Verkehrsdichte, ein Trendfaktor, ermittelt über einen bestimmten Zeitraum aus dem Verhältnis der Verkehrsstärken beider Meßstellen sowie ein Verkehrsstärketrend. Aus diesen Daten wird mittels einer Fuzzylogik die Wahrscheinlichkeit für eine kritische Verkehrssituation abgeleitet. Bei Erreichen eines Wahrscheinlichkeitsschwellwertes kann dann ein Steuersignal für ein Wechselverkehrszeichen erzeugt werden.

[0005] Im Stand der Technik sind auch Detektoren bekannt, die das Vorhandensein und die Geschwindigkeit eines bewegten Objektes erfassen können. Beispielsweise arbeiten derartige Detektoren nach einem Passiv-Infrarot-Verfahren, welches ggf. auch mit anderen Verfahren kombiniert werden kann. Im Stand der Technik ist bisher kein Verfahren bekannt, flächendeckend Verkehrsinformationen zu erfassen und auszuwerten. Insbesondere sind keine Verfahren bekannt, die die Verkehrsinformationsermittlung streckenabschnittsbezogen variabel, ggf. ereignisorientiert und mit geringem Datenübertragungsaufwand ermöglichen.

[0006] Ein geringer Datenübertragungsaufwand ist einerseits zur Durchführung eines energiesparenden Verfahrens erforderlich, andererseits um möglichst transparente und leicht pflegbare Datenbestände zu erzeugen.

[0007] Wesentlicher Aspekt der vorliegenden Erfindung ist die optimale Auswertung und Weiterverarbeitung der empfangenen Daten in einer Zentraleinheit, um die unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten erfassten und gesendeten Daten so umfassend und aussagekräftig wie möglich zu verarbeiten, aber auch zu Ergebnissen zu gelangen, deren Aussagegehalt so eindeutig und sicher wie möglich ist. Diesbezüglich sind nur Einzellösungen bekannt.

[0008] Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der vorliegenden Erfindung die **Aufgabe** zugrunde, eine flächendeckende Verkehrsdatenerfassung der gattungsgemäßen Art, durch welche mit Einfachsensorik und geringem Datenübertragungs- sowie Energieaufwand zuverlässige und hinreichend aussagekräftige Datengrundlagen für unterschiedliche Verkehrsinformationsdienste bereitgestellt werden, derart verbessert bereitzustellen, so daß die erfassten und gesendeten Daten so umfassend und aussagekräftig sowie vom Ergebnis her so eindeutig und sicher wie möglich analysiert und verarbeitet werden.

[0009] Zur technischen **Lösung** dieser Aufgabe wird mit der Erfindung vorgeschlagen ein Verfahren zur Ermittlung von auf Straßenstrecken, insbesondere Autobahnen, bezogene Verkehrsinformationen, wobei mittels ortsfester Detektoren lokale Erfassungsquerschnitte gebildet, verkehrsbezogene Meßwerte erfaßt, mittels lokaler Rechner vorverarbeitet und auf ein vorgegebenes Datenprotokoll normiert, aggregiert und per drahtloser Übermittlung an eine übergeordnete Datenverarbeitungsanlage übertragen werden, wobei die übertragenen Daten in wenigstens einem Berechnungsverfahren zur Ermittlung von Verkehrsinformationen bearbeitet werden, dessen Eingangsdaten wenigstens Fahrzeuggeschwindigkeit v und Verkehrsstärke q sind und das als Ausgangsdaten wenigstens Reisegeschwindigkeit und Verkehrsdichte k an einem Erfassungsquerschnitt hervorbringen kann, und wobei die Daten anschließend in wenigstens einem komplexen erweiterten Bearbeitungsverfahren zur Ermittlung von auf Strecken bezogenen Verkehrsinformationen weiterverarbeitet werden.

[0010] Die Erfindung ermöglicht die Realisierung eines stufenförmig organisierten Verarbeitungssystems, wobei bereits kurzfristig Ergebnisse erzielt werden können, die durch Ausweitung in die einzelnen Stufen konsolidiert und ver-

feinert werden. Durch die Auflösung in einzelne Teilaufgaben bzw. Stufen ergibt sich ein hohes Maß an Flexibilität und an Ausfallsicherheit durch die Bildung von Rückfallebenen. Durch die lokale Voranalyse des Verkehrs ergeben sich Möglichkeiten zur äußerst energiesparenden, ereignisorientierten Datenübertragung zu den übergeordneten Datenverarbeitungsanlagen bzw. -zentralen.

[0011] Vorzugsweise werden ortsfeste Detektoren an Anschlußstellen, Knotenpunkten und dergleichen positioniert. Darüber hinaus wird die Anordnungsdichte der ortsfesten Detektoren in Abhängigkeit von Verkehrserwartungsschätzungen bestimmt. Somit lassen sich durch die Anordnung vieler lokaler Erfassungssysteme flächendeckende Netze aufbauen. Mit der Erfindung ist es auch möglich, einen Gesamtnetzaufbau zu organisieren. An verkehrstechnisch kritischen Positionen werden lokale Detektoren und Vorverarbeitungsrechner angeordnet, die über Funk in vorzugsweise digitaler Technologie die Daten an übergeordnete Datenverarbeitungsanlagen bzw. -zentralen weiterleiten. Dort können dann weitere Verkehrsmodelle auf die Daten angewandt werden.

[0012] Aus der lokalen Auswertung ergibt sich die Möglichkeit der lokalen Zustandserkennung. Durch die Verknüpfung der Daten benachbarter lokaler Erfassungsquerschnitte kann ein sogenannter streckenbezogener Level of Service in einer übergeordneten Datenverarbeitungsanlage oder einer dem Gesamtnetz zugeordneten Zentrale ermittelt werden.

[0013] Die Verknüpfung dieser Daten, ggf. in Kombination mit den Daten der lokalen Erfassungsquerschnitte ermöglicht die Errechnung einer erweiterten Situationserkennung. Hier können dynamische Zustandsschätzungen erfolgen, um eine verbesserte Zustandsschätzung in kritischen Streckenabschnitten durch Zuschaltung eines angepaßten Systems zur erweiterten Situationserkennung zu erlangen. Die Ergebnisse sind detaillierte streckenbezogene Daten und feiner untergliederte Situationsklassifizierungen. Darüber hinaus lassen sich Angaben einer etwaigen Sicherheit der jeweiligen Schätzung erzielen. Eine Korrektur hinsichtlich stark verrauschter Daten wegen schlechter Datenübertragung, bei größeren Zeitintervallen oder nur sporadischen Daten ist mit der Erfindung vorgesehen.

[0014] Mit besonderem Vorteil wird vorgeschlagen, daß zur lokalen Vorverarbeitung der Daten deren Plausibilität anhand von Modellvergleichen überprüft wird, Mittelwertberechnungen durchgeführt, aus der Veränderung der Maßwerte Trendfaktoren ermittelt, und daß aus den ermittelten Daten taktweise Zustandscodes ermittelt werden. Als Meßwerte werden zumindest Fahrzeuggeschwindigkeit, Verkehrsstärke und querschnittsbezogene Belegung erfaßt.

[0015] Nachdem von einem Detektor, beispielsweise einem Passiv-Infrarot-Detektor, Meßdaten geliefert werden, werden diese vorverarbeitet, beispielsweise indem Mittelwertberechnungen, Plausibilitätskontrollen und Trendfaktorermittlungen durchgeführt werden. Aus den Veränderungen der Daten oder den Daten selbst werden dann Zustandscodes ermittelt, beispielsweise in der Form eines Zahlenwertes für Zustände wie freier Verkehrsfluß, Staugefahr, Stop and Go, Stau oder Stillstand u.s.w. Auswertungszyklen können beispielsweise alle 1 bis 5 Minuten gewählt werden. Der Auswertungszyklus kann jedoch variabel festgelegt werden, beispielsweise in Abhängigkeit von den Zustandscodes oder den Verkehrszuständen. Das gleiche gilt für die Datenübertragungsrate, die beispielsweise in Abhängigkeit von dem ermittelten Zustandscode angewandt wird, beispielsweise bei freiem Verkehrsfluß alle 30 Minuten eine Übertragung bei Mittelwertbildung alle 5 Minuten. Je nach Stöorzustand kann die Übertragungsdichte erhöht werden. Dabei werden die Datenübertragungsraten benachbarter Erfassungsquerschnitte aufeinander abgeglichen.

[0016] Die Meßwerte können fahrspurenbezogen erfaßt werden, was aber nicht zwingend erforderlich ist, es können auch andere Erfassungsquerschnitte definiert werden. Auch ist es grundsätzlich möglich, Fahrzeugtypunterscheidungswerte, also beispielsweise Lkw, Pkw und dergleichen zu erfassen.

[0017] Darüber hinaus wird weiterhin vorgeschlagen, daß Quelle-Ziel-Beziehungen durch die Analyse der Daten aller Erfassungsquerschnitte eines Netzes ermittelt, daß die Daten zur Routensuche, zur Ausgabe von Verkehrsleitungsinformationen ausgewertet, zur Präzisierung statistischen Analysen unterzogen und daß die Daten zur Abgabe von Verkehrsentwicklungsprognosen ausgewertet werden.

[0018] Mit der Erfindung werden Verfahren bereitgestellt, um unterschiedliche Arten und Qualitäten von Verkehrsinformationsdaten zur Verfügung zu stellen. Hauptaufgabe ist es, solche Daten für die Kraftfahrzeugführer aufzubereiten und diesen zweckmäßige Informationen bereitzustellen. Dabei kann es sich beispielsweise um Reisezeitanzeigen, Routenanzeigen, Verkehrsschlußprognosen, Stauanzeigen und dergleichen handeln. In den einzelnen Fahrzeugen werden beispielsweise Informationsdisplays angeordnet, auf welchen die Kraftfahrzeugführer ihre geplanten Routen und die Reisezeitinformationen angezeigt bekommen. Sie können dann beispielsweise unter verschiedenen Alternativen die jeweils schnellste Route wählen. Zusätzlich oder alternativ können Hinweise auf Stauentwicklungen, Wahrscheinlichkeiten in Bezug auf die weitere Entwicklung auf dem bevorstehenden Streckenabschnitt und dergleichen angezeigt werden. Die Anwendungsbreite ist umfangreich.

[0019] Mit der Erfindung wird ein äußerst flexibles Verfahren angegeben, mit welchem unter Verknüpfung unterschiedlichster Verkehrsmodelle ein nahezu netzumfassendes, flächendeckendes Verkehrsinformationssystem aufbaubar ist, welches Daten für unterschiedlichste Informationszwecke liefert. Es können herkömmliche und bereits bekannte Modelle und Verfahren eingesetzt und kombiniert werden. Prognosen können ganglinienbasierte Prognosen an Meßstellen, modellgestützte Prognosen für Abschnitte und Maschen und Ergänzungen nicht meßbarer Effekte unter Verwendung künstlicher Intelligenz sein. Für die Berechnung von Mittelwerten werden übliche Formeln einge-

setzt.

[0020] Die übertragenen Daten können in zwei Berechnungsverfahren unterschiedlicher Komplexität bearbeitet werden. Dabei ist vorgesehen, daß eines der wenigstens zwei Berechnungsverfahren ein einfaches Interpolationsverfahren geringer Komplexität ist. Die Eingangsdaten des Berechnungsverfahrens geringer Komplexität sind Fahrzeuggeschwindigkeit v und Verkehrsstärke q , Ausgangsdaten sind eine Reisegeschwindigkeit und Verkehrsdichte k . Weiterhin ist vorgesehen, daß das Berechnungsverfahren geringer Komplexität zusätzlich eine Stautörmeldung ausgibt. Ein wie beschriebenes Verfahren benötigt nur ein Minimum an Eingangsdaten und kann sehr schnell sehr verlässliche Aussagen über den Verkehrszustand im Bereich eines Meßquerschnittes treffen. Bei der Interpolation wird vereinfachend davon ausgegangen, daß sich alle Fahrzeuge gleich verhalten.

[0021] Ein anderes Berechnungsverfahren kann ein auf der Datenanalyse auf der Basis eines Fundamentaldiagramms basierendes Verfahren hoher Komplexität sein. Ein Fundamentaldiagramm ist eine an sich bekannte, auf einen Meßquerschnitt bezogene Kurve. Die Darstellung ist die Kurve der Verkehrsstärke q über der Belegung k . Die Kurve entspricht in vereinfachter und stark geglätteter Form im wesentlichen einer unsymmetrischen Gaußverteilung und läßt Aussagen über kritische und unkritische Zustände zu. Eingangsdaten des Berechnungsverfahrens hoher Komplexität sind Fahrzeuggeschwindigkeit v , Verkehrsstärke q und Belegung b , Ausgangsdaten eine Reisezeit bezogen auf Reisegeschwindigkeit und Verkehrsdichte k . Weiterhin kann vorgesehen sein, daß das Berechnungsverfahren hoher Komplexität zusätzlich ein Verkehrssituationsstatussignal, wenigstens differenziert nach Frei/Kritisch/Stau ausgibt. Auch dieses zweite Verfahren benötigt nur ein Minimum an Eingangsdaten und kann sehr schnell sehr verlässliche Aussagen über den Verkehrszustand im Bereich eines Meßquerschnittes treffen.

[0022] Die redundante Anwendung von wenigstens zwei Verfahren erhöht erheblich die Sicherheit und ermöglicht eine Überprüfung der Ergebnisse hinsichtlich ihrer Qualität.

[0023] Die vorliegende Erfindung setzt an dieser Stelle ein und bezieht sich auf die Analyse der Daten in Bezug auf größere Abschnitte des Verkehrsnetzes. Es wird vorgeschlagen, daß die übertragenen Daten in wenigstens einem dritten, hochkomplexen Berechnungsverfahren für eine erweiterte Situationserkennung bearbeitet werden. Dabei finden Eingang auch die Ergebnisse der vorhergehenden Berechnungsverfahren. Die hochkomplexen Verfahren der erweiterten Situationserkennung werden erweiterte Bearbeitungsverfahren genannt.

[0024] Mit besonderem Vorteil schlägt die Erfindung vor, daß bei dem erweiterten Bearbeitungsverfahren Fuzzylogik eingesetzt wird, um aus den vorverarbeiteten Daten ein Interpretationssymbol des aktuellen Verkehrsablaufes und eine zugehörige Wahrscheinlichkeit zu ermitteln. Zusätzlich wird mit Vorteil vorgeschlagen, daß die Interpretationssymbole und Wahrscheinlichkeiten mittels einer Sperrmatrix verknüpft werden. Diese erfindungsgemäße Datenanalyse nach der Multi-Modell-Logik hat also ganz besonders brauchbare Ergebnisse, die neben Indikatoren für eine bestimmte Verkehrssituation in Bezug auf einen bestimmten Streckenabschnitt auch eine zugehörige Wahrscheinlichkeit enthalten, so daß also die Zuverlässigkeit der momentanen Situationserkennung als Ergebnis mitgeliefert wird. Damit ergeben sich sehr brauchbare Schaltempfehlungen aus der Situationsinterpretation, die auf verschiedene lokale und streckenbezogene Einzelverfahren aufgesetzt ist.

[0025] Eines der sinnvollerweise vorgeschalteten Einzelverfahren sieht vor, daß mittels einem weiteren erweiterten Bearbeitungsverfahren auf der Basis der an einem Erfassungsquerschnitt ermittelten Daten die Verkehrsflußdaten bis zum nächsten Erfassungsquerschnitt unter Verwendung eines Verkehrsmodells geschätzt, mit den am nächsten Erfassungsquerschnitt ermittelten entsprechenden Daten verglichen und aus den Abweichungen Korrekturwerte ermittelt und in einen nächsten Schätzzyklus eingebracht werden. Mit Vorteil wird vorgeschlagen, daß die Strecke zwischen einem und dem nächsten Erfassungsquerschnitt segmentiert wird. Die Segmentzahl und Segmentlänge ist nicht ohne Einfluß und sind parameterabhängig festlegbar. Weiterhin wird vorgeschlagen, daß die Korrekturwerte als Parameter in das der Schätzung zugrundeliegende Verkehrsmodell eingebracht werden. Zudem ist ein Vorteil der Erfindung, daß die erfassten, ermittelten und geschätzten Werte um die simulierten Werte einer fiktiven Störstelle ergänzt werden. Es ist sinnvoll, daß als fiktive Störstelle eine Verkehrszuflußstelle und/oder eine Verkehrsabflußstelle simuliert wird. Das Verfahren erhält also von vorherein Fehler, die iterativ auf Null gerechnet werden müssen, es sei denn, es liegt tatsächlich eine Störung vor. Mit besonderem Vorteil wird vorgeschlagen, daß das für das erweiterte Bearbeitungsverfahren ein Filterschätzverfahren eingesetzt und weiterhin für das Filterschätzverfahren ein Kalmanlogarithmus verwendet wird. Besonders brauchbar sind die Ergebnisse, wenn das Verkehrsmodell bei Abschnitten mit Anschlußstellen zur Nutzung von Standardganganlinien erweitert wird.

[0026] Mit der Erfindung wird darüber hinaus vorgeschlagen, daß bei einem weiteren erweiterten Bearbeitungsverfahren Fuzzylogik eingesetzt wird. Diese kann gezielt zur Störstellenidentifikation eingesetzt sein. Dabei ist von Vorteil, daß das weitere erweiterte Bearbeitungsverfahren, welches unter Verwendung von Fuzzylogik aus den vorverarbeiteten Daten Störungen ermittelt, dem erweiterten Bearbeitungsverfahren mit Verwendung der Filterschätztechnik vom Datenfluß her betrachtet vorgeschaltet wird.

[0027] Zudem ist vorteilhaft und wichtig, daß das erweiterte Bearbeitungsverfahren, welches unter Verwendung von Fuzzylogik aus den vorverarbeiteten Daten Interpretationssymbole und Wahrscheinlichkeiten ermittelt, dem weiteren erweiterten Bearbeitungsverfahren mit Verwendung der Filterschätztechnik vom Datenfluß her betrachtet nachgeschal-

tet wird.

[0028] Die Erfindung schlägt vor, daß Neuro-Fuzzy-Logik eingesetzt wird.

[0029] Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung eines detailliert erläuterten Beispiels anhand der Figuren der Zeichnung.

[0030] Dabei zeigen

Fig.1 eine schematische Draufsicht auf einen Autobahnabschnitt mit Meßquerschnitten,

Fig.2 eine Darstellung des Verkehrsablaufs am 27.02.,

Fig.3 eine Darstellung der Störindikatoren der untersuchten Verfahren,

Fig.4 eine Auswertung des Kalmanfilter-Störzuflusses, Abschnitt MQ1-MQ3 am 16.02.,

Fig.5 eine Auswertung des Kalmanfilter-Störzuflusses am Meßquerschnitt MQ1 am 16.02.1996,

Fig.6 eine Auswertung des Kalmanfilter-Störzuflusses am Meßquerschnitt MQ3 am 16.02.1996.

[0031] Das folgende Beispiel befaßt sich mit der verkehrstechnischen Bewertung eines neuen Verfahrens mit Hilfe einer Vorher-Nachher-Untersuchung auf der Bundesautobahn A9, zwischen Eching und Kieferngarten (Bild 1). Das dort installierte, konventionelle Verfahren zur Störfallerkennung wurde als Referenz herangezogen. Die realen Verkehrsdaten auf dieser Versuchsstrecke wurden erfaßt, um das (Multi-Modell-Logik) MML-Verfahren off-line zu testen. Zusätzlich wurden Videoaufnahmen durchgeführt, und z.B. polizeiliche Unfallprotokolle analysiert, um eine objektive Überprüfung herzustellen. Die folgende Erläuterung beschreibt die methodische Vorgehensweise der verkehrstechnischen Bewertung, stellt die erzielten Ergebnisse dar, und leitet die Schlußfolgerung des Beispiels ab.

Bewertungsmethoden

Aufgaben und Zielsetzung

Ermittlung der verkehrstechnischen Merkmale der Verfahren

[0032] Die relevanten verkehrstechnischen Merkmale der zu vergleichenden Verfahren sollten dabei über geeignete Indikatoren ermittelt werden.

Vergleich des MML-Verfahrens mit dem konventionellen Verfahren

[0033] Das MML-Verfahren zur erweiterten Situationserkennung sollte dabei mit dem konventionellen Verfahren verglichen werden, hinsichtlich der definierten Bewertungsindikatoren.

Ermittlung des topologischen Anwendungsbereichs

[0034] Der geeignete topologische Anwendungsbereich des MML-Verfahrens sollte, soweit möglich, abgeschätzt werden. Insbesondere sollte dabei geprüft werden, wie sich die Vergrößerung des Abstands zwischen benachbarten Meßquerschnitten auf die Detektionsqualität der zu vergleichenden Verfahren auswirken.

Darstellung des MML-Verfahrens

[0035] Das prinzipielle Konzept des MML-Verfahrens ist die Integration verschiedener, in der letzten Zeit entwickelter neuer Methoden zur automatischen Situationserkennung. Da die einzelnen Methoden einander ergänzen können, ist zu erwarten, daß die Qualität des integrierten Verfahrens zur erweiterten Situationserkennung (ESE) insgesamt erhöht wird.

[0036] Das Verfahren ESE basiert im wesentlichen auf den Bausteinen

- Fuzzy-Logik zur automatischen Störfallerkennung (FL)
- erweitertes Kalmanfilter zur dynamischen Zustandsschätzung (KF)

- lokale Verfahren zur Stoßwellendetektion (LV)

die mit Hilfe einer übergreifenden Multi-Model-Logik (MML) im Verbund situationsabhängig ausgewertet werden.

[0037] Im Gegensatz zum konventionellen Verfahren (KV), ist das MML-Verfahren in der Lage, die folgenden kritischen Situationen zu erkennen und zu unterscheiden:

- Verkehrstechnischer Engpaß

[0038] Als verkehrstechnischer Engpaß ist eine Situation definiert, bei der sich die Anzahl der verfügbaren Fahrstreifen durch ein verkehrstechnisches Ereignis, z.B. einen Unfall oder ein liegengebliebenes Fahrzeug, reduziert, und sich infolgedessen ein Stau innerhalb des Abschnitts gebildet hat.

- Baulicher Engpaß

[0039] Hierbei handelt es sich um eine Situation, bei der die Anzahl der Fahrstreifen durch bauliche Einschränkungen reduziert ist.

- Verdichtung

[0040] Hierbei handelt es sich um die bereichsweise Verdichtung in einem Abschnitt.

- Einwandernder Stau

[0041] Es handelt sich dabei um Stauungen, die vom stromabwärts liegenden Abschnitt in den betrachteten Abschnitt einwandern. Im betrachteten Abschnitt sind daher nur die Wirkungen zu erkennen, die Störungsursache liegt in einem stromabwärts liegenden Abschnitt.

- Zugestauter Abschnitt

[0042] Ein Abschnitt ist dann zugestaut wenn die Verkehrsdichte im gesamten Abschnitt eine definierte Größe überschreitet und die Geschwindigkeit an den beiden Abschnittsgrenzen eine definierte Größe unterschreitet.

- Stockender Verkehr

[0043] Dieser bezeichnet Situationen mit Unruhe im Verkehrsablauf.

Definition der Bewertungsindikatoren

[0044] Entsprechend den Zielsetzungen sind zur Abschätzung der technischen Merkmale des MML-Verfahrens sowie zum Vergleich des Verfahrens mit dem konventionellen Verfahren die folgenden Indikatoren definiert und verwendet worden:

- **Erkennungszeit (EZ):** Zeitspanne zwischen Anfang einer relevanten Situation und Erkennung der Situation. Im Fall, daß der Anfangszeitpunkt einer Situation nicht bekannt ist, wird die Differenz zwischen Erkennungszeiten einzelner Systeme als Basis zum Vergleich verwendet.
- **Detektionsrate (DR):** Verhältnis der Anzahl der erkannten Störfälle/Situationen zur gesamten Anzahl der Störfälle/Situationen
- **Fehlalarmquote (FQ):** Verhältnis der Anzahl der Fehlalarme zur gesamten Anzahl der Alarme.

Test Methode

[0045] Im Rahmen der vorliegenden Bewertung wurden die folgenden Ansätze zum Testen des MML-Verfahrens angewandt:

- Feldversuch zur Erfassung der realen Verkehrsdaten und der Systemdaten des konventionellen Verfahrens zur Störfallerkennung,

- Off-Line-Test mit den erfaßten realen Verkehrsdaten zur Erfassung der Systemdaten des MML-Verfahrens, um einen echten Vergleich mit dem konventionellen Verfahren zu ermöglichen,
- Statistische Analyse zur Ableitung der statistisch gesicherten Ergebnisse.

[0046] Um die definierten Merkmale der untersuchten Verfahren realistisch zu ermitteln und zu vergleichen, ist es notwendig, eine objektive **Beurteilungsbasis**, die die Realität widerspiegelt, zu bilden und anzuwenden. Nur mit einer solchen objektiven Beurteilungsbasis ist ein konsistenter Systemvergleich möglich. Aus diesem Grund wurden auch die relevanten Unfallprotokolle der Polizei analysiert und Videoaufnahmen durchgeführt.

Datenerfassung

Beschreibung der Meßstrecke

[0047] Zur Erfassung der erforderlichen Daten wurde die dreispurige Strecke der A9 zwischen Eching (KM 514,830) und Kieferngarten (KM 525,000), Richtung München als Versuchsfeld einbezogen (Bild 1). Mit vier Ausfahrten (Eching, Garching-Nord, Garching-Süd und Kieferngarten) und dem Autobahnknotenpunkt München-Nord ist diese Strecke überdurchschnittlich belastet. Insbesondere sind Staus oft während der Morgenspitzenstunden zu beobachten.

[0048] Um die Verkehrssituationen im Bezug auf einzelne Abschnitte zu beschreiben, wurde diese Strecke in 10 Abschnitte AS1 ..AS10 zwischen elf Meßquerschnitten MQ1..MQ11 aufgeteilt (Tabelle 1)

Tabelle 1

Festlegung der Abschnitte			
Meßquerschnitt	MQ- Kilometer	Abschnitt	Abschnitts -länge [m]
MQ1	514,830		
		AS1	1270
MQ2	516,100		
		AS2	2560
MQ3	518,660		
		AS3	670
MQ4	519,330		
		AS4	1500
MQ5	520,830		
		AS5	340
MQ6	521,170		
		AS6	970
MQ7	522,140		
		AS7	630
MQ8	522,770		
		AS8	1240
MQ9	524,010		
		AS9	1200
MQ10	525,210		
		AS10	400
MQ11	525,610		

Beschreibung der erfaßten Daten

[0049] Die zu erfassenden Daten und Informationen sind in zwei Gruppen unterteilt worden:

- Verkehrsdaten und
- Systemdaten.

[0050] Die Verkehrsdaten wurden durch Messung, Videoaufnahme, oder Unfallprotokoll der Polizei erfaßt.

[0051] Die Systemdaten, die die Systemreaktionen auf eine definierte Situation charakterisieren, wurden durch eine Serie von Off-Line-Tests (MML- oder FL-Verfahren) oder durch automatische Registrierung (Konventionelles Verfahren) erfaßt.

[0052] Im folgenden sind die erforderlichen Daten/Informationen im einzelnen beschrieben.

• Unfallprotokoll

[0053] Das Unfallprotokoll der Polizei wurde bei der Ermittlung der definierten Systemmerkmale als eine objektive Beurteilungsbasis benutzt. Ferner wurde dies als eine Basis für die Auswahl von Verkehrsdaten verwendet. (Wegen der einfachen Unfalldarstellung konnten die verfügbaren Protokolle jedoch nur begrenzt eingesetzt werden.)

• Videoaufnahme

[0054] Die Videoaufnahme ist eine weitere Informationsquelle zur Bildung der Beurteilungsbasis (z.B. Bestätigung eines vom System erkannten Störfalls). Eine geeignete Videoaufnahme kann ausreichende und zuverlässige Informationen über die realen Verkehrssituationen liefern. In Absprache mit dem Auftraggeber wurden deswegen die Videoaufnahmen an zwei Stellen für mehrere Tage durchgeführt.

• Meßdaten

[0055] Die Meßdaten (Minutenwerte von **Geschwindigkeit** und **Verkehrsstärke**) wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit verwendet, um die Off-Line-Tests durchzuführen. Dabei wurden zur Ermittlung der definierten Merkmale der zu vergleichenden Verfahren gleiche Verkehrsdaten zugrunde gelegt. Dadurch ist ein echter Vergleich der Verfahren möglich. Die Meßdaten sind für insgesamt 22 Tage (siehe Tabelle 3) erfaßt worden.

• Systemdaten

[0056] Die Systemdaten dienen zur Ermittlung der Systemreaktionen auf Verkehrssituationen. Insbesondere sind z.B. Zeitpunkt der Auslösung bzw. der Auflösung jedes Alarms und Typ der erkannten Situationen zu erfassen.

[0057] Die Datenerfassung wurde im wesentlichen von der Firma Siemens durchgeführt. In der Tabelle 2 ist ein Überblick über die erfaßten Daten gegeben.

Tabelle 2

Überblick über die erfaßten Daten	
Datentyp	Erfaßte Daten
Meßdaten	02.05., 03.05, 13.05., 19.05., 24.05., 27.05., 29.05, 02.06, 08.06., 14.06., 22.06., 25.06., 29.06., 02.07., 25.08., 02.09., 04.10., 09.10., 10.10., 16.10.-31.12. 01.01.-29.02.

Tabelle 2 (fortgesetzt)

Überblick über die erfaßten Daten	
Datentyp	Erfaßte Daten
FL-Systemdaten	02.05., 03.05, 13.05., 19.05., 24.05., 27.05., 29.05, 02.06, 08.06., 14.06., 22.06., 25.06., 29.06., 02.07., 25.08., 02.09., 04.10., 09.10., 10.10., 16.10.-31.12. 01.01.-29.02.
MML-Systemdaten	16.10-31.12 01.01.-29.02.
Unfallprotokoll der Polizei	Mai-Dez. Jan.-April
Videoaufnahme	19.05., 29.05. (Kilometer 524,350) 26.-27.06. (Kilometer 521,400) 26.-28.02. (Kilometer 521,400)

Analyse

Vorgehensweise zur Datenauswertung

[0058] Ein spezifisches Verfahren wurde zur automatischen Ermittlung der folgenden Parameter entwickelt:

- Erkennungsuhrzeit der einzelnen Verfahren
- Differenz der Erkennungszeit zwischen dem MML- (oder FL-)Verfahren und dem konventionellen Verfahren
- Anzahl der zusätzlich gewarnten Fahrzeuge durch das MML- oder das FL-Verfahren. (Fahrzeuge, die während der Differenzzeit zwischen MML-Erkennung und konventioneller Erkennung den stromauf liegenden Querschnitt überfahren haben.)

[0059] Außerdem wurden die relevanten Unfallprotokolle und Videoaufnahmen analysiert.

[0060] Wegen der großen Menge der vorhandenen Daten war es notwendig, einen Kompromiß zwischen dem Aufwand zur Datenauswertung und der erforderlichen statistischen Sicherheit zu erzielen. Aus diesem Grund wurden die vorhandenen Daten Tag für Tag ausgewertet, und eine ständige Prüfung über die Notwendigkeit einer weiteren Datenauswertung durchgeführt. In Tabelle 3 ist angegeben, für welche Tage die entsprechenden Daten ausgewertet worden sind.

Tabelle 3

Überblick über die ausgewerteten Daten					
Tage	KV	FL	MLL	Unfallprotokoll	Videoaufnahme
02.05.	x	x		x	
27.05.	x	x		x	
02.06.	x	x		x	
08.06.	x	x		x	
14.06.	x	x		x	
22.06.	x	x		x	
25.06.	x	x		x	
29.06.	x	x		x	
02.07.	x	x		x	
25.08.	x	x		x	
02.09.	x	x		x	
04.10.	x	x		x	
09.10.	x	x		x	
10.10.	x	x		x	
07.11.	x	x	x	x	
29.11.	x	x	x	x	
13.02.	x	x	x		
15.02.	x	x	x		
16.02.	x	x	x	x	
26.02.	x	x	x	x	x
27.02.	x	x	x		x
28.02.	x	x	x		x

x: Daten vorhanden

Plausibilitätsprüfung

[0061] Vor einer detaillierten statistischen Analyse der Ergebnisse wurde eine Plausibilitätsprüfung durchgeführt, um mögliche Meßfehler zu beseitigen. Im Zweifelsfall wurden die relevanten Videoaufnahmen, die Unfallprotokolle der Polizei und/oder die Meßdaten sorgfältig analysiert, um die Gefahr einer subjektiven Entscheidung zu minimieren. Figur 2 stellt als Beispiel den Verkehrsablauf am 27.02. dar. Solche Abbildungen wurden zusammen mit den Videoaufnahmen und Unfallprotokollen als Grundlage einer genaueren Analyse der Störungen benutzt.

[0062] In Figur 3 ist als ein Beispiel der Verlauf der Störindikatoren STk, STf, STkal bzw. STm des konventionellen, FL-, Kalmanfilter-, bzw. MML- Verfahrens und der EZk, EZf bzw. EZm: Erkennungszeit des konventionellen, FL- bzw. MML-Verfahrens bei einer Störung dargestellt.

[0063] Nach einer Plausibilitätsprüfung wurden insgesamt 60 Ereignisse zur weiteren statistischen Analyse registriert (Tabelle 4).

Statistische Analyse

[0064] Auf der Basis der ausgewerteten Parameter wurde eine statistische Analyse durchgeführt, um die Güte der untersuchten Verfahren in Bezug auf die Störfallerkennung auch in statistischer Hinsicht abzusichern und zu vergleichen. Insbesondere wurden die folgenden statistischen Methoden angewandt:

- Abschätzung des Konfidenzintervalls für die ermittelten Mittelwerte und
- T-Test zur Prüfung, ob die Verbesserung der Störfallerkennung durch das MML-Verfahren signifikant ist.

5 Darstellung der Ergebnisse

Überblick über die ausgewerteten Ereignisse

[0065] In Tabelle 4 ist ein Überblick über die ausgewerteten Ereignisse gegeben.

Tabelle 4: Ausgewertete Ereignisse

Er- eig- nis	Datum	Ab- schn itt	Erken- nung durch KV	Erken- nung durch MML	EZk- EZm [Min]	Zusätz- liche ge- warnte FZ	Staube- ginn nach Video- aufnahm e	Unfall uhrzeit nach Polizei - protoko	Unfallort nach Po- lizei- protokoll
--------------------	-------	--------------------	-------------------------------	--------------------------------	--------------------------	---	---	--	--

EP 0 903 711 A2

								11	
5	1	07.11	AS9	7:23	6:57	26	1405	*	*
	2	07.11	AS8	7:26	6:58	28	1475	*	*
	3	07.11	AS7	7:38	7:35	3	227	*	*
10	4	07.11	AS6	7:45	7:19	26	1822	*	*
	5	07.11	AS5	7:47	7:43	4	311	*	*
	6	07.11	AS6	8:34	8:21	13	887	*	*
15	7	07.11	AS5	8:37	8:14	23	1629	*	*
	8	07.11	AS7	8:59	9:01	-2	-128	*	9:02 AS7 (522,450)
20	9	07.11	AS6	9:07	8:58	9	508	*	9:02 AS7 (522,450)
	10	07.11	AS5	9:11	9:06	5	281	*	9:02 AS7 (522,450)
25	11	07.11	AS4	9:21	9:10	11	645	*	9:02 AS7 (522,450)
	12	07.11	AS3	9:25	9:20	5	330	*	9:02 AS7 (522,450)
30	13	07.11	AS1	-	9:39	~	~	*	9:02 AS7 (522,450)
	14	07.11	AS5	10:33	10:29	4	262	*	*
35	15	07.11	AS3	10:36	10:31	5	238	*	10:31 AS4 (520,000)
	16	07.11	AS1	11:13	10:58	15	506	*	10:31 AS4 (520,000)
40	17	07.11	AS4	-	13:09	~	~	*	13:15 AS4 (520,800)
	18	07.11	AS5	13:12	13:09	3	137	*	13:15 AS4 (520,800)
45	19	07.11	AS3	-	13:12	~	~	*	13:15 AS4 (520,800)
50	20	29.11	AS9	6:48	6:40	8	446	*	*
	21	29.11	AS7	7:19	7:14	5	345	*	*

55

EP 0 903 711 A2

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

22	29.11	AS6	7:31	7:18	13	1959	*	*	*
23	29.11	AS5	7:33	7:30	3	238	*	*	*
24	29.11	AS4	7:42	7:31	11	766	*	*	*
25	29.11	AS4	-	-	~	~	*	8:14	AS4 (519,500)
26	29.11	AS5	8:46	8:43	2	189	*	*	*
27	29.11	AS6	-	-	~	~	*	13:40	AS5 (521,000)
28	13.02	AS9	6:53	6:41	12	634	*	*	*
29	13.02	AS7	7:03	7:00	3	189	*	*	*
30	15.02	AS9	7:04	6:43	21	1015	*	*	*
31	15.02	AS7	7:42	7:38	4	292	*	*	*
32	15.02	AS5	7:53	7:49	4	310	*	*	*
33	15.02	AS6	7:59	7:41	18	1134	*	*	*
34	15.02	AS4	8:10	7:49	21	1377	*	*	*
35	15.02	AS3	8:14	8:09	5	243	*	*	*
36	16.02	AS4	7:05	6:58	7	415	*	*	*
37	16.02	AS3	7:11	6:54	17	1054	*	*	*
38	16.02	AS1	7:25	7:10	15	783	*	*	*
39	16.02	AS1	11:10	11:02	8	487	*	10:30	AS1 (515,480)
40	16.02		12:39	12:29	10	632	*	12:52	AS6 (522,000)
41	16.02		14:18	14:11	7	469	*	*	*
42	16.02	AS5	15:25	15:15	10	789	*	*	*
43	16.02	AS6	15:25	15:13	12	854	*	*	*
44	16.02	AS4	15:53	15:46	7	566	*	*	*
45	16.02	AS3	16:01	15:53	8	579	*	*	*
46	16.02		16:12	16:05	7	367	*	*	*
47	16.02	AS5	17:08	16:54	14	1030	*	*	*
48	16.02	AS1	18:04	18:10	-6	-218	*	*	*
49	16.02	AS5	18:40	18:33	7	535	*	*	*
50	26.02	AS9	6:43	6:17	26	1612	7:04	*	~

55

51	26.02	AS6	6:53	6:49	4	272	7:04	*	~
52	26.02	AS7	7:00	6:50	10	488	7:04	*	~
53	26.02	AS4	7:03	6:47	16	1160	7:04	*	~
54	26.02	AS3	7:06	7:01	5	317	7:04	*	~
55	26.02	AS10	7:14	-	~	~	7:04	*	~
56	27.02	AS9	7:15	7:08	7	389	7:20	*	~
57	27.02	AS7	7:34	7:40	-6	-443	7:20	*	~
58	28.02	AS7	7:14	7:14	0	0	7:09	*	~
59	28.02	AS6	7:18	7:13	5	349	7:09	*	~
60	28.02	AS4	7:35	7:19	16	1089	7:09	*	~

Summe:

514	33247
-----	-------

Erläuterung:

KV: Konventionelles Verfahren

MML: Multi-Model-Logik-Verfahren

EZk bzw. EZm: Erkennungszeit des konventionellen bzw. Multi-Model-Logik-Verfahrens

*: Daten nicht vorhanden

-: Ereignis nicht erkannt

~: Ermittlung der Ergebnisse nicht möglich

Mittlere Differenz in den Erkennungszeiten

[0066] Die mittlere Differenz in den Erkennungszeiten zwischen dem konventionellen Verfahren und dem MML-Verfahren ist wie folgt ermittelt worden, auf der Basis der in Tabelle 4 aufgelisteten Ereignisse:

$$MDE = \sum (EZk - EZm) / N = 9,52 \text{ Min}$$

wobei

MDE: Mittelwert der Differenz in den Erkennungszeiten

N = 54: Anzahl der betrachteten Ereignisse.

[0067] Der Erwartungswert der Differenz der Erkennungszeiten liegt mit einem **Konfidenzniveau von 95%** in dem Bereich zwischen **7,45** und **11,59** Minuten.

[0068] Die mittlere Anzahl der zusätzlich gewarnten Fahrzeuge ist entsprechend wie folgt ermittelt worden:

$$MAF = 616 \text{ Fz}$$

wobei

MAF: Mittlere Anzahl der zusätzlich gewarnten Fahrzeuge.

[0069] Das MML-Verfahren kann damit die Erkennungszeit des konventionellen Verfahrens wesentlich verkürzen. Nach der vorliegenden Untersuchung können durch das MML-Verfahren bei jedem Störfall durchschnittlich 616 Fahrzeuge (potentielle Stautreffer) zusätzlich gewarnt werden, was eine beträchtliche Erhöhung der Verkehrssicherheit bedeutet. Die frühere Erkennung der Störfälle kann ferner potentiell die Stausituation verbessern, falls z.B. ein entsprechendes Verkehrsleit- oder -informationssystem zur Wechselwegweisung, Routenempfehlung oder auch zur Pre-Trip-Reiseplanung verfügbar ist.

Vergleich der Detektionsraten

[0070] Die Detektionsrate der Verfahren wurde ebenfalls auf der Basis der in Tabelle 4 aufgelisteten Ereignisse verglichen. Bei der Ermittlung der Detektionsrate wurden die nicht erkannten Störfälle nach den relevanten Unfallprotokollen oder Videoaufnahmen festgestellt. Die mittlere Detektionsrate ist wie folgt jeweils für das konventionelle und das MML-Verfahren ermittelt worden:

$$DR_k = 91,6 \%$$

bzw.

$$DR_m = 95 \%$$

wobei

DR_k bzw. DR_m: Detektionsrate des konventionellen bzw. des MML-Verfahrens.

[0071] Nach der vorliegenden Untersuchung haben die beiden Verfahren eine akzeptable Detektionsrate. Eine höhere Detektionsrate des MML-Verfahrens im Vergleich zum konventionellen Verfahren ist bestätigt worden.

Vergleich der Fehlalarmquoten

[0072] Dieses Systemmerkmal konnte im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wegen der begrenzten Möglichkeiten zur Datenerfassung nicht zufriedenstellend ermittelt werden. Eine genaue Untersuchung dieser Fragestellung benötigt eine zeitlich lückenlose Beobachtung der realen Verkehrssituation, z.B. durch Videoaufnahme. Diese Voraussetzung konnte in der vorliegenden Arbeit jedoch nicht erfüllt werden.

[0073] Für den Bereich der durchgeführten Videoaufnahmen (Tabelle 3) wurde allerdings kein Fehlalarm der untersuchten Verfahren festgestellt; das heißt, jede Alarmmeldung der Verfahren entsprach auch einer tatsächlichen Verkehrsstörung.

Systemverhalten bei vergrößertem Abstand zwischen benachbarten Meßquerschnitten

[0074] Um die Kosten der Verkehrsdatenerfassung zu reduzieren, ist es anzustreben, den notwendigen Abstand zwischen benachbarten Meßquerschnitten so zu wählen, daß ein vernünftiger Kompromiß zwischen Anzahl Meßquerschnitte einerseits und erzielbarer Detektionsqualität des Systems andererseits erreicht wird. Um Hinweise zu erhalten, ob das MML-Verfahren auch bei vergrößertem Abstand der Meßquerschnitte mit ausreichender Zuverlässigkeit arbeitet, wurde eine entsprechende strichprobenhafte Überprüfung vorgenommen, vgl. Tabelle 5.

Tabelle 5

Darstellung der Abschnitte bei vergrößertem Abstand zwischen Meßquerschnitten		
Meßquerschnitt	MQ-Kilometer	Abschnittslänge [m]
MQ1	514,830	

Tabelle 5 (fortgesetzt)

Darstellung der Abschnitte bei vergrößertem Abstand zwischen Meßquerschnitten		
Meßquerschnitt	MQ-Kilometer	Abschnittslänge [m]
		3830
MQ3	518,660	
		2170
MQ5	520,830	
		1940
MQ8	522,770	
		1240
MQ9	524,010	
		1600
MQ11	525,610	

[0075] Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung war es allerdings nicht möglich, das komplette MML-Verfahren für die vergrößerten Abstände zu testen, da hierzu eine entsprechende Neuparametrierung der Einzelverfahren sowie der MML-Logik vorzuschalten wäre. Es wurde deswegen entschieden, beispielhaft den Kalmanfilter-Störzufluß (KS) zu analysieren und das Systemverhalten mit Hilfe dieses Indikators abzuschätzen. Entsprechend dieser Entscheidung wurde der Kalmanfilter-Störzufluß beim vorhandenen sowie vergrößerten Abstand für drei Tage (07.11 , 16.02 und 28.02) ausgewertet und analysiert. Dabei wurden 15 vom MML-Verfahren bei normalem Abstand erkannte Störungen betrachtet, und der zeitliche Verlauf des Kalmanfilter-Störzuflusses bei jeder Störung dargestellt. In Fig. 4 ist die Auswertung des Kalmanfilter-Störzuflusses im Abschnitt MQ1-MQ3 am 16.02. dargestellt.

'Störung erkannt...': Erkennungszeit des MML-Verfahrens, normaler Abstand

KALAB : Kalmanfilter Störzufluß, normaler Abstand

KALAB2 : Kalmanfilter Störzufluß, vergrößerter Abstand nach Tabelle 5

[0076] Da ein Schwellenwert des Kalmanfilter-Störzuflusses zur Erkennung einer Störung noch nicht festgelegt war (fehlende Neuparametrierung, s.o.) wurden Erfahrungswerte (300 bis 700 Fz/h) als potentielle Schwellen definiert. In Tabelle 6 sind die Ergebnisse der Analyse dargestellt.

Tabelle 6

Reaktion des Kalmanfilter-Störzuflusses (KS) bei vergrößertem Abstand zwischen den Meßquerschnitten							
Abschnitt	Datum	Störung durch MML erkannt (norm. Abstd.)	KS>30 0 um	KS>40 0 um	KS>50 0 um	KS>60 0 um	KS>70 0 um
MQ1-MQ3	07.11	8:47	8:45	-	-	-	-
MQ1-MQ3	07.11	9:39	9:40	9:40	9:40	9:40	9:40
MQ1-MQ3	07.11	-	9:11	-	-	-	-
MQ1-MQ3	07.11	-	9:23	-	-	-	-
MQ1-MQ3	16.02	6:15	6:17	6:17	6:17	6:17	6:17
MQ1-MQ3	16.02	-	6:52	6:52	6:52	6:53	6:53

Tabelle 6 (fortgesetzt)

Reaktion des Kalmanfilter-Störzuflusses (KS) bei vergrößertem Abstand zwischen den Meßquerschnitten							
Abschnitt	Datum	Störung durch MML erkannt (norm. Abstd.)	KS>30 0 um	KS>40 0 um	KS>50 0 um	KS>60 0 um	KS>70 0 um
5							
10							
	MQ1-MQ3	28.02	6:53	-	-	-	-
	MQ1-MQ3	28.02	-	7:36	7:36	7:36	-
	MQ1-MQ3	28.02	7:55	-	-	-	-
15							
	MQ3-MQ5	07.11	-	6:02	6:03	6:04	6:07
	MQ3-MQ5	07.11	6:31	6:29	6:29	6:30	-
	MQ3-MQ5	16.02	6:03	6:05	6:05	6:05	-
	MQ3-MQ5	16.02	6:54	-	-	-	-
20							
	MQ3-MQ5	16.02	8:21	8:18	8:19	8:20	8:21
	MQ3-MQ5	16.02	-	8:59	8:59	8:59	-
	MQ3-MQ5	28.02	6:03	6:12	6:13	6:14	6:16
25							
	MQ3-MQ5	28.02	-	6:32	6:32	6:32	6:32
	MQ3-MQ5	28.02	6:54	-	-	-	-
	MQ3-MQ5	28.02	8:21	8:23	8:24	8:30	8:30
	MQ9-MQ11	16.02	-	6:10	6:11	6:11	-
30							
	MQ9-MQ11	16.02	6:24	6:28	-	-	-
	MQ9-MQ11	16.02	-	6:38	6:43	6:49	6:51
	MQ9-MQ11	07.11	6:31	6:38	-	-	-
35							
	MQ9-MQ11	07.11	6:57	6:55	6:56	6:57	6:58
							7:00

[0077] Die Ergebnisse der Analyse zeigen, daß in den exemplarisch betrachteten Situationen von den 15 Störfällen, die das MML-Verfahren bei normalem Abstand erkannte, vom Kalmanfilter 11 auch bei größerem Abstand etwa zeitgleich detektiert werden (dies entspricht einer Detektionsrate von ca. 73 %); weiterhin erkennt das Verfahren 9 andere kritische Verkehrszustände, die aus den Basisinformationen zwar nicht als Störfall eingeordnet sind (Polizeimeldung fehlt, keine Detektion durch konventionelles oder MML-Verfahren), aufgrund der Datenlage aber eindeutig Situationen mit kritischem Verkehrsablauf entsprechen. (Diese Fälle wurden bei den kurzen Abschnittslängen vom MML-Verfahren in der übergeordneten Logik offensichtlich aussortiert, da sie nicht eindeutig dem Muster einer vordefinierten charakteristischen Verkehrssituation zuordbar waren.) Bezogen auf die gesamte Stichprobe ergibt sich eine Detektionsrate von ca. 83 %.

[0078] Bezüglich der mittleren Erkennungszeit läßt sich feststellen, daß diese bei den in beiden Fällen detektierten Situationen im Mittel ca. 1,6 Minuten länger wird, als bei kürzerem Abstand mit MML-Verfahren.

[0079] Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß eine zuverlässige Detektion der schweren Verkehrsstörungen sowie kritischer, instabiler Verkehrsabläufe auch bei vergrößertem Meßquerschnittsabstand möglich ist. Die Detektionszeiten erhöhen sich dabei in Abhängigkeit vom Verkehrszustand geringfügig. Allerdings sollten die Ergebnisse des Kalmanfilters möglichst durch eine Nachbearbeitung (MML-Verfahren) ergänzt und bezüglich ihrer Zuordnung zu Verkehrssituationen abgesichert werden. Dies wäre durch entsprechende Neuparametrierung des MML-Verfahrens problemlos zu erreichen.

[0080] Die Beispielergebnisse weisen eine eindeutig höhere Detektionsqualität des MML-Verfahrens gegenüber dem konventionellen Verfahren nach. Insbesondere konnten die folgenden Ergebnisse ermittelt werden:

- Die **Erkennungszeit** konnte bei der betrachteten Stichprobe von 60 Verkehrsstörungen im Durchschnitt um **9,52 Minuten** reduziert werden. Bei den aufgetretenen Verkehrsstärken bedeutet das, daß bei einem Störfall auf der

Autobahn im Durchschnitt **616 Fahrzeuge** (potentielle Stautreffer) zusätzlich hätten gewarnt werden können.

- Gleichzeitig konnte auch die Detektionsrate durch das MML-Verfahren verbessert werden. (Von den 60 betrachteten Verkehrsstörungen wurden lediglich 3 nicht erkannt, dies entspricht einer **Detektionsrate von 95%**, gegenüber 91% mit konventionellem Verfahren).
- Die Fehlalarmquote konnte wegen der begrenzten Möglichkeit zur Datenerfassung nicht zufriedenstellend ermittelt werden. Während der Dauer der durchgeführten Videoaufnahmen wurde jedoch kein Fehlalarm des MML-Verfahrens festgestellt; das heißt, jede Alarmmeldung des Verfahrens entsprach auch einer tatsächlichen Verkehrsstörung.
- Das Verhalten des MML-Verfahrens bei vergrößertem Abstand zwischen benachbarten Meßquerschnitten wurde mit Hilfe eines der Basismodule (dem Kalmanfilter zur Zustandsschätzung) grob abgeschätzt. (Eine detaillierte Untersuchung war aufgrund der dafür zunächst erforderlichen Neuparametrierung im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich.) Dabei konnte nach den ersten Ergebnissen ein zufriedenstellendes Verhalten des Kalmanfilters auch bei größerem Abstand der Meßquerschnitte bestätigt werden.

[0081] In Fig. 5 ist die Auswertung des Kalmanfilter-Störzuflusses am Meßquerschnitt MQ1 am 16.02.1996 dargestellt.

[0082] In Fig. 6 ist die Auswertung des Kalmanfilter-Störzuflusses am Meßquerschnitt MQ3 am 16.02.1996 dargestellt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung von auf Straßenstrecken, insbesondere Autobahnen, bezogene Verkehrsinformationen, wobei mittels ortsfester Detektoren lokale Erfassungsquerschnitte gebildet, verkehrsbezogene Meßwerte erfaßt, mittels lokaler Rechner vorverarbeitet und auf ein vorgegebenes Datenprotokoll normiert, aggregiert und per drahtloser Übermittlung an eine übergeordnete Datenverarbeitungsanlage übertragen werden, wobei die übertragenen Daten in wenigstens einem Berechnungsverfahren zur Ermittlung von Verkehrsinformationen bearbeitet werden, dessen Eingangsdaten wenigstens Fahrzeuggeschwindigkeit v und Verkehrsstärke q sind und das als Ausgangsdaten wenigstens Reisegeschwindigkeit und Verkehrsdichte k an einem Erfassungsquerschnitt hervorbringen kann, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Daten anschließend in wenigstens einem komplexen erweiterten Bearbeitungsverfahren zur Ermittlung von auf Strecken bezogenen Verkehrsinformationen weiterverarbeitet werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei dem erweiterten Bearbeitungsverfahren Fuzzylogik eingesetzt wird, um aus den vorverarbeiteten Daten ein Interpretationssymbol des aktuellen Verkehrsablaufes und eine zugehörige Wahrscheinlichkeit zu ermitteln.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Interpretationssymbole und Wahrscheinlichkeiten mittels einer Sperrmatrix verknüpft werden.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß mittels einem weiteren erweiterten Bearbeitungsverfahren auf der Basis der an einem Erfassungsquerschnitt ermittelten Daten die Verkehrsflußdaten bis zum nächsten Erfassungsquerschnitt unter Verwendung eines Verkehrsmodells geschätzt, mit den am nächsten Erfassungsquerschnitt ermittelten entsprechenden Daten verglichen und aus den Abweichungen Korrekturwerte ermittelt und in einen nächsten Schätzzyklus eingebracht werden.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Strecke zwischen einem und dem nächsten Erfassungsquerschnitt segmentiert wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Korrekturwerte als Parameter in das der Schätzung zugrundeliegende Verkehrsmodell eingebracht werden.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß die erfassten, ermittelten und geschätzten Werte um die simulierten Werte einer fiktiven Störstelle ergänzt werden.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß als fiktive Störstelle eine Verkehrszuflußstelle und/oder eine Verkehrsabflußstelle simuliert wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 4 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß für das erweiterte Bearbeitungsverfahren ein Filterschätzverfahren eingesetzt wird.
- 5 10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß für das Filterschätzverfahren ein Kalmannalgorithmus verwendet wird.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 4 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Verkehrsmodell bei Abschnitten mit Anschlußstellen zur Nutzung von Standardganglinien erweitert wird.
- 10 12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei einem weiteren erweiterten Bearbeitungsverfahren Fuzzylogik eingesetzt wird.
13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß das weitere erweiterte Bearbeitungsverfahren, welches unter Verwendung von Fuzzylogik aus den Vorverarbeiteten Daten Störungswahrscheinlichkeiten ermittelt, 15 dem erweiterten Bearbeitungsverfahren mit Verwendung der Filterschätztechnik vom Datenfluß her betrachtet vorgeschaltet wird.
14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß das erweiterte Bearbeitungsverfahren, welches unter Verwendung von Fuzzylogik aus den Vorverarbeiteten Daten Interpretationssymbole und Wahrscheinlichkeiten ermittelt, dem weiteren erweiterten Bearbeitungsverfahren mit Verwendung der Filterschätztechnik vom Datenfluß her betrachtet nachgeschaltet wird. 20
15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß Neuro-Fuzzy-Logik eingesetzt wird. 25
16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Meßwerte fahrspurenbezogen erfaßt werden.
17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Meßwerte Fahrzeugtypunterscheidungswerte erfaßt werden. 30
18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Daten zur Routensuche ausgewertet werden.
- 35 19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Daten zur Ausgabe von Verkehrsleitungsinformationen ausgewertet werden.
20. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Daten zur Abgabe von Verkehrsentwicklungsprognosen ausgewertet werden. 40
21. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Daten zur Ausgabe von Reisezeitinformationen ausgewertet werden.
22. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Daten zur Ausgabe von Stauinformationen ausgewertet werden. 45

50

55

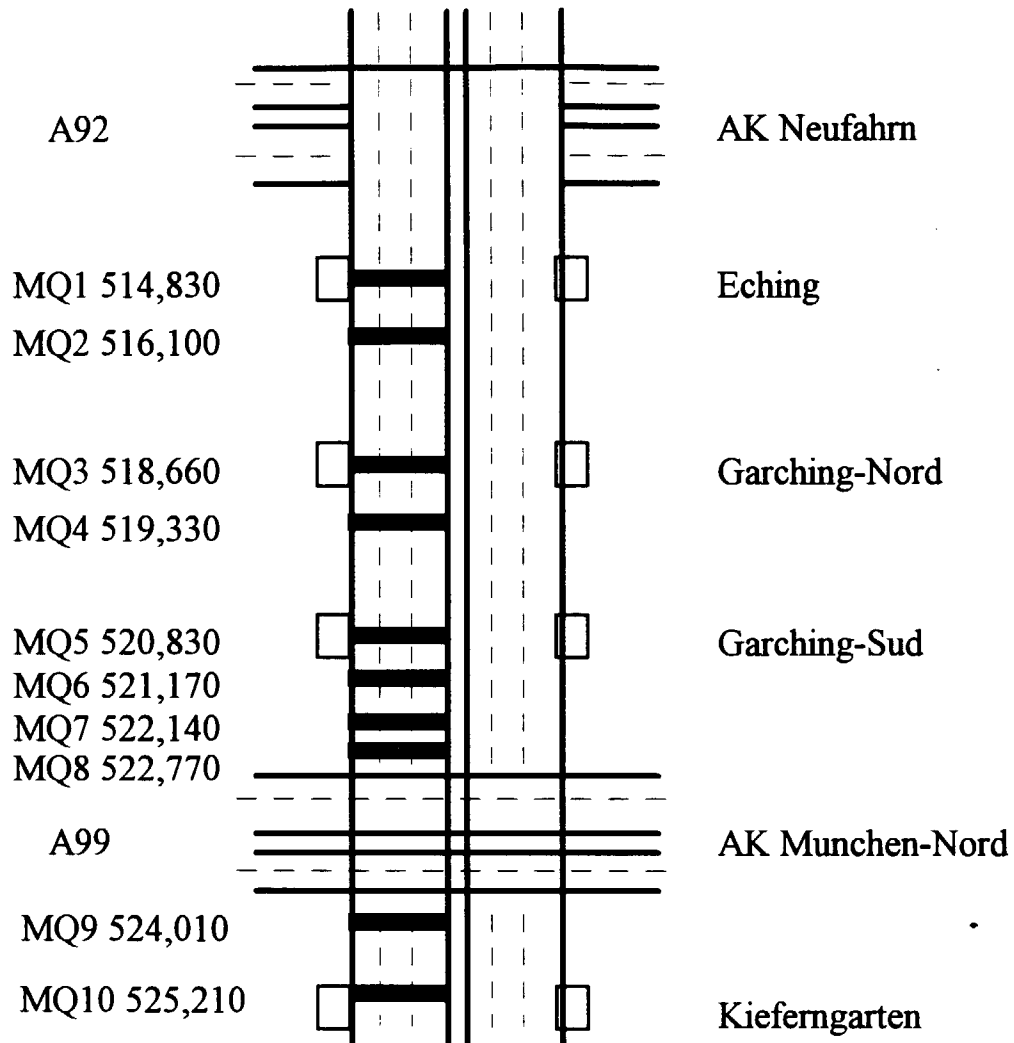


FIG 1

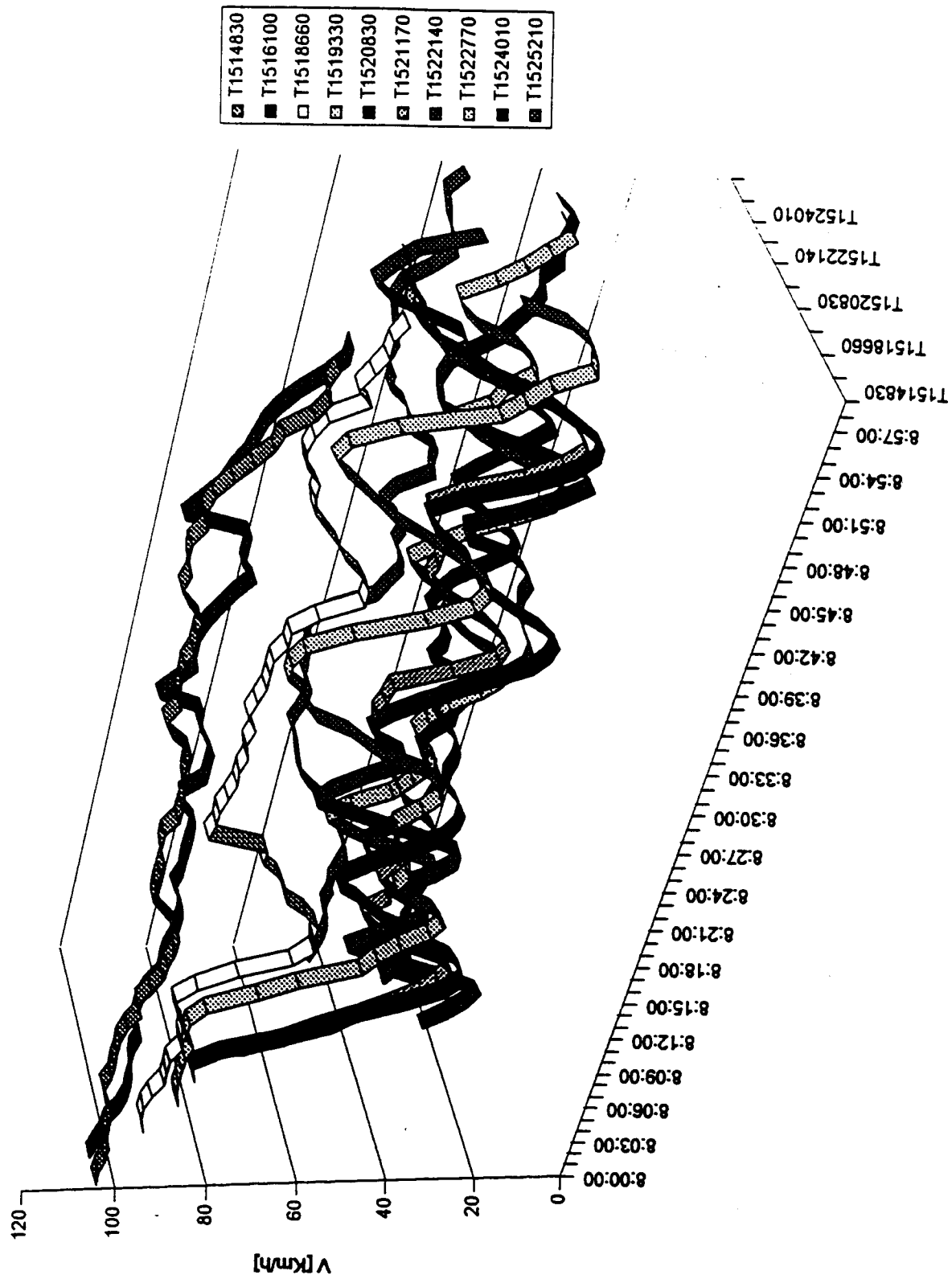
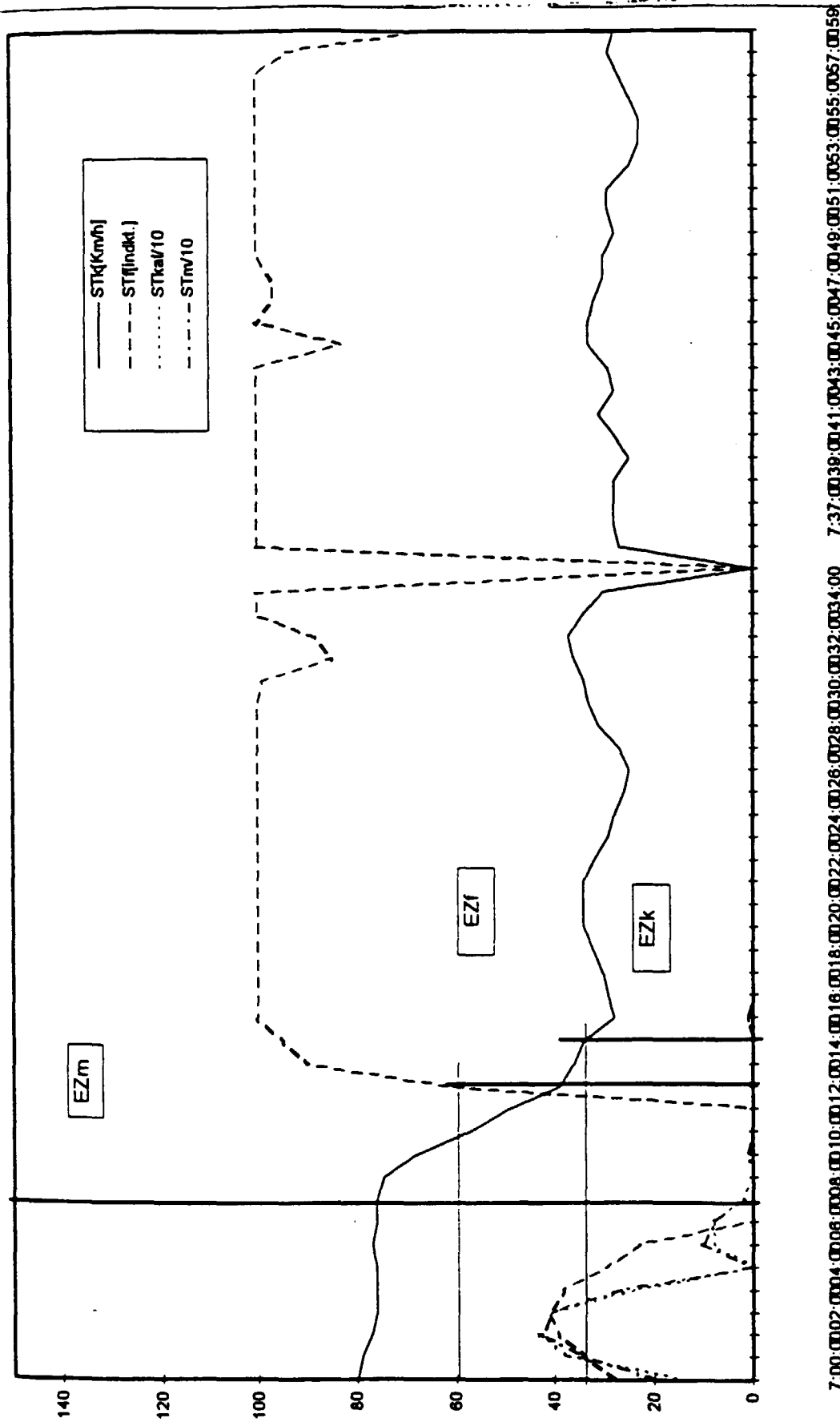


FIG 2

FIG 3



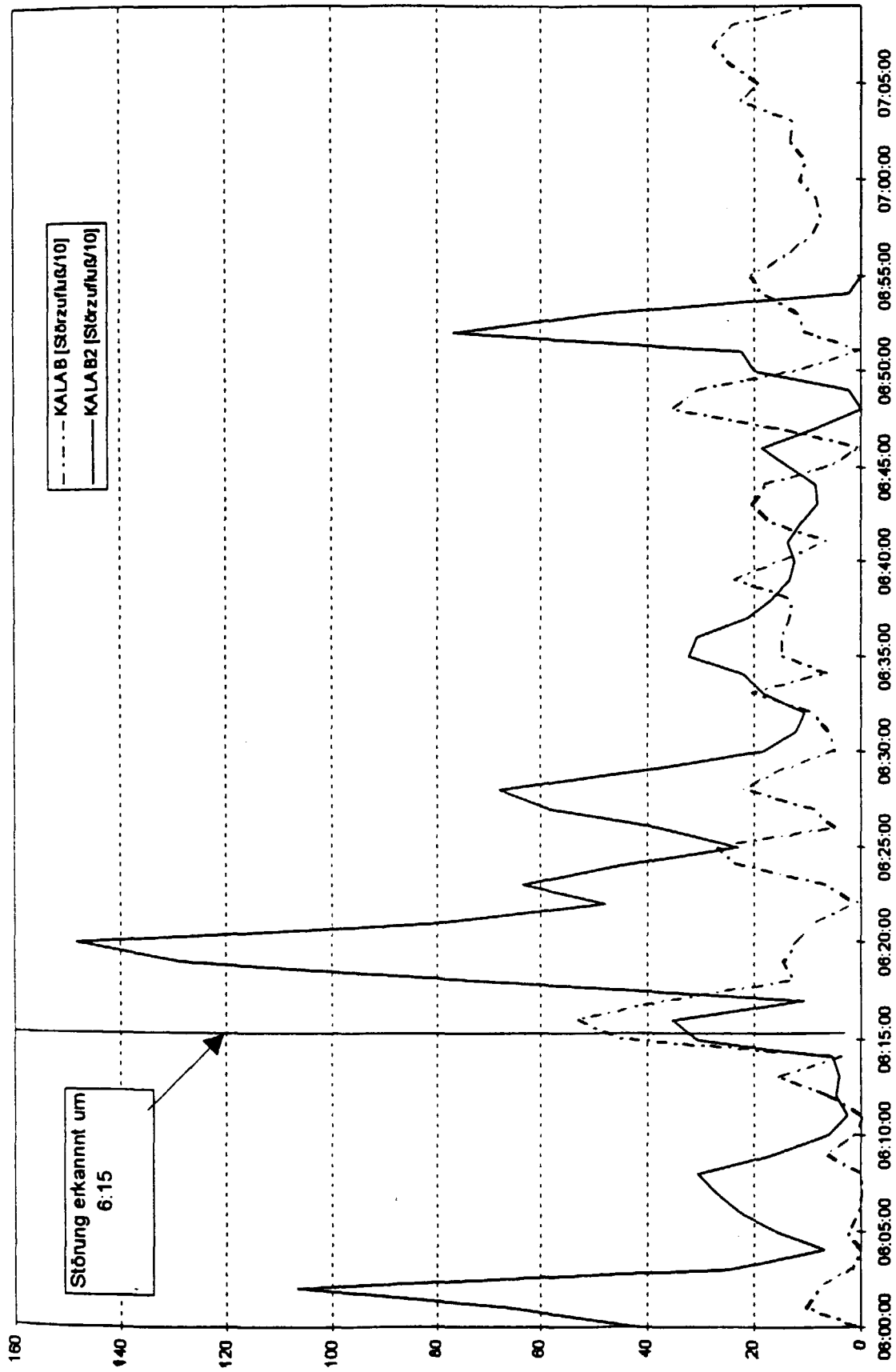


FIG 4

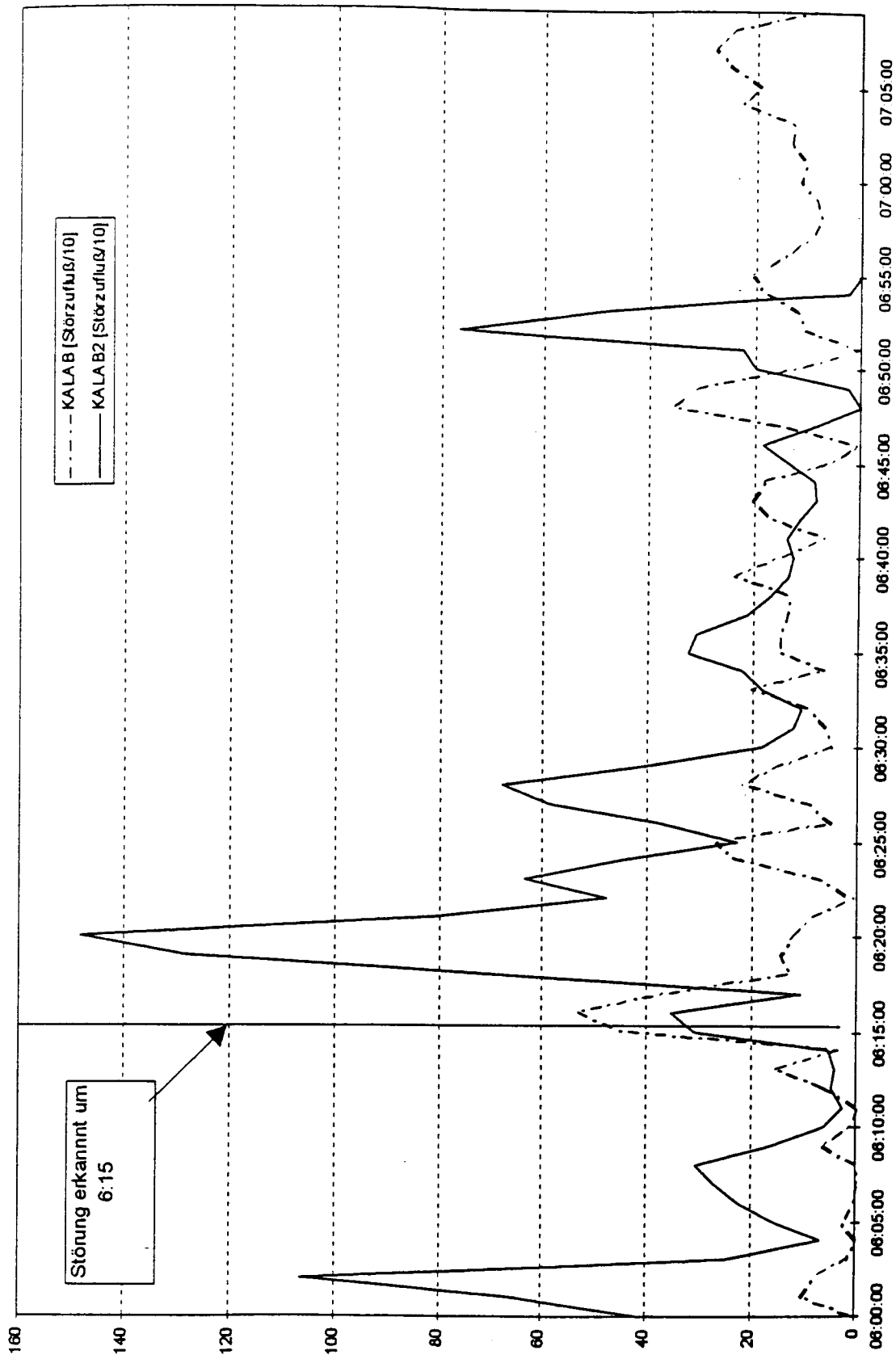


FIG 5

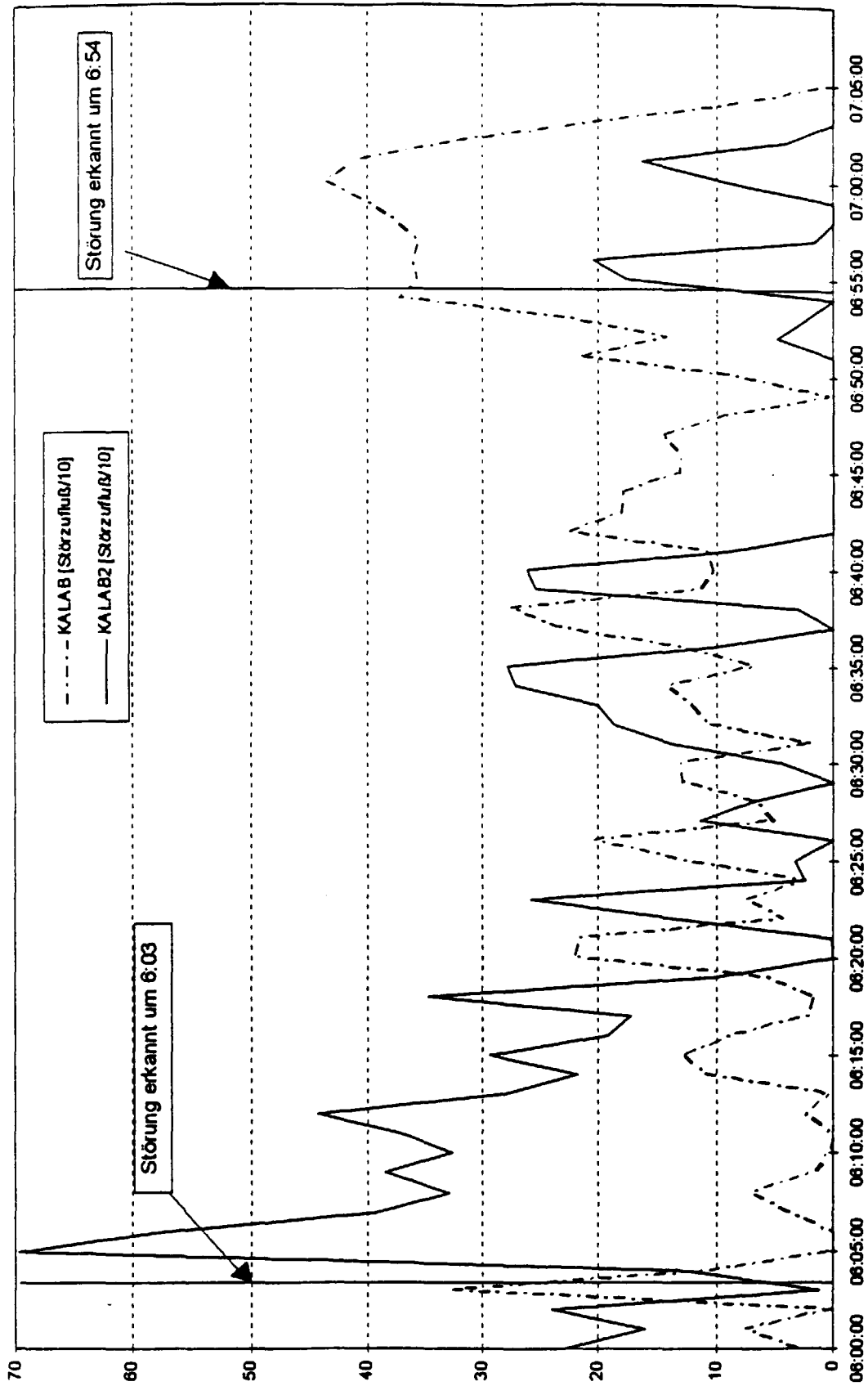


FIG 6