

Musterbasierte Kurzfristprognose der innerörtlichen Störungsausbreitung und automatische Maßnahmenempfehlung

Friedrich Maier, Robert Braun, Fritz Busch und Paul Mathias

Es wird ein Verfahren zur Kurzfristprognose der innerörtlichen zeitlich-räumlichen Störungsausbreitung vorgestellt, das auf Störungsmustern aus historischen Verkehrslagedaten basiert. Der Verkehrszustand für jedes Zeitintervall auf jedem Link des Berliner Straßennetzes wird durch ein dynamisches Routenwahl- und Umlenkungsmodell berechnet. Aus umfangreichen historischen Verkehrslagedaten werden Störungsmuster generiert, die nachfolgend einer zweckmäßigen Klassifizierung unterzogen werden. Auf dieser Analyse basiert ein Verfahren, das durch Mustererkennung die Störungsausbreitung im Netz vorhersagt. Besonders aussagekräftige Ausschnitte aus der netzweiten Prognose werden ausgewählt und als Meldung für den Operator einer Verkehrsmanagementzentrale ausgegeben. Ein weiterer Verfahrensschritt lokalisiert Aktorik im Ab- und Zufluss gegenwärtiger und prognostizierter Störungen zur Erhöhung des Abflusses aus der Störung und zur Reduzierung des Zuflusses in die Störung. Störungsmeldungen für Freitextanzeigen werden automatisch generiert und gemeinsam mit weiterer lokalisierter Aktorik grafisch ausgegeben. Die Arbeiten fanden im Rahmen des Forschungsprojekts iQ mobility statt, das durch die Initiative Verkehrsmanagement 2010 gefördert wurde.

Verfasserschriften:

Dipl.-Ing. F. Maier,
Friedrich.Maier@vt.bv.tum.de,
Dipl.-Ing. R. Braun,
Robert.Braun@vt.bv.tum.de,
Univ.-Prof. Dr.-Ing. F. Busch,
Fritz.Busch@vt.bv.tum.de,
Technische Universität München, Lehrstuhl für Verkehrstechnik,
Arcisstraße 21,
80333 München;
Dr. rer. nat. P. Mathias,
Siemens AG, I&S ITS,
Hofmannstr. 51,
81359 München,
paul.mathias@siemens.com

The report presents a method for the online prediction of urban congestion patterns including their spatio-temporal propagation based on historical traffic state data. Traffic state data for each link and time interval within the Berlin street network comes from a dynamic route choice and traffic assignment model. From extensive historic traffic state data, congestion patterns are generated and classified in an appropriate manner. Based on this analysis, a method to predict the propagation of congestion within the network based on pattern recognition was developed. Significant parts of the network-wide prognosis are selected and sent as message to the operator of a traffic management centre. A further step identifies the signaling and driver information systems in inflow and outflow areas of current and predicted congestion in order to increase the outflow from and decrease the inflow to the congested area. Messages for variable message signs are generated automatically and displayed together with other identified systems. The work presented was carried out within the German research project iQ mobility, which was funded by the initiative Verkehrsmanagement 2010.

1 Einleitung

Störungen des Verkehrsablaufs wirken sich innerorts wie außerorts negativ auf Wirtschaftlichkeit, Umweltwirkungen, Leistungsfähigkeit und Sicherheit des Verkehrsgeschehens aus. Neben der Kenntnis der aktuellen netzweiten Verkehrslage ist eine schnelle und aussagekräftige räumlich-zeitliche Prognose Voraussetzung für die zielgerichtete und rechtzeitige Einleitung geeigneter Maßnahmen des Verkehrsmanagements durch einen Operator oder eine automatische Prozedur zur Reduzierung der negativen Auswirkungen. Für außerörtliche Anwendungen existieren zahlreiche Ansätze zur Störungserkennung unter Ausnutzung von Verkehrsflusstheorien und damit der Zusammenhänge, die die unterschiedlichen Darstellungen des Fundamentaldiagramms für die makros-

kopischen Verkehrskenngrößen Verkehrsstärke, Verkehrsdichte und mittlere Geschwindigkeit ausweisen. Streckenbezogene Ansätze wurden zum Teil für Strecken mit Lichtsignalanlagen angepasst und erweitert.

Städtische Netze zeichnen sich durch kurze Knotenpunktabstände und häufig lichtsignalgesteuerte Knotenpunkte aus und stellen deshalb eine besondere Herausforderung dar. Ursachen hierfür sind die damit assoziierte Relativierung der Verkehrsflusstheorie und der maßgebliche Einfluss lokaler Netzeigenschaften auf die Entwicklung einer Störung.

Ein Ziel des Forschungsprojekts iQ mobility war die Entwicklung eines Werkzeugs zur Vorhersage der Störungsausbreitung in einem städtischen Straßennetz. Dafür wurde ein statistischer Ansatz gewählt, der als Basis eine Historie zeitdiskretisierter ver-

kehrlicher Kenngrößen für sämtliche gerichteten Kanten, sogenannte Links, eines Netzes benötigt. Das Bild 1 bietet einen Verfahrensüberblick.

Die Verkehrsmanagementzentrale (VMZ) Berlin sammelt auf einem Netz mit knapp 9.000 Links Detektormesswerte, Verkehrsmeldungen und modellierte Verkehrslagedaten. Das in Berlin eingesetzte Modell MONET/VISUM-Online basiert auf dem Messwertpropagierungsverfahren von Vortisch (2005) und schätzt für jeden Link und jedes Zeitintervall von 15 Minuten den Verkehrszustand. Ermittelte Kennwerte sind u. a. Verkehrsstärke q , Reisezeit t_R , mittlere Reisegeschwindigkeit v sowie ein dreistufiger Level of Service LOS.

Das Projekt iQ mobility wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie im Rahmen der Initiative Ver-

kehrsmanagement 2010 gefördert und startete im November 2005.

Die Zielsetzung von iQ mobility ist, bestehende Einzellösungen in einem verkehrsmittelübergreifenden Qualitätsmanagement zusammenzuführen. Qualitätsindikatoren sollen in iQ mobility für Teilverkehre in verschiedenen Zielfeldern gemessen, berechnet, bewertet, analysiert und in die Verkehrssteuerung einbezogen werden. Als Zielfelder stehen der Verkehrsablauf des straßengebundenen Verkehrs, die verkehrsbedingten Umweltbelastungen, die Verkehrssicherheit und die Kosten im Mittelpunkt (vgl. Projektteam iQ Mobility (2007)). Das Bild 2 zeigt den Prozess des Qualitätsmanagements mit dem verkehrsmittelübergreifenden Qualitätsmodul und dem strategischen und operativen Verkehrsmanagement. Die in diesem Beitrag vorgestellten Verfahren sind Bestandteil des operativen Verkehrsmanagements. Sie wurden im iQ mobility-Testfeld Berlin erprobt.

2 Begriffe und Definitionen

Im allgemeinen Sprachgebrauch wird der Begriff Störung nicht einheitlich verwendet. Sowohl Ursachen (z. B. Baustelle, Unfall) als auch Wirkungen (Unregelmäßigkeiten im Verkehrsablauf) werden mit ihm assoziiert.

Das Bild 3 zeigt eine Einordnung der Begrifflichkeiten und deren Zusammenhang, wie sie in diesem Beitrag verwendet werden.

Störungsursachen führen über ihre Wirkungsweisen zu einer Störung des Verkehrsablaufs auf einer Strecke, sofern dadurch die Verkehrsnachfrage die Kapazität übersteigt.

Als Störungsursache wird ein ursprünglicher Grund einer Verkehrsstörung bezeichnet. Eine Störungsursache kann auf der Angebots- oder auf der Nachfrageseite liegen. Zudem lassen sich vorhersehbare und unvorhersehbare Störungsursachen unterscheiden. Zu den vorhersehbaren Störungsursachen zählen auf der Angebotsseite beispielsweise Baustellen und Veranstaltungen auf Verkehrsflächen sowie bis zu einem gewissen Grad Umfeldbedingungen. Unfälle hingegen sind ein typisches Beispiel für unvorhersehbare Störungsursachen.

Die Störungsursachen auf der Nachfrageseite sind meist regelmäßig wiederkehrende Ereignisse wie Berufs-, Urlaubs- oder Einkaufsverkehr sowie geplante Er-

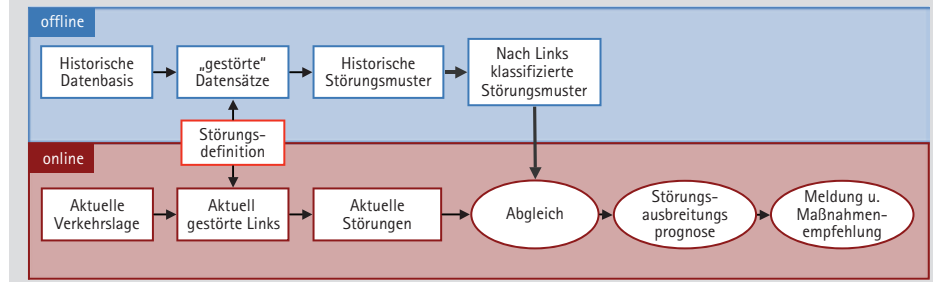


Bild 1: Verfahrensüberblick

ignisse wie Veranstaltung auf einem Veranstaltungsgelände oder auf Verkehrsflächen.

Die Wirkungsweise einer angebotsseitigen Störungsursache ist die Reduktion der Kapazität einer Strecke. Diese kann entweder hervorgerufen werden durch Einschränkungen der vorhandenen Infrastruktur (z. B. Reduktion der Fahrstreifenanzahl, Verengung oder Verschwenkung der Fahrbahn, Schwellen in der Fahrbahnoberfläche), oder durch eine Änderung des Fahr-

verhaltens. Die Wirkungsweise, also die Kapazitätsänderung, ist eine quantifizierbare Größe – wenngleich in der Realität häufig nur eine grobe Abschätzung möglich ist.

Die Wirkungsweise einer nachfrageseitigen Störungsursache ist die Steigerung der Nachfrage auf einer Strecke.

Die Störungsursache kann zeitlich und räumlich konkretisiert werden. Dabei kann sich der Ort mit der Zeit ändern.

Unter Störung wird hier die Störung des



Bild 2: Der iQ mobility-Prozess des Qualitätsmanagements im straßengebundenen Verkehr

	Angebot	Nachfrage
Störungsursache	<ul style="list-style-type: none"> Baustelle Veranstaltung Unfall ... 	<ul style="list-style-type: none"> Umfeldbedingungen Ortsunkundige ...
Wirkungsweise	<ul style="list-style-type: none"> z.B. Fahrstreifen-sperrung 	<ul style="list-style-type: none"> z.B. Fahrverhalten
	Kapazitätsreduktion	
	Nachfragesteigerung	
Bedingung	Kapazität < Nachfrage	
Störung	Störung des Verkehrsablaufs	
Störungseigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> Startlink Betroffene Links ... 	<ul style="list-style-type: none"> Beginn Dauer Gesamtverlustzeit ...
	räumlich	zeitlich

Bild 3: Zusammenhang verwendeter Begriffe

Verkehrsablaufs verstanden. Der Verkehrsablauf auf einer Strecke ist dann gestört, wenn die Nachfrage größer als die Kapazität ist.

Das Problem dieser Definition der Störung des Verkehrsablaufs besteht allerdings darin, dass die Verkehrsnachfrage nicht direkt gemessen werden kann. An einem Querschnitt kann nur die tatsächliche Verkehrsstärke gemessen werden, die maximal die aktuelle Kapazität erreichen kann. Deshalb muss ein anderer Indikator zur Erkennung einer Störung gefunden werden.

3 Festlegung eines Störungsindikators und Darstellung von Störungsmustern

Die Festlegung eines Störungsindikators und eines zugehörigen Schwellenwerts ist die Voraussetzung, um aus den historischen Verkehrslagedaten diejenigen Datensätze auszulesen, die zeitintervallbezogen gestörte Links beschreiben. Die ausgelesenen Datensätze können dann zu Störungsmustern zusammengefügt werden, wenn die zugehörigen Links räumlich und die Zeitintervalle zeitlich benachbart sind. Verkehrsstörungen auf der freien Strecke sind bereits gründlich untersucht worden. In der Literatur sind zahlreiche kennwertbasierte Störungs- bzw. Staudefinitionen

zu finden. Meist wird die Geschwindigkeit als Störungsindikator verwendet, zum Teil auch die Verkehrsdichte. Dabei wird der Verkehrszustand häufig in drei bis fünf Stufen unterteilt.

Folgende vier Kenngrößen wurden bezüglich ihrer Eignung als Störungsindikator für den innerörtlichen Bereich genauer untersucht:

- Absoluter Unterschied zwischen der aktuellen und der freien linkbezogenen Geschwindigkeit

$$v - v_0 \text{ [km/h]}$$

- Verhältnis zwischen aktueller und freier linkbezogener Geschwindigkeit

$$\frac{v}{v_0} \text{ [-]}$$

- Reisezeitverlust $\Delta T = \frac{s}{v} - \frac{s}{v_0} \text{ [s]}$

- Level of Service [-]

mit
 v aktuelle mittlere linkbezogene Geschwindigkeit; MONET/VISUM-Online ermittelt die link- und intervallbezogene Reisegeschwindigkeit mit Hilfe einer hinterlegten Widerstandsfunktion in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke q
 v_0 freie linkbezogene Reisegeschwindigkeit
 s Linklänge.

Folgende Kriterien wurden als Grundlage für die Festlegung von Störungsindikator und Schwellenwert verwendet:

- Linklängenverteilungen: Es wird angenommen, dass die Länge eines Links

keinen Einfluss auf seine Störunganfälligkeit hat. Ein Indikator kann aber den Verkehr auf unterschiedlich langen Links unterschiedlich bewerten. Bei einer guten kennwertbasierten Störungsdefinition ähneln sich die Längenverteilungen der Links im Netz und der Datensätze, die als verkehrlich gestört eingestuft werden.

- Verknüpfung der Störungsmuster mit historischen Störungsmeldungen: Können zahlreiche Störungsmuster archivierten Störungsmeldungen zugeordnet werden, spricht dies für eine geeignete kennwertbasierte Störungsdefinition.
- Die Charakteristik der aus der kennwertbasierten Störungsdefinition resultierenden Störungsmuster liefert Anhaltspunkte für die Einschätzung der Eignung einer kennwertbasierten Störungsdefinition.
- In Brilon und Schnabel (2003) und im HCM (2000) finden sich Festlegungen von kennwertbasierten Störungsdefinitionen.

Ein Teil der Ergebnisunterschiede für verschiedene kennwertbasierte Störungsdefinitionen unter Verwendung von Daten aus dem Monat Mai 2005 ist in der Tabelle 1 dargestellt. Der darin aufgeführte Eintragsanteil beschreibt den Anteil der Datensätze, die im Zeitraum definitionsgemäß Störungen dokumentieren, an der Anzahl aller Datensätze, die im Zeitraum gesammelt wurden.

Die Untersuchungen zeigten, dass der Quotient aus link- und zeitintervallspezifischer mittlerer Reisegeschwindigkeit und linkspezifischer freier Geschwindigkeit als Indikator in Kombination mit dem Schwellenwert 0,4 am besten als kennwertbasierte Störungsdefinition geeignet ist. Bei der Unterschreitung des Schwellenwerts liegt eine Störung vor, der Bereich zwischen 0,4 und 0,5 dient als Warnstufe.

Das Bild 4 stellt den räumlich-zeitlichen Verlauf eines resultierenden Störungsmusters im Netz dar. Ein Muster kann beispielsweise durch den Startlink, die Startzeit, die Dauer, die Tageskategorie, die Anzahl der Datensätze, die betroffenen Links, die Gesamtlänge und die Gesamtverlustzeit beschrieben werden.

Das Bild 5 zeigt die räumliche Verteilung der Datensätze, die einen Quotienten kleiner als 0,5 aufweisen, und weist so die am meisten von Störungen betroffenen Bereiche in Berlin aus.

Tabelle 1: Ergebnisvergleich für unterschiedliche kennwertbasierte Störungsdefinitionen

Störungsdefinition	Eintragsanteil [%]	Störungsanzahl [%]	davon mit Störungsmeldung [%]	1-Link-Störungen [%]	≥ 4-Links-Störungen [%]	Störungsdauer ≤ 0,5h [%]
(1) $v/v_0 \leq 0,3$	0,07	1928	54,1	70,7	7,1	67,9
(2) $v/v_0 \leq 0,4$	0,20	3404	41,2	54,1	18,9	63,6
(3) $v/v_0 \leq 0,5$	0,58	5691	27,3	45,2	27,2	57,8
(4) $\Delta T > 60 \text{ s}$	0,19	5658	21,9	80,8	2,0	55,3
(5) $\Delta T > 45 \text{ s}$	0,59	8533	17,7	76,6	3,1	54,6
(6) LOS = 2	0,28	2922	50,7	74,9	5,1	53,2

Bild 4: Störungsmuster, Zeit von unten nach oben fortschreitend

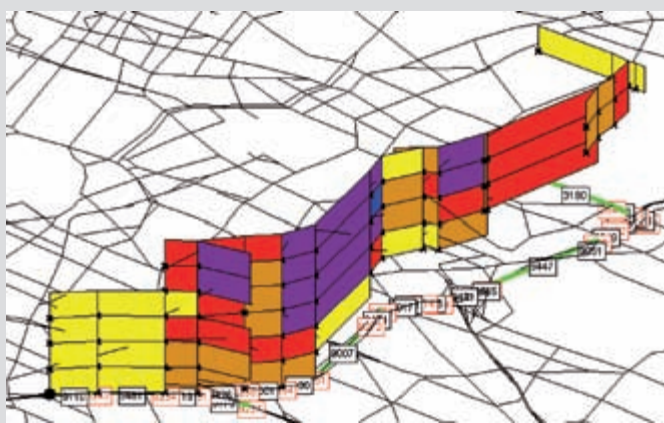




Bild 5: Verteilung der Störungshäufigkeit in Berlin im Mai 2005

einem oder auf mehreren zusammenhängenden Links eine Störung einstellen, so können die historischen Muster aufgerufen werden, die sich dort in der hinterlegten Historie ereigneten (Bild 6).

Wenn im gegenwärtigen Intervall der Verkehrslagedarstellung eine Störung gemäß der Störungsdefinition vorliegt, so werden sämtliche Störungsmuster aus der verwendeten Historie aufgerufen, die mindestens einen gemeinsamen Link mit der aktuellen Störung aufweisen. Jedoch eignen sich manche Muster besser als andere, um für eine Prognose verwendet zu werden, da sie der aktuellen Störung stärker ähneln. Daher ist es notwendig, die Ähnlichkeit zwischen der aktuellen und den historischen Störungen zu quantifizieren, um nachfolgend für die Prognose geeignete Störungen auswählen und gewichten zu können. Der diesbezügliche Musterabgleich kann unterschiedliche Merkmale berücksichtigen (siehe Bild 7):

4 Prognose der innerstädtischen Störungsausbreitung

Grundlage für die Kurzfristprognose der Störungsausbreitung ist die Einteilung der historischen Störungsmuster in geeignete Klassen, sodass schnell relevante historische Störungsmuster ausgewählt werden können. Die Klassifizierung nach ermittelten Störungsmerkmalen wie Tageszeit, Gesamtverlustzeit oder Gesamtausdehnung erwies sich nicht als zielführend, da der Einfluss lokaler Netzstrukturen hierbei vernachlässigt wird und beispielsweise zwei Vormittagstörungen in unterschiedlichen Netzausschnitten keinem gemeinsamen Muster folgen müssen. Ähnlich gestaltet sich dies bei der Verwendung anderer derartiger Merkmale. Daher wurde eine Klassifizierung der his-

torischen Muster nach Links vorgenommen: Jeder Link wird zu einer Klasse, der sämtliche historische Muster zugeordnet werden, die diesen Link betreffen. Folglich wird eine Störung mehreren Klassen zugeordnet, wenn sie sich über mehrere Links erstreckt hat. Sollte sich nun aktuell auf

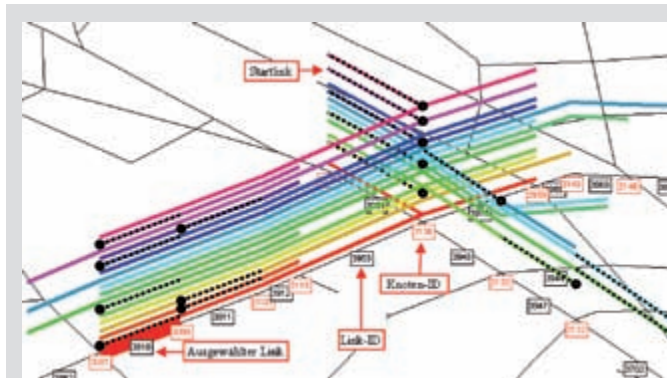


Bild 6: Beispiel für eine Linkklasse

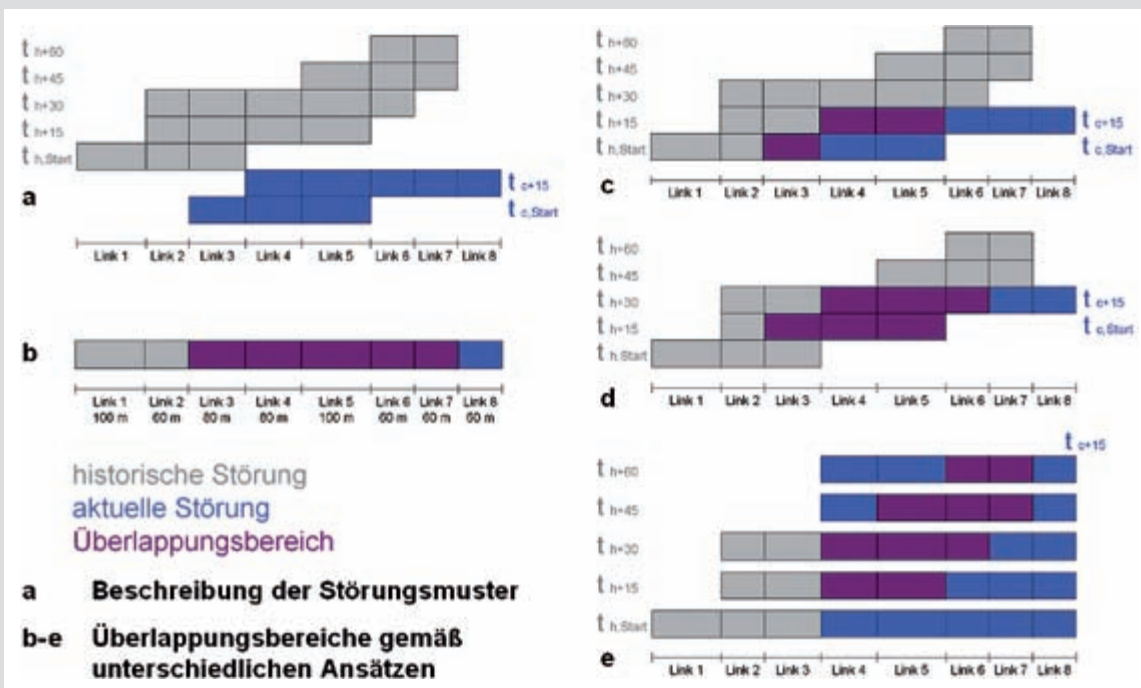


Bild 7: Überlappung zweier Störungsmuster gemäß unterschiedlicher Ansätze

- Räumliche Merkmale, die gesamte historische sowie die gesamte bisherige gegenwärtige Störung betrachtend (Bild 7b)
- Räumlich-zeitliche Merkmale über mehrere Verkehrslageintervalle hinweg, mit oder ohne Zeitversatz (Bilder 7c und 7d)
- Räumlich-zeitliche Merkmale über mehrere Verkehrslageintervalle hinweg unter zusätzlicher Berücksichtigung der Verkehrsqualität
- Räumliche Merkmale unter Berücksichtigung der Verkehrsqualität für einzelne Intervalle der historischen Störung und das gegenwärtige Intervall der aktuellen Störung (Bild 7e).

Zur Quantifizierung der Ähnlichkeit zweier Störungsmuster wird der Überlappungsgrad OL (Overlap) eingeführt. Der räumliche Überlappungsgrad gemäß Bild 7b wird wie folgt ermittelt:

$$OL = \frac{\left(\sum_{i=1}^{i=n_1 \cap n_2} l_i\right)^2}{\left(\sum_{i=1}^{i=n_1} l_i\right) \cdot \left(\sum_{k=1}^{k=n_2} l_k\right)} \quad (1)$$

mit
 OL Überlappungsgrad
 l Linklänge
 n Anzahl der Links, die von einem Störungsmuster betroffen sind
 i,j,k Indizes für störungsbetroffene Links.

Die Gleichung für die Ermittlung des Überlappungsgrads unter zusätzlicher Betrachtung der Störungsentwicklung über mehrere Verkehrslageintervalle entsprechend der Bilder 7c und 7d lautet:

$$OL = \frac{\left(\sum_{p=1}^{p=Z_{1 \cap 2}} \sum_{i=1}^{i=n_{1 \cap 2}} l_{i,p}\right)^2}{\left(\sum_{p=1}^{p=Z_{1 \cap 2}} \sum_{j=1}^{j=n_{1,p}} l_{j,p}\right) \cdot \left(\sum_{r=1}^{r=Z_{1 \cap 2}} \sum_{k=1}^{k=n_{2,r}} l_{k,r}\right)} \quad (2)$$

mit
 Z Anzahl der Verkehrslageintervalle
 p,q,r Indizes für die Verkehrslageintervalle.

Zur Umsetzung des Ansatzes gemäß Bild 7d muss Gleichung (2) für alle denkbaren Zeitversätze angewandt werden, um darauf folgend den optimalen Versatz bestimmen zu können. Entsprechend wird Gleichung (1) für den räumlichen Abgleich der aktuellen Störungsausbreitung mit histori-

schen Störungsausbreitungen gemäß Bild 7e für sämtliche historische Verkehrslageintervalle eingesetzt.

Die Gleichungen berücksichtigen bisher keine verkehrsqualitativen Aspekte, die durch den Quotienten aus Reisegeschwindigkeit und freier Geschwindigkeit dargestellt werden können. Sie können in Form eines Faktors für jeden einzelnen Summanden im Zähler der Gleichung Eingang finden, der für ähnelichere verkehrliche Verhältnisse gegen 1 steigt und für deutliche Unterschiede hinsichtlich der Verkehrscharakteristik gegen 0 geht.

Ergebnis aller vorgeschlagenen Berechnungsarten des Überlappungsgrads zweier Störungsmuster ist also ein Wert zwischen 0 und 1, der für eine stärkere Ähnlichkeit spricht, je mehr er sich dem Wert 1 nähert. Mit dem Überlappungsgrad liegt zu jeder Störung aus der Historie, die mit einer aktuellen Störung mindestens einen Link gemeinsam hat, ein Wert vor, der für die Entscheidung über ihre Berücksichtigung und nachfolgend über ihre Gewichtung bei der Ausbreitungsprognose für die aktuelle Störung herangezogen werden kann. Historische Störungen können von der Berücksichtigung bei der Prognose beispielsweise ausgeschlossen werden, wenn ihr Überlappungsgrad einen Schwellenwert unterschreitet, wenn ihr Überlappungsgrad im Vergleich zu dem anderer historischer Störungen deutlich abfällt oder wenn die Anzahl historischer Störungen mit einem höheren Überlappungsgrad einen Schwellenwert erreicht.

Daraufhin wird die Ausbreitungsprognose für die gegenwärtige Störung durch eine gewichtete Summenbildung der ausgewählten historischen Störungen ermittelt. Da manche historische Störungen in die Prognose einbringen, dass ein bestimmter Link in einem der folgenden Verkehrslageintervalle gestört sein wird, andere aber Gegenteiliges aussagen, ist das Ergebnis dieser Summenbildung eine Störungswahrscheinlichkeit für jeden Link in jedem nachfolgenden Zeitintervall.

Um aus historischen Störungsmustern auch eine Aussage darüber zu erhalten, welche Charakteristik die Störung auf einem Link in einem künftigen Verkehrslageintervall aufweist, wird der verkehrsqualitative Kennwert „Quotient aus Reisegeschwindigkeit und freier Geschwindigkeit“ aus den historischen Mustern, die eine Störung für diesen Link in diesem Zeitintervall voraussagen, mit dem Überlappungsgrad als Gewichtung gemittelt. Ergebnis ist ein Kennwert für die prognostizierte Verkehrsqualität, der zur Bestimmung eines Störungsniveaus herangezogen werden kann.

Störungswahrscheinlichkeit und prognostizierter Quotient aus Reisegeschwindigkeit und freier Geschwindigkeit werden also für jeden Link und für jedes Verkehrslageintervall wie folgt ermittelt:

$$POC = \frac{\sum_{i=1}^n c \cdot OL_i}{\sum_{j=1}^n OL_j} \cdot 100 \quad (3)$$

$$QSF = \frac{\sum_{i=1}^n qsf \cdot c \cdot OL_i}{\sum_{i=1}^n c \cdot OL_i} \quad (4)$$

mit
 POC Störungswahrscheinlichkeit, „probability of congestion“ [%]
 c Störung, „congestion“ (binär, 0... nicht gestört, 1... gestört)
 n Anzahl der historischen Störungen, die für die Prognose ausgewählt wurden
 i Index für die historischen Störungsmuster
 QSF Prognostizierter Quotient aus Reisegeschwindigkeit und freier Geschwindigkeit, „predicted quotient between space mean speed and free flow speed“
 qsf Quotient aus Reisegeschwindigkeit und freier Geschwindigkeit in der historischen Störung.

Die Anzahl der prognostizierten Verkehrslageintervalle ist durch das Verfahren nicht begrenzt. Jedoch führen die historischen Störungsmuster mit ihren vielfältigen Entwicklungen für einen weiteren Prognosehorizont zu immer diffuseren Ergebnissen, sodass eine geeignete Begrenzung des Prognosehorizonts zu empfehlen ist.

Das Ergebnis der Störungsausbreitungsprognose kann visualisiert werden (Bild 8). Dabei steht die Breite der Balken für die Störungswahrscheinlichkeit, die Farbe der Balken wechselt für das Absinken des Quotienten aus Reisegeschwindigkeit und freier Geschwindigkeit von gelb über rot bis blau.

PLANUNGSBÜRO VON MÖRNER + JÜNGER

VERKEHRSPANUNG
 VERKEHRSTECHNIK
 NAHVERKEHRSPANUNG
 STADTBUSKONZEPTE
 STRASSENENTWURF
 BAULEITUNG
 UMWELTVERTRÄGLICHKEIT

PROF. DR.-ING. JÖRG VON MÖRNER
 DIPL.-ING. HARALD JÜNGER

Heinrichstraße 233 Wolfsgrube 12
64287 Darmstadt **98527 Suhl**
 Tel. 0 61 51 - 42 39 33 Tel. 0 36 81 - 72 83 66
 Fax 0 61 51 - 42 43 08 Fax 0 36 81 - 70 80 84

darmstadt@vonmoerner-juenger.de suhl@vonmoerner-juenger.de
 www.vonmoerner-juenger.de

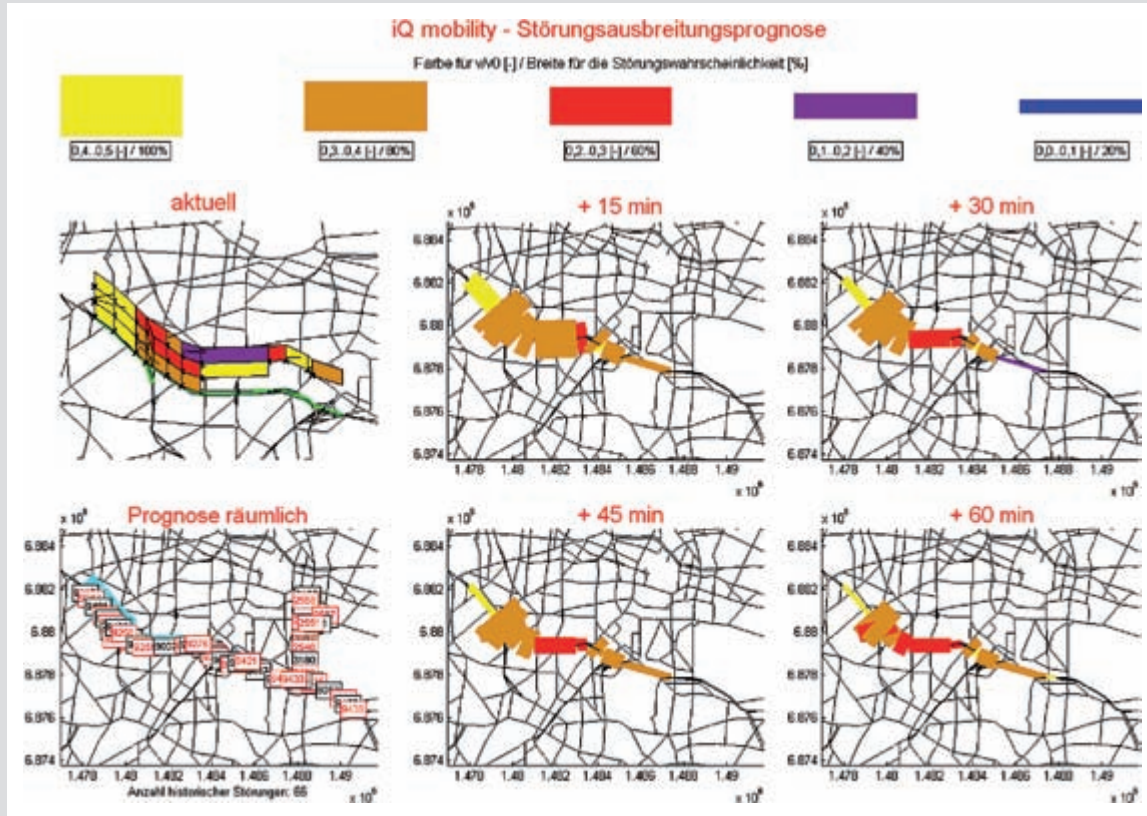


Bild 8: Beispiel für eine Störungsausbreitungsprognose

Trinité. Marktführer in den Niederlanden beim Dynamischen Netzwerkmanagement

TrafficLink: ein autonomes Verkehrsmanagementsystem

Trinité hat über 10 Jahre Erfahrung in der Entwicklung innovativer Software für Verkehr und Netzwerkmanagement, mit Anwendungen in allen großen Verkehrszentralen der Niederlande. In enger Zusammenarbeit mit unseren Kunden entwickelten wir TrafficLink, eine modular aufgebaute Applikation für die Verkehrsleitung, mit der die gesamte Bandbreite von der Versorgung mit Informationen bis zur faktischen Steuerung realisiert werden kann.



Mit TrafficLink können Tunneln, Kameras, Zusatz- und Wechsel-fahrbahnen, Fahrbahnwegweiser und Brücken gesteuert, bedient und visualisiert werden und alle diese Komponenten können gemeinsam in ein autonomes Verkehrsmanagementsystem integriert werden.

Weitere Informationen:
 Tel. +31 (0) 297382461
 Internet: www.trinite.nl

Trinité. Ihre integrierte Sicht der Welt!



5 Online-Vorhersage für die Störungsausbreitung in einem Netz

Bisher wurde ein Verfahren zur Störungsausbreitungsprognose für eine einzelne Störung beschrieben. Dieses Verfahren wurde im Rahmen des Projekts iQ mobility prototypisch für einen netzweiten Online-Einsatz in Berlin implementiert.

Eingangsdaten liefert die Verkehrslage der VMZ Berlin. Diese Verkehrslage wird auf verkehrsgestörte und störungsgefährdete Netzausschnitte überprüft. Für diese Netzausschnitte werden die zuvor beschriebenen Störungsausbreitungsprognosen erstellt. Dabei kann der Fall eintreten, dass ein oder mehrere Links von Ausbreitungsprognosen zu mehreren Störungen betroffen sind, sodass in diesen Fällen mehrere Ausbreitungsprognosen zusammengeführt werden müssen. Die zusammengeführten Kennwerte Störungswahrscheinlichkeit POC_{fused} und prognostizierter Quotient aus Reisegeschwindigkeit und freier Geschwindigkeit QSF_{fused} werden wie folgt ermittelt:

$$POC_{fused} = 100 \cdot \left(1 - \prod_{i=1}^n \left(1 - \frac{POC_i}{100}\right)\right) \quad (5)$$

$$QSF_{fused} = \frac{\sum_{i=1}^n QSF_i \cdot LOC_i}{\sum_{i=1}^n LOC_i} \quad (6)$$

mit
 n Anzahl der einzelnen Störungsausbreitungsprognosen, die für den Link vorliegen
 i Index für die Störungsausbreitungsprognosen.

Ergebnis der netzweiten Online-Vorhersage ist eine Tabelle, die alle berechneten linkbezogenen Störungswahrscheinlichkeiten und die zugehörigen Quotienten aus Reisegeschwindigkeit und freier Geschwindigkeit für eine bestimmte Anzahl

prognostizierter Verkehrslageintervalle enthält.

Der Verfahrensprototyp verwendet als Historie Verkehrslagedaten von Oktober 2005 bis Oktober 2006. Er wird im iQ mobility-Testfeld in Berlin-Mitte erprobt.

6 Störungsmeldungen und Maßnahmenempfehlungen

Die Störungsausbreitungsprognose wird zur Generierung von Warnmeldungen eingesetzt, die einem Operator die frühzeitige Einleitung von Maßnahmen des Verkehrsmanagements zur Reduzierung negativer verkehrlicher Wirkungen ermöglichen. Ziel einer Kurzfristprognose ist die Identifikation von Netzausschnitten, in denen sich prognosegemäß die größten Veränderungen hinsichtlich des Verkehrsflusses gegenüber der aktuellen Verkehrslage ergeben werden. So ist es zielführend, die Veränderung, die die Prognose gegenüber der gegenwärtigen Verkehrslage enthält, für unterschiedliche Netzausschnitte zu quantifizieren, um nachfolgend die relevantesten Netzausschnitte in einer Meldung dem Operator zu nennen. Bei der Quantifizierung der prognosegemäßen Änderung werden die Längen der gestörten Streckenabschnitte, die prognosegemäße Störungswahrscheinlichkeit und die Veränderung des Quotienten aus Reisegeschwindigkeit und freier Geschwindigkeit für zwei Verkehrslageintervalle berücksichtigt. Ein hoher positiver Wert steht dabei für eine starke Störungsausbreitung, ein deutlich negativer dafür, dass sich die Störung voraussichtlich zurückbilden wird. So wird in jedem Verkehrslageintervall maximal für drei Netzausschnitte eine Meldung geschrieben, für die eine Ausbreitung prognostiziert wird. Eine prog-

nostizierte Störungsrückbildung wird für maximal einen Netzausschnitt gemeldet. Die Meldungen enthalten die Nennung sämtlicher Links, die von der Störung betroffen sind und prognosegemäß betroffen sein werden, sowie für zwei Verkehrslageintervalle die Störungswahrscheinlichkeiten und ein fünfstufiges Störungsniveau, den „Level of congestion“, der für einen stärker gestörten Verkehrsfluss höhere Werte annimmt und vom prognostizierten Quotienten aus Reisegeschwindigkeit und freier Geschwindigkeit abgeleitet wird.

Ein Operator in einer Verkehrszentrale kann über gegenwärtige und prognostizierte Störungen im Netz informiert oder mit geeigneten Gegenmaßnahmen sowie Maßnahmenbündeln versorgt werden. Diese Maßnahmen haben zwei Ziele:

- Begrenzung des Zuflusses in einen Störungsbereich
- Erhöhung des Abflusses aus einem Störungsbereich.

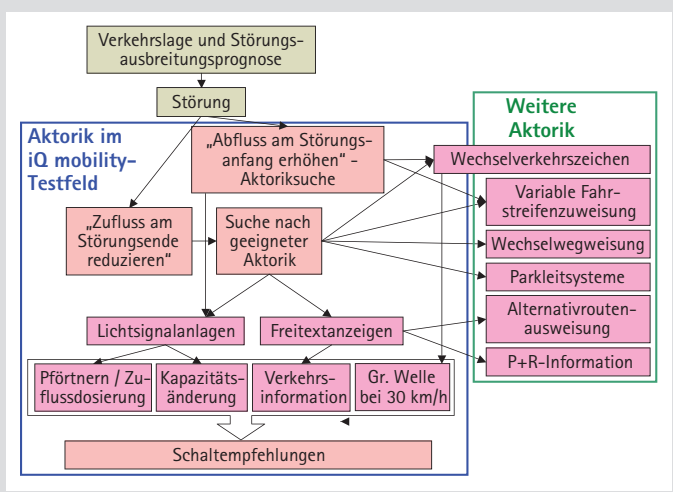
Neben der Verkehrsteilnehmerinformation über Rundfunk und Internet kann dazu die im Bild 9 dargestellte infrastrukturseitige Aktorik eingesetzt werden.

Lichtsignalanlagen, die zur Erhöhung des Abflusses aus einer Störung eingesetzt werden sollen, sind am stromabwärtigen Ende der Störung und damit im Störungsbereich zu suchen. Bei angebotsseitigen Störungsursachen wie z.B. einem Unfall kann unter Umständen keine Erhöhung des Abflusses erreicht werden.

Die Aktorik zur Reduzierung des Zuflusses kann dort ihre Wirkung entfalten, wo nennenswerte Verkehrsflüsse auf ihren geplanten Routen in den gestörten oder prognosegemäß gestörten Netzausschnitt einfahren. So sind die Verkehrsströme im Störungsbereich rückwärts gegen die Fahrtrichtung im Netz zu verfolgen und die dabei passierte Aktorik als für Gegenmaßnahmen geeignet zu diagnostizieren. Die Rückwärtsverfolgung der Verkehrsströme kann insbesondere bei kleinen Netzen statisch hinterlegt werden, zur dynamischen Rückwärtsverfolgung können entweder Routen oder näherungsweise Abbiegebeziehungen aus einer Umlegung herangezogen werden.

Der Verfahrens-Prototyp für das Testfeld in Berlin lokalisiert Lichtsignalanlagen im Störungsabfluss sowie Wechselverkehrszeichen, Einrichtungen zur Zuflussdosierung und Freitextanzeigen (FTA) im Störungszufluss. Zusätzlich generiert er Vorschläge für Textmeldungen an den Freitextanzeigen, die auf Störungsbereiche hinweisen. Die Ergebnisse dieses Verfah-

Bild 9: Infrastrukturseitige Aktorik zur Einleitung von Maßnahmen des Verkehrsmanagements bei Störungen



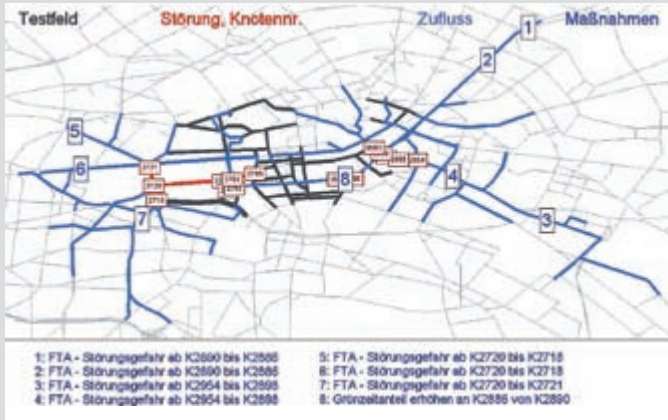


Bild 10: Beispiel für automatisch generierte Maßnahmenempfehlungen

rensschritts werden in Form einer grafischen Darstellung zur Verfügung gestellt (Beispiel: siehe Bild 10).

7 Zusammenfassung und Ausblick

Der Artikel erläutert ein Verfahren zur innerörtlichen Störungsausbreitungprognose. Grundlage sind historische Störungsmuster, die offline unter Verwendung einer geeigneten kennwertbasierten Störungsdefinition aus historischen Verkehrslagedaten gewonnen werden. Ereignet sich in einem Netzausschnitt aktuell eine Störung oder bahnt sie sich an, so werden sämtliche historische Störungsmuster aus dem räumlichen Umfeld mit der aktuellen Situation abgeglichen und ähnliche historische Situationen erkannt, ausgewählt und mit einem Ähnlichkeitsmaß, dem Überlappungsgrad, versehen. Dieser Überlappungsgrad wird für die Gewichtung der historischen Störungsmuster bei der nachfolgenden Ausbreitungprognose für die aktuelle Störung verwendet. Besonders aussagekräftige Ausschnitte aus der netzweiten Prognose werden ausgewählt und als Meldung ausgegeben. Ein weiterer Verfahrensschritt lokalisiert Aktorik im Ab- und Zufluss gegenwärtiger und prognostizierter Störungen zur Erhöhung des Abflusses aus der Störung und zur Reduzierung des Zuflusses in die Störung. Störungsmeldungen für Freitextanzeigen werden automatisch generiert und gemeinsam mit weiterer lokalisierter Aktorik grafisch ausgegeben.

Ein Verfahrensprototyp ist im iQ mobility-Testfeld in Berlin-Mitte seit August 2007 im Einsatz. Bisher ausschließlich visuell vorgenommene Untersuchungen weisen auf grundsätzlich plausible Ergebnisse hin, sollen aber bald durch eine umfassende Bewertung der Verfahrensergebnisse ergänzt werden.

Aufgrund der Eigenschaften der verwendeten Daten konnte nicht untersucht werden, ob eine Klassifizierung historischer Störungen nach ihren Ursachen und ein entsprechender Filter bei der Musterauswahl die Ergebnisse der Prognose verbessert oder ob durch den Abgleich zwischen historischen Mustern und aktueller Störung überwiegend historische Muster mit ähnlicher Ursache zur Prognose herangezogen werden.

Darüber hinaus kann für das Verfahren von Bedeutung sein, unter welchen Schaltzuständen sämtlicher Aktoren Störungsmuster entstehen. Die dadurch verursachte Beeinflussung der Muster kann sich auf die Prognoseergebnisse auswirken.

Die vorgestellten Verfahren erweitern für den Operator in einer Verkehrsmanagementzentrale die Entscheidungsgrundlage, um bei Störungen des Verkehrsablaufs frühzeitig gezielte Gegenmaßnahmen einzuleiten. Sie leisten damit einen Beitrag zur Verbesserung des Verkehrsablaufs in städtischen Netzen und stellen darüber hinaus eine gute Basis für zukünftiges intelligentes teil- oder vollautomatisches Verkehrsmanagement dar.

Literaturverzeichnis

Brilon, W.; Schnabel, W. (2003): Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs auf Hauptverkehrsstraßen. Straßenverkehrstechnik 01/2003
 HCM (2000): Highway Capacity Manual. TRB, National Research Council, Washington, D.C.
 Projektteam iQ mobility (2007): iQ mobility - Integriertes Qualitäts- und Mobilitätsmanagement im straßengebundenen Verkehr der Region Berlin-Brandenburg. Sonderbeilage Straßenverkehrstechnik 11/2007
 Vortisch, P. (2005): Modellunterstützte Messwertpropagierung zur Verkehrslageschätzung in Stadtstraßennetzen. Dissertation an der Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften, TH Karlsruhe

Kirschbaum Online-Shop

Datei Bearbeiten Ansicht Favoriten Extras

Zurück - - -

Adresse http://www.kirschbaum.de

KIRSCHBAUM

Homepage

Online-Shop

Themen
 Buchtitel
 Zeitschriften
 Autoren
 Warenkorb
 Bestellung
 Hilfe
 AGB

Suche im Online-Shop

suchen

Sie brauchen Fachliteratur?
 In unserem Online-Shop finden sie **Fachbücher** und **Kommentare** zu

- Verkehrsrecht
- nationalem und internationalem Zulassungsrecht
- Problemen mit dem Führerschein
- Schulungen für die Führerscheinklassen C/D
- Fahrzeugtechnik
- Straßenbau
- Straßenverkehrstechnik

Unser Online-Shop bietet Ihnen unser gesamtes Verlagsprogramm zu diesen Themen und noch viele weitere interessante Angebote ...

Schauen Sie doch mal vorbei!

unter www.kirschbaum.de

Fertig

Start Kirschbaum Online-Sh...