

AMONES: Anwendung und Analyse modellbasierter Netzsteuerungsverfahren in städtischen Straßennetzen – Teil 1: Problemstellung und Methodik

Verfasserschriften:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Boltze,
boltze@verkehr.tu-darmstadt.de,

Dipl.-Ing. S. Kohoutek,
kohoutek@verkehr.tu-darmstadt.de,

Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Verkehrsplanung und Verkehrstechnik, Petersenstraße 30, 64287 Darmstadt;

Univ.-Prof. Dr.-Ing. F. Busch,
fritz.busch@tum.de,

Dipl.-Ing. J. Lüßmann,
jonas.luessmann@vt.bv.tum.de, Technische Universität München, Lehrstuhl für Verkehrstechnik, Arcisstraße 21, 80333 München;

Univ.-Prof. Dr.-Ing. B. Friedrich,
friedrich@tu-braunschweig.de, Dipl.-Inform. H. Löhner,
h.loehner@tu-braunschweig.de,

Technische Universität Braunschweig, Institut für Verkehr und Staudbauwesen, Rebenring 31, 38106 Braunschweig;

Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Friedrich,
markus.friedrich@isv.uni-stuttgart.de,

Dipl.-Ing. T. Otterstätter,
thomas.otterstaetter@isv.uni-stuttgart.de,

Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik, Pfaffenwaldring 7, 70569 Stuttgart

Manfred Boltze, Fritz Busch, Bernhard Friedrich, Markus Friedrich, Sven Kohoutek, Holger Löhner, Jonas Lüßmann und Thomas Otterstätter

Modellbasierte Netzsteuerungsverfahren sind bis jetzt in Deutschland nicht weit verbreitet. Die wesentlichen Hemmnisse für eine breite Umsetzung der Verfahren sind die Schnittstellenproblematik und die damit verbundenen hohen Investitionskosten sowie unzureichende Kenntnisse über die erzielbaren verkehrlichen und umweltbezogenen Wirkungen. Hier setzt das vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung geförderte Forschungsvorhaben AMONES an. Durch umfassende empirische Untersuchungen in zwei städtischen Testfeldern und ergänzende Simulationsstudien soll beantwortet werden, welche verkehrlichen und umweltbezogenen Vorteile und Wirkungen gegenüber den klassischen verkehrsabhängigen Steuerungsverfahren nachweisbar sind und welche Methoden sich zur Wirkungsermittlung eignen. Der erste Teil der dreiteiligen Veröffentlichung enthält einen Überblick über verschiedene LSA-Steuerungsverfahren. Es werden die Funktionsweise modellbasierter Steuerungen und die im Rahmen des Projekts verwendeten Erhebungs- und Analysemethoden erläutert. Der zweite Teil stellt die Ergebnisse der empirischen Untersuchungen in den Testfeldern Hamburg und Bremerhaven vor. Im dritten und letzten Teil werden die Ergebnisse diskutiert und Handlungsempfehlungen abgeleitet.

Up to now adaptive traffic signal control systems are not widely spread in Germany. Main obstacles for a wider propagation are interface problems and high investment costs, as well as insufficient knowledge regarding the benefits for traffic flow and environmental impacts. These are the core issues of the research project AMONES funded by the Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development. Comprehensive empirical studies in two urban test fields and complementary simulation studies shall clarify which traffic and environment related benefits and impacts can be identified compared to conventional traffic dependent signal control systems and which methods are suitable for the evaluation of impacts. The first part of the three-part publication contains an overview of different methods for signal control focusing on the functionality of adaptive traffic signal control systems. It describes the survey and analysis methods applied in the project. The second part presents the results of the empirical studies in the test fields Hamburg and Bremerhaven. In the third and last part the results are discussed and recommendations are derived.

1 Einleitung

Lichtsignalanlagen (LSA) beeinflussen den Verkehrsablauf in Straßennetzen. Sie steuern den Verkehrsfluss und haben gegebenenfalls Einfluss auf die Routenwahl (Bild 1). Aus der Routenwahl der einzelnen Fahrzeuge und dem Verkehrsfluss resultieren Wirkungen. Für deren Quantifizierung können u.a. die Verlustzeit, die Anzahl der Halte, der Kraftstoffverbrauch und die Emissionen herangezogen werden. Wichtiges Ziel einer Lichtsignalsteuerung ist es, die negativen Wirkungen des Verkehrs unter den gegebenen örtlichen Randbedingungen zu minimieren. Diese Randbedingungen umfassen alle externen Eingangs-

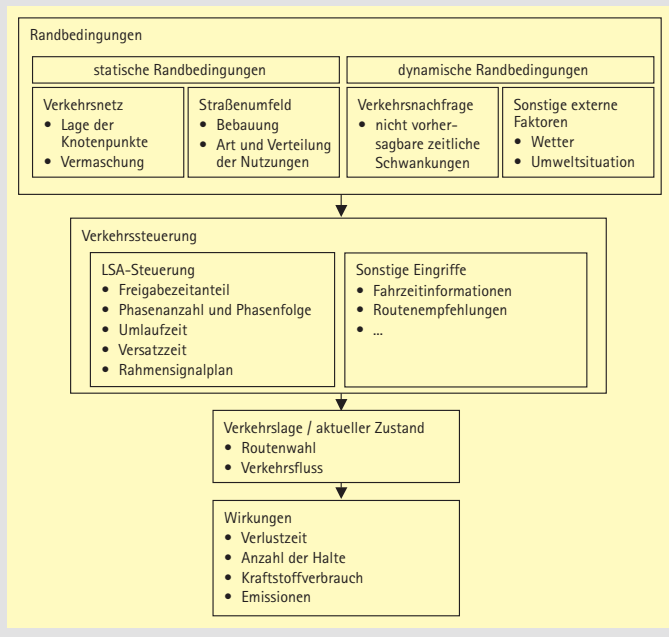
größen, die durch die LSA-Steuerung nicht beeinflusst werden können, aber durch sie berücksichtigt werden müssen. Das Verkehrsnetz gibt die Lage der Knotenpunkte und die Vermaschung vor, woraus Anforderungen an die Koordinierung entstehen. Die Nutzungen im Straßenumfeld können zu Anforderungen an die räumliche Verteilung der Haltevorgänge und Standzeiten führen, die lokale Lärm- und Schadstoffemissionen beeinflussen.

Die Verkehrsnachfrage ist durch räumliche und zeitliche Schwankungen gekennzeichnet. Um diese Dynamik bei der Steuerung zu berücksichtigen, sind in Deutschland verkehrsabhängige Steuerungsverfahren für LSA weit verbreitet.

Gegenüber einer Festzeitsteuerung sollen sie in erster Linie den Verkehrsfluss in städtischen Netzen verbessern und die Bevorrechtigung von Fahrzeugen des öffentlichen Nahverkehrs sicherstellen. Der überwiegende Teil dieser Verfahren steuert einzelne Knotenpunkte. Verfahren mit netzweit wirkender Verkehrsabhängigkeit werden noch vergleichsweise selten eingesetzt.

Bei lokal verkehrsabhängigen Steuerungsverfahren handelt es sich in den meisten Fällen um regelbasierte Verfahren, die ein vorgegebenes Signalprogramm aufgrund aktueller Detektorwerte (z.B. Zeitlücken im Kfz-Strom oder Anmeldung eines ÖPNV-Fahrzeugs) modifizieren oder dieses

Bild 1: Wirkungszusammenhänge bei der Lichtsignalsteuerung



auf der Grundlage einer vorgegebenen Logik dynamisch zusammenstellen. Bei hohen Verkehrsstärken führt die kontinuierliche Belegung der Detektoren jedoch dazu, dass die Steuerungslogik im Ergebnis einer Festzeitsteuerung entspricht. Eine weitergehende Anpassung an die Verkehrsnachfrage kann dadurch erreicht werden, dass auf Netzebene durch eine regelbasierte Signalprogrammauswahl die für die verkehrsabhängige Lokalsteuerung jeweils verbindlichen Rahmensignalpläne dynamisch ausgewählt werden. Modellbasierte Netzsteuerungen gehen hier noch einen Schritt weiter, indem sie die aktuelle Stärke der Verkehrsströme über mehrere Lichtsignalanlagen hinweg, im Idealfall für das gesamte gesteuerte Netz, kennen und prognostizieren und damit eine netzbezogene Optimierung der LSA-Steuerung ermöglichen.

Modellbasierte Netzsteuerungsverfahren wie z. B. BALANCE oder MOTION sind bis jetzt in Deutschland trotz erfolgreicher Pilotinstallationen noch nicht weit verbreitet und kommen derzeit nur in wenigen Teilnetzen zum Einsatz.

Rückmeldungen aus einer repräsentativen Befragung von deutschen Städten lassen die Schlussfolgerung zu, dass die wesentlichen Hemmnisse seitens der Baulastträger hohe Investitionskosten und Unsicherheiten bezüglich der erzielbaren Wirkungen und der Handhabbarkeit der Verfahren sind. Das Forschungsprojekt AMONES hat das Ziel, die letzten beiden Punkte und die folgenden Fragestellungen durch umfassende empirische Untersuchungen in zwei städtischen Testfeldern

in Hamburg und Bremerhaven durch ergänzende Simulationsstudien zu beantworten:

- Welche verkehrlichen Vorteile erzielen modellbasierte Steuerungsverfahren gegenüber herkömmlichen verkehrsabhängigen Steuerungsverfahren insbesondere durch eine gute Koordinierung der Lichtsignalanlagen im Netz?
- Welche umweltbezogenen Wirkungen sind mit modellbasierten Steuerungsverfahren erreichbar? Welche Beiträge können zur Reduzierung und besseren räumlichen Verteilung von Luftschadstoffen und damit zur Einhaltung von Immissionsgrenzwerten (z. B. zur Feinstaubbelastung) in städtischen Straßennetzen geleistet werden?
- Welches Maß an Verbesserung ist bereits mit der systemtechnisch einfachen Möglichkeit der regelbasierten Signalprogrammauswahl bei geringen Investitionskosten zu erreichen?
- Welche Messansätze sind geeignet, um zuverlässige Aussagen über die verkehrlichen und umweltbezogenen Wirkungen einer Steuerung machen zu können?

Hierzu wurde in den Testfeldern Hamburg und Bremerhaven über jeweils zehn Tage der Verkehrsablauf erfasst. In diesem Zeitraum wurden die LSA-Steuerungsverfahren wie folgt variiert:

- Festzeitsteuerung FZS (drei Tage),
 - Lokale regelbasierte Steuerung LRS (drei Tage),
 - Modellbasierte Netzsteuerung BALANCE/MOTION (vier Tage).
- Zusätzlich wurden mikroskopische Ver-

kehrsflusssimulationen für die realen Testfelder und für ein virtuelles Testfeld durchgeführt, in denen ebenfalls die genannten Steuerungsverfahren sowie weitere Szenarios untersucht wurden. Die Simulationen wurden mit VISSIM [PTV 2008] durchgeführt.

2 Verfahren der LSA-Steuerung

Im Rahmen von AMONES werden für die untersuchten Steuerungsverfahren folgende sechs Klassen unterschieden:

- Unter *Festzeitsteuerung (FZS)* wird eine zeitabhängige Signalprogrammauswahl für die einzelnen Knotenpunkte eines Gebiets verstanden. Eine vorab vorgenommene Koordinierung der Signalprogramme ist dabei möglich.
- Eine *lokale regelbasierte Steuerung (LRS)* stellt eine verkehrsabhängige Signalprogrammanpassung an einem Knotenpunkt dar, die auf der Grundlage einer in einem Flussdiagramm herbeigeführten Entscheidung beruht.
- Unter einer *lokalen modellbasierten Steuerung (LMS)* wird eine verkehrsabhängige, lokale Signalprogrammanpassung verstanden, die auf einer modellbasierten Wirkungsanalyse beruht.
- Bei der *netzweiten regelbasierten Steuerung (NRS)* handelt es sich um eine netzweite verkehrsabhängige Auswahl, Bildung oder Anpassung von Signalprogrammen.
- Die *netzweite modellbasierte Signalprogrammauswahl (NMSA)* wählt aufgrund einer modellbasierten Wirkungsanalyse online das günstigste Set aus vorab für bestimmte Nachfragesituationen geplanten Signalprogrammen.
- Die *netzweite modellbasierte Steuerung (NMS)* umfasst Verfahren, die aufgrund von modellbasierten Wirkungsanalysen eine netzweite verkehrsabhängige Signalprogrammbildung bzw. -anpassung realisieren. In AMONES wird diese Klasse durch die untersuchten Verfahren MOTION und BALANCE repräsentiert.

2.1 Regelbasierte Steuerung

Regelbasierte Steuerungsverfahren nutzen Kenngrößen, die direkt aus dem Verkehrsfluss gewonnen und über Plausibilitätsannahmen mit der Steuerungslogik verknüpft werden. Aus den gemessenen Kenngrößen werden mit Hilfe von logischen Bedingungen Rückschlüsse auf den



Wieso sehe ich hier
auf einmal
jeden Tag Grün?



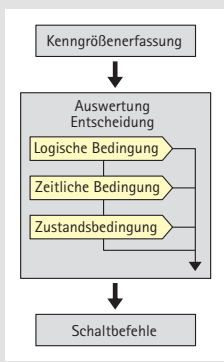
Unsere Lösungen für den Stadtverkehr: Weniger Staus, weniger Lärm, weniger Abgase

Die Straßen bleiben gleich, der Verkehr nimmt zu – und trotzdem kommen alle schneller voran! In Münster haben wir 24 Kreuzungen auf einem 6 Kilometer langen Straßenabschnitt mit einer dynamischen Grünen Welle ausgerüstet. Damit sind die extrem häufigen Ampel-Stopps auf dieser wichtigen Verkehrsachse vorbei. PKW wie auch Busse kommen nun um 35 % schneller voran, brauchen dabei pro Werktag 2500 Liter weniger Kraftstoff und blasen jährlich über 1000 Tonnen weniger CO₂ in die Luft. Mehr: www.siemens.com/mobility

Answers for mobility

SIEMENS

Bild 2: Regelbasierte Umsetzung eines Steuerungsverfahrens, nach RiLSA [FGSV 2010]



Verkehrszustand im Zufahrtstrom gezogen, die zu bestimmten Steuerungsentscheidungen führen. Bei der Umsetzung regelbasierter Steuerungsverfahren wird meist sekundlich das im Bild 2 dargestellte Flussdiagramm durchlaufen.

Bei der Kenngrößenerfassung werden über Detektoren im Straßenraum verkehrliche Kenngrößen wie Zeitlücken und Belegungsgrade erfasst und gegebenenfalls weitere, nicht direkt messbare Kenngrößen abgeschätzt. Letzteres können beispielsweise mittlere Wartezeiten oder Staulängen sein.

Um nun Steuerungsentscheidungen ableiten zu können, werden die Kenngrößen mit vorab formulierten Bedingungen verknüpft. Dazu wird ein Flussdiagramm durchlaufen, das aus logischen, zeitlichen und zustandsbezogenen Bedingungen die zugehörigen Aktionen herbeiführt. Neben den erfassten Kenngrößen gehen in den Entscheidungsprozess Vergleichs- und Schwellenwerte wie beispielsweise maximale Zeitlückenwerte oder Belegungsgrade und Rahmenvorgaben wie erlaubte Freigabebereiche ein. Abschließend wer-

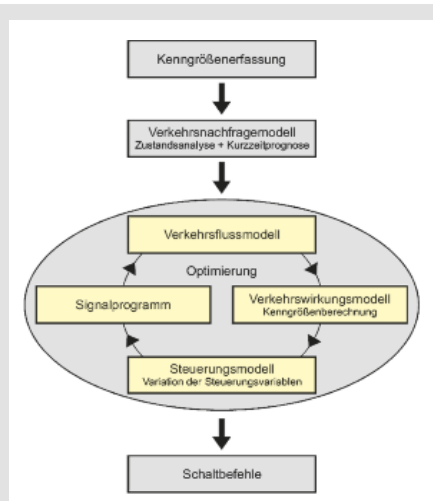


Bild 3: Modellbasierte Umsetzung eines Steuerungsverfahrens, nach RiLSA [FGSV 2010]

den die getroffenen Steuerungsentscheidungen in Schaltbefehle umgesetzt.

Mit einem regelbasierten Steuerungsverfahren kann sowohl eine Signalprogrammanpassung (Freigabezeitenanpassung, Phasenanforderung, Phasentausch oder Versatzzeitenanpassung) als auch eine Signalprogrammierung realisiert werden. Die zugehörigen Entscheidungs- und Steuerungslogiken können jedoch schnell sehr komplex werden.

2.2 Modellbasierte Steuerung

„Die modellbasierte Umsetzung der Steuerungsverfahren basiert nicht direkt auf den erhobenen Kenngrößen, sondern auf den in einem Modell weiterverarbeiteten Werten“ [FGSV 2010]. Der wesentliche Unterschied zu regelbasierten Steuerungsverfahren ist der Einsatz von Verkehrsmodellen. Mit diesen werden aus den aktuellen Messdaten und unter Zuhilfenahme von historischen Messwerten die Verkehrsnachfrage und die damit in Verbindung stehenden Wirkungsgrößen prognostiziert. Basierend darauf wird die Steuerung dann in einem iterativen Prozess optimiert (Bild 3).

Mit einem modellbasierten Steuerungsverfahren kann sowohl eine Signalprogrammanpassung (Freigabezeitenanpassung, Phasenanforderung, Phasentausch oder Versatzzeitenanpassung) als auch eine Signalprogrammierung realisiert werden.

Im ersten Schritt werden in Abhängigkeit der Art des Verkehrsnachfragemodells Messwerte zur Verkehrsstärke in relevanten Zu- und Abfahrten sowie im Zuge wichtiger netzinterner Ströme erfasst. Des Weiteren können Auslastungs- und Sättigungsgrade, Abbiegeströme, detaillierte Zuflussganglinien und Rückstaulängen, sowie zusätzliche Rahmenvorgaben des übergeordneten Verkehrsmanagements in die Erfassung einfließen.

Mit einem Verkehrsnachfragemodell werden die real gemessenen Daten vervollständigt. In der Regel werden aus den gemessenen Verkehrsstärken und den aktuellen Schaltzuständen der Lichtsignalanlagen eine Zustandsanalyse, sowie eine Kurzzeitprognose erstellt. Das Nachfragemodell liefert dabei Informationen über die Ströme im Netz, Strombelastungspläne und Stromhierarchien.

Das Verkehrsflussmodell bildet aus den oben genannten Eingangsdaten und den berechneten LSA-Steuerungsgrößen den Verkehrsablauf im Optimierungsintervall nach. Das Verkehrswirkungsmodell bewert-

et den ermittelten Verkehrsablauf. Bewertungskenngrößen können Wartezeiten, Anzahl der Halte, Fahrzeiten, Staulängen, verkehrstrombezogene Auslastungsgrade, Verkehrszustände (Level of Service) oder Emissionen sein. Die Verkehrsmodelle in modellbasierten Steuerungsverfahren werden über ihre Modellparameter kalibriert. Zu den Verkehrsmodellparametern können z.B. Pulkauflösung, Zeitbedarfswert für die Fahrzeugströme im Knotenpunkt und Fahrzeiten bzw. Progressionsgeschwindigkeiten gehören.

Die Optimierung der Steuerungsgrößen erfolgt über eine Zielfunktion. Dazu werden die im Verkehrsflussmodell ermittelten Kenngrößen (Wartezeit, Anzahl der Halte usw.) die jeweils auf Grundlage eines Steuerungsvorschlages ermittelt werden, mit einer festzulegenden Gewichtung zu einem Qualitätsindex (Performance Index) zusammengefasst. Ein Testen aller möglichen Lösungen (vollständige Enumeration) ist mit zunehmender Netzgröße und Anzahl der einbezogenen Steuerungsgrößen nicht mehr möglich. Es werden daher Optimierungsalgorithmen und Optimierungsstrategien eingesetzt.

Die ermittelten Steuerungseinstellungen mit dem besten Qualitätsindex werden an die Steuergeräte übermittelt.

3 Methoden zur Erfassung und Auswertung

3.1 Verkehrliche Kenngrößen

Der Straßenverkehr ist die Menge der Ortsveränderungen, die von Personen mit Fahrzeugen oder zu Fuß im Straßennetz durchgeführt werden. Um den Verkehrszustand zu einem Zeitpunkt oder den Verkehrsablauf in einem Zeitraum quantifizieren zu können, sind Kenngrößen erforderlich, die die Wirkungen des Verkehrs auf die Verkehrsteilnehmer und auf die Netzbetreiber beschreiben. Im Idealfall werden diese Kenngrößen aus einer vollständigen Zustandsbeschreibung, d.h. den Trajektorien (Zeit-Weg-Verläufen) der Ortsveränderungen aller Verkehrsteilnehmer, berechnet. Die Praxis ist allerdings weit davon entfernt, diese Möglichkeit zu bieten. Grundsätzlich können heute Ortsveränderungen von Verkehrsteilnehmern mit GPS-Geräten genau aufgezeichnet werden. Eine kontinuierliche Erfassung aller Verkehrsteilnehmer ist mit dieser Technik aber derzeit noch nicht möglich. Um dem Idealfall möglichst nahe zu kom-

men, werden im Rahmen von AMONES die folgenden Erfassungsmethoden kombiniert (Bild 4, oberste Zeile):

- GPS-Messfahrzeuge,
- Automatische Kennzeichenerfassung (Automatic Number Plate Recognition oder ANPR),
- Lokale Querschnittszählungen (manuell und Induktionsschleifen).

Die Trajektorien eines GPS-Messfahrzeuges liefern alle wesentlichen Kenngrößen für die Qualitätsbeurteilung einer LSA-Steuerung (Fahrzeit, Wartezeit, Anzahl der Halte), stellen aber nur eine kleine Stichprobe der Verkehrsteilnehmer dar. ANPR-Systeme (siehe auch [Friedrich et al. 2009]) liefern Fahrzeiten für ein großes Kollektiv der Verkehrsteilnehmer und lösen das Problem der kleinen Stichprobengröße bei Messfahrten. Verkehrsstärken aus lokalen Querschnittszählungen erlauben eine Quantifizierung und Bewertung der erhobenen Kenngrößen. Eine Fusion dieser drei Datenquellen liefert die folgenden Ergebnisse (Bild 4, untere drei Zeilen):

- Mittlere Fahrzeiten nach Relationen und Zeitraum
Aus den gefilterten ANPR-Fahrzeiten

werden für jede beobachtete Relation mittlere Fahrzeiten für eine Stunde berechnet.

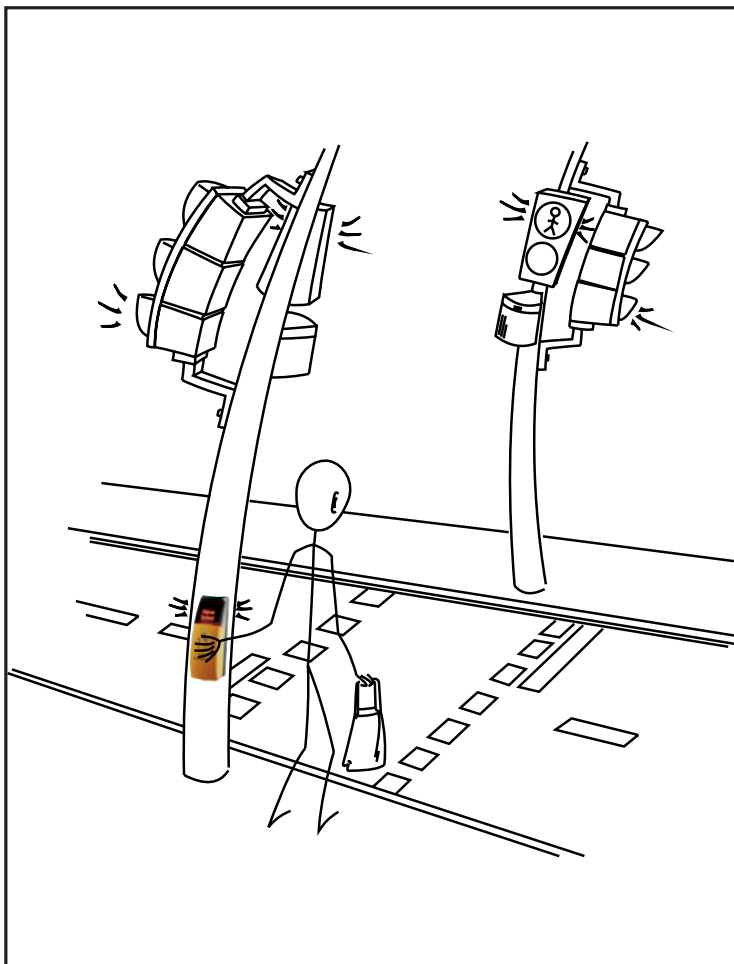
- Mittlere Anzahl der Halte nach Relation und Zeitraum
Die ANPR-Fahrzeiten ermöglichen in Kombination mit der Umlaufzeit und den GPS-Messfahrten eine Ableitung der mittleren Anzahl der Halte.
- Stundenfeine Nachfragestruktur
Die Durchgangverkehrsanteile der ANPR-Fahrzeiten erlauben zusammen mit den lokalen Querschnittszählungen die Berechnung des Durchgangsverkehrs. Bei der Hochrechnung der beobachteten Verkehrsstärken jeder Relation auf die gezählte Grundgesamtheit kommt das Verfahren der Entropiemaximierung nach [Willumsen 1978] zum Einsatz. Die Durchgangsverkehrsstärken auf den einzelnen Relationen ermöglichen die Quantifizierung und den Vergleich der Kenngrößen auf verschiedenen Relationen.
- Stundengruppen ähnlicher Verkehrsnachfragestruktur
Basierend auf der durch den Durchgangsverkehr und die lokalen Verkehrs-

stärken bestimmten Verkehrsnachfragestruktur wird eine Clusterung durchgeführt (siehe dazu [Jain, Dubes 1988] oder [Zahn 1971]). Die Clusterung fasst Stunden mit ähnlicher Struktur zusammen und ermöglicht einen Vergleich von Kenngrößen bei ähnlicher Verkehrsnachfragestruktur (z.B. „Morgenspitze“, „niedriger Morgenverkehr“, „Mittagsverkehr“).

- Ganglinien der mittleren Kenngrößen (Fahrzeiten, Anzahl der Halte) für einen durchschnittlichen Tag nach LSA-Steuerungsverfahren
Das Ergebnis der Clusterung erlaubt die Bildung von durchschnittlichen Verkehrstagen, die eine direkte Gegenüberstellung der verschiedenen Steuerungsverfahren ermöglichen. Dafür werden die Kenngrößen jedes Steuerungsverfahrens, gewichtet nach den Clusteranteilen, zusammengefasst. So setzt sich der Zeitraum von 6:30 bis 7:30 Uhr z.B. aus 75% „Morgenspitze“ und 25% „niedriger Morgenverkehr“ zusammen.

3.2 Umweltbezogene Kenngrößen

Zur Beantwortung der Frage, inwieweit



Geschätzte

31.297.641

Fußgänger drücken uns täglich.

Taster „Berlin“

Seit 1997 haben sich Taster von RTB zum Qualitätsstandard an Lichtzeichenanlagen entwickelt. Mit ausgezeichnetem Design, wahlweise Sensorfläche oder Mechanik und für alle Spannungsvarianten.

Danke, dass Sie uns wertschätzen.



RTB GmbH & Co. KG | Tel. 05252 9706-0 | www.rtb-bl.de

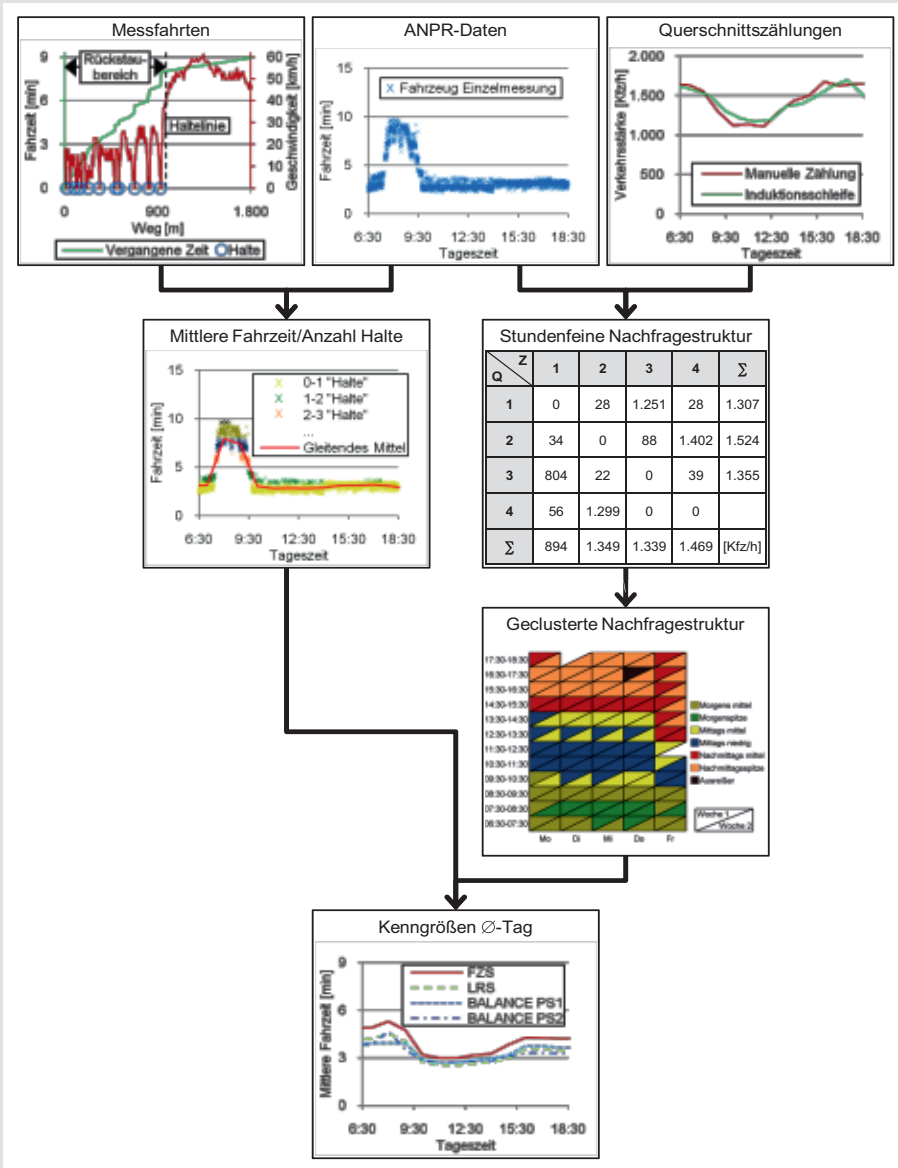
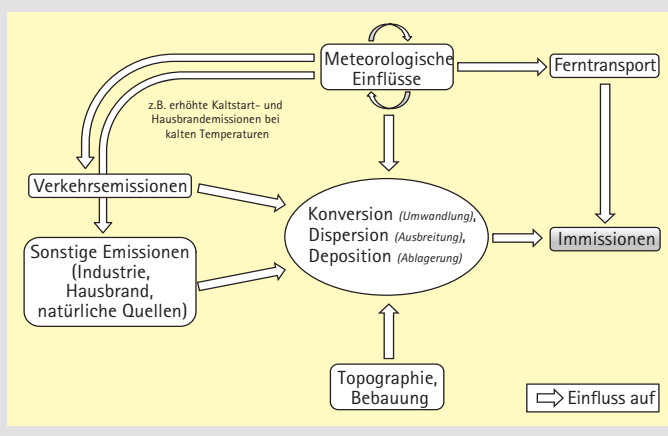


Bild 4: Bearbeitungsablauf für die Verarbeitung der verkehrlichen Kenngrößen

Bild 5: Einflüsse auf die Immissionsbelastung mit Luftschadstoffen



die modellbasierte Netzsteuerung zur Einhaltung der Europäischen Luftqualitäts-grenzwerte für Feinstaub und Stickoxid beitragen kann, ist eine Betrachtung der immissionsbezogenen Wirkungen der LSA-Steuerung erforderlich. Die Quantifi-

zierung dieser Wirkungen gestaltet sich jedoch schwierig: So lassen sich mittels physikalischer Immissionsmessungen die Einflüsse des Verkehrs nicht isoliert, sondern nur in Kombination mit einer Vielzahl weiterer Einflüsse, die zum Teil in

Wechselwirkung miteinander stehen, erfassen (Bild 5). Beispielhaft sei hier der Einfluss der Temperatur auf die Kaltstartemissionen des Verkehrs genannt. Zudem wird ein Großteil der eingesetzten Immissionsmesstechnik mit einer zeitlichen Auflösung von Stundenmittelwerten betrieben, so dass die hohe Varianz des Verkehrsflusszustands nicht ausreichend berücksichtigt wird.

Alternativ zur physikalischen Messung können die Wirkungen verkehrlicher Maßnahmen mittels Modellen quantifiziert werden. Neben günstigeren Betriebskosten und der hohen Transparenz ihrer Ergebnisse bieten Modelle den wesentlichen Vorteil, dass nicht nur punktuelle, sondern auch flächendeckende Aussagen bezogen auf ein ganzes Straßennetz möglich sind. Allerdings weisen die heutigen Modelle aufgrund der komplexen Wirkungszusammenhänge, aber auch aufgrund ungenauer sowie zeitlich und/oder räumlich stark aggregierter Eingangsgrößen häufig Abweichungen zu physikalisch gemessenen Werten in einer Größenordnung von 20 bis 40% auf. Es muss jedoch davon ausgegangen werden, dass Maßnahmen zur Verbesserung des Verkehrsflusses ein Reduktionspotenzial haben, das nur in der Größenordnung eines Bruchteils der Unsicherheit der Modelle liegt (vgl. z.B. [Hirschmann, Fellendorf 2009]). Eine Bewertung der immissionsbezogenen Wirkungen der LSA-Steuerung mit gängigen Ansätzen und Eingangsgrößen erscheint daher nicht ausreichend.

Aus diesen Gründen werden in AMONES zwei Ansätze verfolgt, um die umweltbezogenen Wirkungen der LSA-Steuerung zu ermitteln (Bild 6):

1. Ermittlung der *immissionsbezogenen Wirkungen* an einem Umwelt-HotSpot: Hierzu werden straßenseitige Immissionen, ebenso wie meteorologische und verkehrliche Kenngrößen zeitlich hoch aufgelöst (Messintervalle < 1 Minute) erfasst, um auch die Wirkungen kurzzeitiger Störungen im Verkehrsfluss bewerten zu können. Die maßgebenden Einflussgrößen auf die lokale Immissionsbelastung werden identifiziert und quantifiziert. Sofern der Einfluss einer erfassten Verkehrsflusskenngröße (z.B. Anfahrvorgänge) in den gemessenen Immissionen erkennbar ist, werden immissionsbezogene Wirkungspotenziale der verbesserten Koordinierung durch die modellbasierte Steuerung abgeleitet.
2. Ermittlung der *emissionsbezogenen Wirkungen im gesamten Netz*: Hierzu

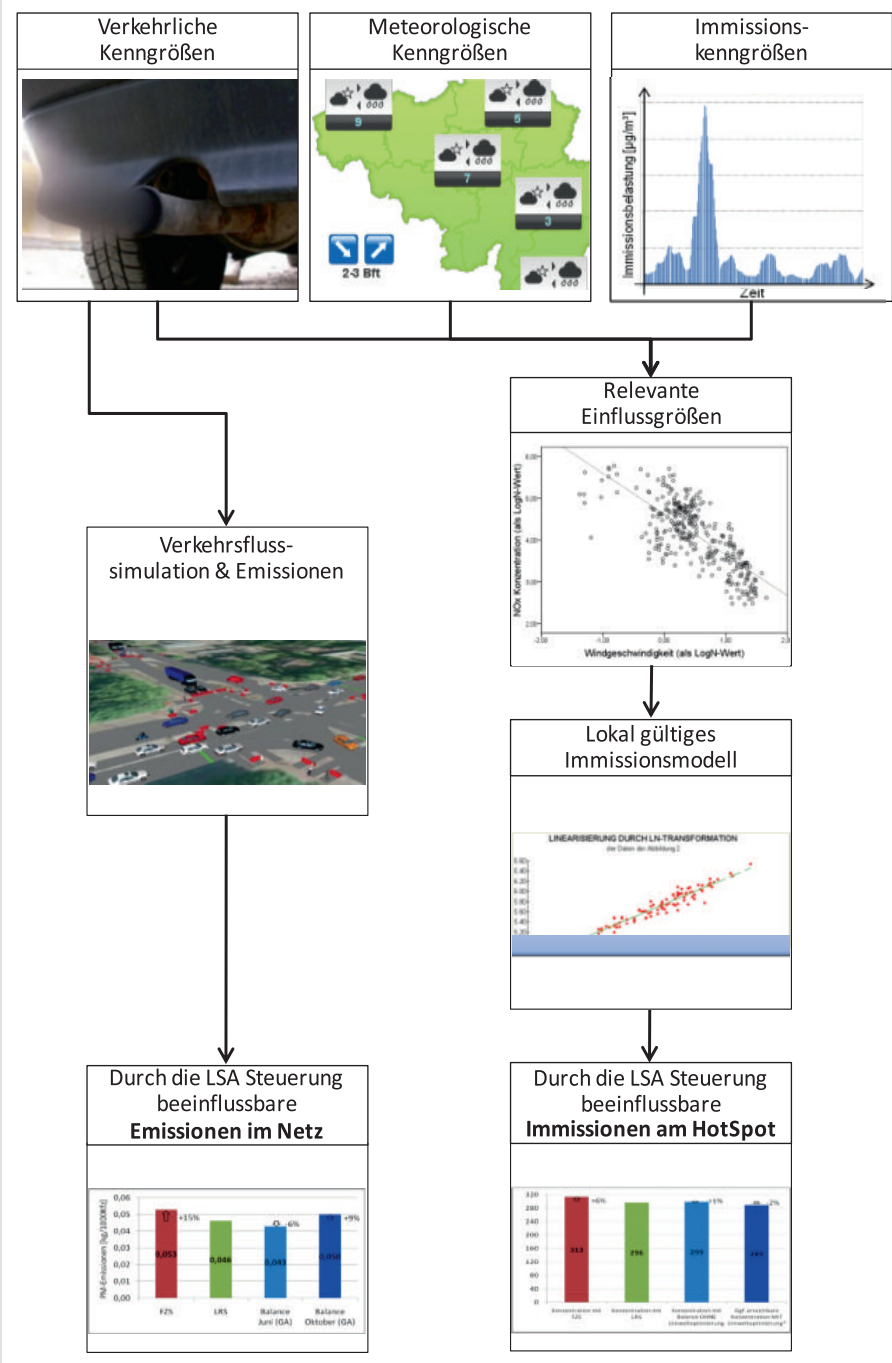


Bild 6: Bearbeitungsablauf für die Verarbeitung der Umweltkenngrößen

werden die mit Emissionskennfeldern gekoppelten mikroskopischen Verkehrsfluss-simulationen hinsichtlich der motorbedingten Emissionen ausgewertet.

Die lokalen Immissionen am HotSpot werden differenziert nach folgenden Wirkungszusammenhängen untersucht:

- Wirkungszusammenhänge, die sich aus Änderungen im Tagesgang einzelner Verkehrskenngrößen ergeben. Hier werden vor allem tageszeit- und wochentagbedingte Schwankungen der Verkehrsnachfrage und der Qualität des

Verkehrsablaufs untersucht. Dabei muss aber einschränkend festgehalten werden, dass mit nur 10 Messtagen je Testfeld kein allgemein gültiges Modell für den Tagesgang der Immissionsbelastung entwickelt werden kann.

- Wirkungszusammenhänge, die kurzzeitige Schwankungen von Verkehrskenngrößen im einzelnen Umlauf (unabhängig vom Tagesgang) betreffen. Der praktische Nutzen der Kenntnis solcher kurzzeitiger oder hochfrequenter Wirkungszusammenhänge kann in Maßnahmen wie beispielsweise einer geziel-

Sichere Leitlinien

Autobahnen | Straßen | Radwege



Der Spezialist für Kaltplastiken

Preco-Markierungen gewährleisten jederzeit eine hohe Verkehrssicherheit – ob am Tage oder bei Nacht, Nässe oder Hitze. Bei jedem Wetter und jeder Witterung ist die Funktionstüchtigkeit der Markierung dauerhaft und zuverlässig gegeben.

Objektreferenzen aus fast 20 Jahren beweisen die Qualität der Triflex-Produkte. Nutzen Sie diese Vorteile!

Triflex®

Triflex GmbH & Co. KG
 Karlstraße 59 | D-32423 Minden
 Tel. +49 571 38780-0
 Fax +49 571 38780-738
 info@triflex.de | www.triflex.de
 Ein Unternehmen der Follmann-Gruppe

ten Grünzeitverlängerung für Fahrzeugpuls zur Vermeidung von einzelnen Immissionsspitzenbelastungen resultieren. Zur Untersuchung der kurzfristig erkennbaren Wirkungen werden die gemessenen Zeitreihen um den Tagestrend bereinigt und mit einer zeitlichen Auflösung von 5 bis 10 Minuten (je nach Umlaufzeit der LSA) untersucht.

3.3 Simulation

Der wesentliche Vorteil der Simulation gegenüber der Messung liegt darin, dass in der Simulation nicht nur die Fahrzeuge auf den mittels Messtechnik erfassten Relationen sondern alle Fahrzeuge im Netz in die Auswertung einbezogen werden können. Zudem bietet die Simulationsumgebung die Möglichkeit, unter ansonsten gleichbleibenden (*ceteris paribus*) Bedingungen Steuerungsvarianten zu untersuchen, die in der Realität gar nicht oder zumindest nicht unter identischen Bedingungen zum Einsatz kommen. Hierdurch konnte im Projekt zum einen die Aussagekraft für die real gemessenen Situationen erhöht werden und zum anderen war die Untersuchung zusätzlicher Szenarios möglich.

Um belastbare Aussagen auf der Grundlage simulierter Ergebnisse sicherstellen zu können, wurden die Simulationsumgebungen für die Testfelder Hamburg und Bremerhaven gemäß der in „Hinweise zur mikroskopischen Verkehrsflussimulation“ [FGSV 2006] beschriebenen Vorgehensweise kalibriert und validiert. Als Zielkenngrößen wurden dabei die Verkehrsstärken und Fahrzeiten aus den Feldmessungen verwendet. Anschließend wurden die verschiedenen Szenarios simuliert, wobei zur Schaffung einer hinreichenden statistischen Aussagekraft in der Regel 20

Simulationsläufe pro Szenario und Steuerungsvariante durchgeführt wurden.

Für die verkehrliche Bewertung werden in den Simulationsszenarios im Wesentlichen die Verlustzeiten und die Anzahl der Halte im gesamten Netz betrachtet. Die Anzahl der Halte und die daraus resultierenden Wartezeiten des Öffentlichen Personennahverkehrs werden dabei gesondert ausgewertet. „In einer Verlustzeitmessung wird über alle betrachteten Fahrzeuge auf einem oder mehreren Streckenabschnitten der mittlere Zeitverlust gegenüber der idealen Fahrt (ohne andere Fahrzeuge, ohne Signalisierung) ermittelt“ [PTV 2008]. Es wird also die tatsächliche Fahrzeit mit der für das jeweilige Fahrzeug ermittelten Wunschgeschwindigkeit verglichen. Im Gegensatz zur Auswertung der realen Messungen wird hier allerdings keine einheitliche Wunschgeschwindigkeit angenommen, sondern die dem Fahrzeug in der Simulation tatsächlich zugewiesene Wunschgeschwindigkeit. Daraus ergeben sich für die Auswertung leichte Unterschiede im Absolutwert zwischen Simulation und realen Messungen.

Für die Betrachtung der Anzahl der Halte ist zunächst festzulegen, was von der Simulationssoftware als „Halt“ definiert werden soll. Ein Halt wird in VISSIM dadurch definiert, dass ein Fahrzeug die Eintrittsgeschwindigkeit der Staubedingung unterschreitet [PTV 2008]. Für die Staubedingungen wurden die Standardeinstellungen aus VISSIM übernommen. Danach wird ein Halt gezählt, sobald ein Fahrzeug eine Geschwindigkeit von 5 km/h unterschreitet. Ein weiterer Halt für dasselbe Fahrzeug wird erst gezählt, wenn es zuvor eine Geschwindigkeit von 10 km/h wieder überschritten hat. „Für jedes ÖV-Fahrzeug wird jeder Halt, der nicht aufgrund eines Fahrgastwechsels oder wegen eines Stopp-

schildes stattfindet, mit Zeitdauer protokolliert“ [PTV 2008].

Die eingesetzte VISSIM-Version ist mit Emissionskennfeldern verknüpft, die auf Messreihen der Universität Graz und des Volkswagen-Konzerns beruhen. Emissionskennfelder beschreiben die Emissionen von Kraftfahrzeugen in Abhängigkeit von operativen Parametern wie der Drehzahl oder dem Luft-Kraftstoff-Verhältnis. In VISSIM werden die Pkw-Emissionen auf Grundlage der Geschwindigkeit und des Produkts aus Beschleunigung und Geschwindigkeit und die Lkw-Emissionen auf Grundlage von Drehzahl und Leistung für eine definierte Flottenzusammensetzung modelliert [PTV 2005]. Ausgewertet werden schließlich die Emissionen und der Kraftstoffverbrauch in Kilogramm auf den Hauptrelationen und im gesamten Netz, differenziert nach Fahrzeugklassen und Kraftstoffarten.

Literaturverzeichnis

- FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2006): Hinweise zur mikroskopischen Verkehrsflussimulation, FGSV Verlag, Köln.
- FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2010): RiLSA, Richtlinien für Lichtsignalanlagen, FGSV Verlag, Köln.
- Friedrich, M.; Jehlicka, P.; Schlaich, J. (2009): Erfassung von Verkehrsdaten mit automatischen Kennzeichenerfassungssystemen, Straßenverkehrstechnik, Heft 12/2009, Kirschbaum Verlag, Bonn.
- Hirschmann, K.; Fellendorf, M. (2009): Emission minimizing traffic control – simulation and measurements, mobil.TUM2009 International Scientific Conference on Mobility and Transport ITS for larger Cities, München.
- Jain, A.; Dubes, R. (1988): Algorithms for Clustering Data, Upper Saddle River, NJ, Prentice-Hall.
- PTV AG (2005): Emission modeling in VISSIM – The Volkswagen Emission model, vorgestellt von Vortisch, P. im Rahmen eines AMONES-Partnertreffens am 23.4.2008 in Stuttgart.
- PTV AG (2008): VISSIM 5.0 Benutzerhandbuch, Karlsruhe.
- Willumsen, L.G. (1978): Estimation of an O-D Matrix from Traffic Counts – A Review, Institute for Transport Studies, University of Leeds, UK.
- Zahn, C.T. (1971): Graph-theoretical methods for detecting and describing Gestalt clusters, IEEE Transactions on Computers, Vol. C-20, Issue 1, pp. 68–86.

Der Beitrag wird in Heft 6/2011 dieser Zeitschrift mit dem Teil 2: „Analyse und Ergebnisse“ fortgesetzt und in Heft 7/2011 mit dem Teil 3: „Evaluierung und Handlungsempfehlungen“ abgeschlossen.

Besuchen Sie uns
im Internet unter

www.kirschbaum.de

**Straßen-
verkehrstechnik**