

Verkehrsbeobachtung mit digitaler Bildverarbeitung: Aufgaben und Lösungsansätze

A. Leich¹, H.-J. Jentschel²

TU Dresden, Institut für Verkehrsinformationssysteme³
Mommsenstr. 13, 01069 Dresden, Germany

Abstract: Deployment of image processing in traffic surveillance is problematic, because inductive loop detectors outperform videobased solutions in respect of accuracy and reliability. Here, we discuss the use of wide area video surveillance for tasks like measuring wide area traffic flow parameters, where inductive loop detectors cannot be deployed. Among these, traffic density is essential for determining traffic state. Wide area traffic surveillance by means of image processing is in principle feasible, but complicated because of occlusion problems. An approach for occlusion robust measurement of traffic density is described in this paper.

Kurzfassung: Trotzdem seit mehreren Jahren videogestützte Detektoren verfügbar sind, setzen sich diese in der verkehrstechnischen Praxis nicht durch, da sie konventionellen Schleifendetektoren hinsichtlich Zuverlässigkeit und Zählgenauigkeit unterlegen sind. In diesem Beitrag wird der Einsatz von videobasierten Methoden zur weiträumigen Verkehrsbeobachtung für Aufgaben diskutiert, die mit herkömmlichen Detektoren nicht gelöst werden können. Die Verkehrsdichte ist eine wesentliche Kenngröße für die Beurteilung des Verkehrszustands. Eine videobasierte weiträumige Messung der Verkehrsdichte mit digitaler Bildverarbeitung ist prinzipiell möglich, aber aufgrund von Verdeckungsproblemen kompliziert. In diesem Beitrag wird ein Ansatz zur Dichtebestimmung mit Verdeckungskompensation dargestellt.

Key Words / Schlagworte: Image Processing; Traffic Surveillance; Traffic Flow Parameters; Bildverarbeitung; Verkehrsdichtebestimmung; Verkehrszustandsidentifikation

¹E-mail: leich@vini.vkw.tu-dresden.de

²E-mail: jentschel@vini.vkw.tu-dresden.de

³URL: <http://vini25.vkw.tu-dresden.de/vinije>

1 Einleitung

Verglichen mit Sensoren, wie sie beispielsweise im Umfeld der industriellen Automatisierung zum Einsatz kommen, sind die Anforderungen an Sensoren in der Verkehrstechnik hoch, weil Verkehrssensoren in verschiedenen Witterungssituationen funktionstüchtig sein müssen. Das ist einer der Gründe dafür, dass gegenwärtig in der Praxis vorwiegend induktive Sensoren (Schleifendetektoren) eingesetzt werden. Videobasierte Detektoren konnten sich bisher nicht durchsetzen, obwohl sie seit mehreren Jahren kommerziell verfügbar sind.

Eine vorliegende Analyse zum Stand der Technik [7] hat gezeigt, dass der Einsatz videobasierter Detektoren in der Praxis je nach Aufgabengebiet sehr differenziert gesehen werden muss. Wenn videobasierte Detektoren für Aufgaben eingesetzt werden, bei denen sie mit Schleifendetektoren konkurrieren, so sind sie diesen hinsichtlich der Zuverlässigkeit und Genauigkeit unterlegen. Solche Aufgaben sind u.a. die Zählung und Klassifizierung von Fahrzeugen an Zählquerschnitten, wie beispielsweise Dauerzählstellen, Mautstationen und Streckenstationen von Verkehrsbeeinflussungsanlagen. In der Verkehrstechnik werden diese Zählaufgaben mit dem Begriff *Querschnittszählung* bezeichnet. Richtlinien für die Qualität von Detektoren für Querschnittszählungen, wie beispielsweise die TLS, können beim gegenwärtigen Stand der Technik mit videogestützten Detektoren nicht eingehalten werden. Das Messprinzip aktuell verfügbarer videogestützter Detektoren beruht darauf, dass bei der Installation Bildbereiche (optische Schleifen) festgelegt werden, deren Belegungszustand ausgewertet wird [1]. Witterungseinflüsse bereiten hierbei Probleme [2-5]. Ein Vergleichstest von videogestützten Detektoren für Querschnittszählungen, wobei unter anderem die verbreiteten Geräte Autoscope und CCATS getestet wurden, hat das bestätigt [6].

In diesem Beitrag liegt der Schwerpunkt nicht auf der Betrachtung von Konzepten zur videobasierten Querschnittszählung. Vielmehr soll der Einsatz von videobasierten Detektoren für Aufgaben analysiert werden, die mit herkömmlichen Detektoren nicht zu erfüllen sind. Schleifendetektoren messen punktuell, daher können streckenbezogene Verkehrskenngrößen, wie beispielsweise die Verkehrsdichte, nicht direkt gemessen werden. Die Verkehrsdichte hat aber eine große Relevanz für die Beurteilung des Verkehrszustands. Es besteht also Bedarf für weiträumige Messverfahren zur direkten Bestimmung der Verkehrsdichte.

Das Anliegen dieses Beitrags ist es, einen Ansatz zur Verkehrsdichtebestimmung darzustellen, der auf streckenbezogenen Messungen beruht.

Der Beitrag ist folgendermaßen gegliedert. Nach einer Analyse bekannter Modelle für den Verkehrsfluss hinsichtlich charakteristischer Messgrößen, folgt eine Darstellung des von uns gewählten Ansatzes zur Verkehrszustandsbestimmung mittels digitaler Bildverarbeitung.

2 Verkehrsflussmodelle und relevante Messgrößen

2.1 Fundamentaldiagramm und die Bedeutung der Verkehrsdichte

Für ein kontinuierliches strömendes Medium gilt folgender Zusammenhang zwischen dem Strom I und der Dichte ρ :

$$I = \rho v \quad (1)$$

Gleichung (1) kann unter bestimmten Voraussetzungen [12,14] für den diskreten Strom von Verkehrsteilnehmern auf einer Straße angewendet werden. Dann entsprechen ρ der Fahrzeugdichte, bzw. Verkehrsdichte, v der mittleren momentanen Geschwindigkeit der Fahrzeuge und I dem Verkehrsstrom. Die Größen ρ und v sind nicht voneinander unabhängig, weil die Geschwindigkeit der Verkehrsteilnehmer sinkt, wenn die Verkehrsdichte steigt. In der Fachliteratur kann eine Vielzahl von Geschwindigkeits- Dichte Beziehungen $v=f(\rho)$ gefunden werden, die jeweils ähnliche Ergebnisse liefern [12]. Ohne Beschränkung der Allgemeinheit soll nachfolgend folgender Zusammenhang zwischen der mittleren momentanen Geschwindigkeit und der Verkehrsdichte benutzt werden:

$$v = v_f \left(1 - \exp \left[- a (\rho^{-1} - \rho_{\max}^{-1}) \right] \right) \quad (2)$$

Dabei sind v_f die freie Geschwindigkeit (abhängig vom Zustand der Straße und Tempolimits), ρ_{\max} die maximale Verkehrsdichte (Verkehrsdichte im Stau) und a ein straßenspezifischer Parameter.

Durch Einsetzen von (2) in (1) erhält man den Zusammenhang zwischen Verkehrsstrom und Verkehrsdichte als Minimum- Optimum- Maximum Kurve in der I/ρ Ebene, welche auch als *Fundamentaldiagramm* des Verkehrsflusses bezeichnet wird (Abb. 1). Es wird deutlich, dass die Durchlassfähigkeit eines Straßenabschnitts bei einer bestimmten, optimalen Verkehrsdichte einen Maximalwert erreicht und dann wieder sinkt.

Die berechnete Kurve beschreibt den Verkehrsfluss nur teilweise. Wird eine kritische Verkehrsdichte überschritten, so wird der Verkehrsfluss instabil. Im Fundamentaldiagramm treten daher im Bereich zwischen kritischer und maximaler Verkehrsdichte große Messwertstreuungen auf.

Die I/ρ Ebene kann in Bereiche aufgeteilt werden, die den Verkehrszuständen *freier Verkehr* (**F**), *synchronisierter Verkehr* (**S**) und *Stau* (**J**) entsprechen [13]. Die Verkehrszustände **S** und **J** sind dabei durch eine Gerade gegeneinander abgegrenzt. Daraus ergibt sich die Schlussfolgerung, dass die kritische Dichte für den Übergang **S-J** geschwindigkeitsabhängig ist (Abb. 1). Zur Beurteilung der Staugefahr reicht also die Messung der Verkehrsdichte allein nicht aus. Vielmehr müssen sowohl Verkehrsdichte als auch momentane Geschwindigkeit der Fahrzeuge gemessen werden um den Verkehrszustand zu identifizieren.

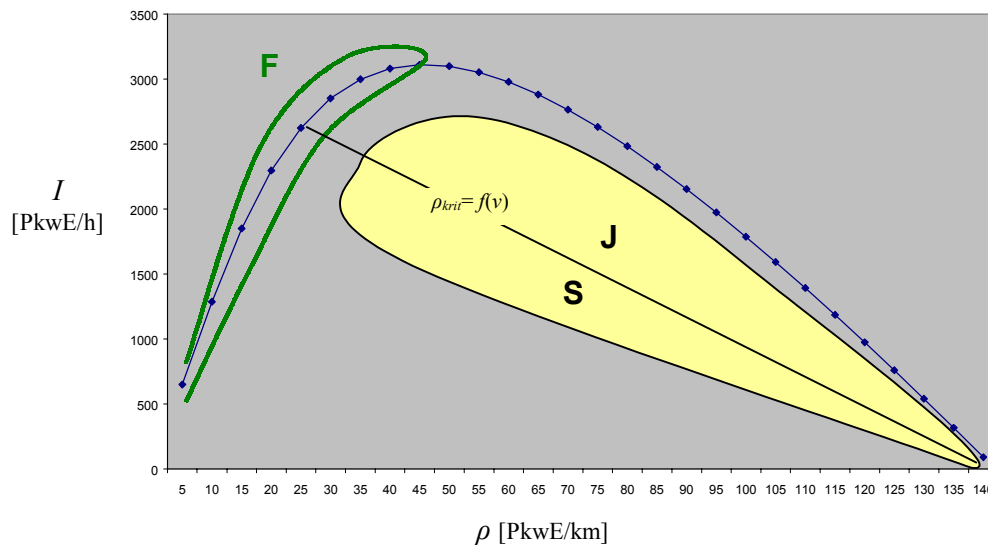


Abb. 1: Fundamentaldiagramm, Verkehrszustände und geschwindigkeitsabhängige kritische Verkehrsdichte

2.2 Weiträumige Verkehrsmessung zur Beurteilung des Verkehrszustands

In der gegenwärtigen Praxis wird die Verkehrsdichte mit Hilfe von Querschnittszählungen bestimmt. Das geschieht durch Messung der Fahrzeuggeschwindigkeiten und des Verkehrsstroms, wobei die Verkehrsdichte nach (1) berechnet wird. Dieses Vorgehen ist daran geknüpft, dass eine der folgende Bedingungen erfüllt ist:

1. Die Größen I , ρ und v werden nicht punktuell, sondern unter Verwendung räumlich-zeitlicher Messmethoden bestimmt [12].
2. Der Verkehrsfluss ist stationär, Schwankungen von Verkehrsdichte, Geschwindigkeit der Verkehrsteilnehmer und Verkehrsstrom sind zufälliger Natur. In diesem Fall ist die Übereinstimmung zwischen lokalen und räumlich-zeitlichen Messungen gut [12].

Bedingung 1 ist für eine punktuelle Messung nicht erfüllt, daher wird Bedingung 2, also stationärer Verkehrsfluss, angenommen. Bei Verkehrszustandsübergängen gilt diese Annahme nicht mehr. Daher ist die punktuelle Messmethode zwar für die Erkennung von Verkehrszuständen geeignet, sie versagt aber bei Zustandsübergängen. Für die Erkennung von Zustandsübergängen sind *räumlich-zeitliche Messverfahren* notwendig, wie beispielsweise die weiträumige videobasierte Verkehrsbeobachtung.

Nachfolgend werden die zeit- und ortsdiskrete Funktion der lokalen Verkehrsdichte gemäß [14] und die zeit- und ortsdiskrete Funktion der lokalen momentanen Geschwindigkeit auf einem ausgedehnten Streckenabschnitt als interessierende Kenngrößen für eine genaue Verkehrszustandsbestimmung ausgewählt. Es wird angenommen, dass es mit Hilfe dieser Funktionen möglich ist, wichtige Kenngrößen für die Verkehrszustandsbestimmung und –prognose, wie beispielsweise die Bewegungsgeschwindigkeiten von Staus [15] direkt und kostengünstig zu bestimmen.

3 Lösungsansätze zur weiträumigen Verkehrsbeobachtung

Unsere Analyse zum Stand der Technik [7] hat gezeigt, dass die weiträumige Erfassung des Verkehrsgeschehens mittels digitaler Bildverarbeitung nicht unproblematisch ist. Eine Messung der Verkehrsdichte durch Bestimmung des Aufenthaltsorts aller abgebildeten Fahrzeuge ist praktisch nur eingeschränkt möglich. Folgende Ansätze zur weiträumigen Verkehrsbeobachtung unter Verwendung von Videoaufnahmen und digitaler Bildverarbeitung sind bisher untersucht worden:

- Schätzung der Verkehrsdichte durch Auswertung der belegten Fläche [9]
- Verdeckungskompensation mit Hilfe aktiver Konturen [10]
- Dichteschätzung durch Zufluss-/ Abfluss- Messung [11]
- Aufzeichnung der Trajektorien einzelner Merkmale im Bild und Zusammenfassung von Merkmalen gleicher Bewegung zu Fahrzeugen [8]

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass die Verkehrsmessung in einem Beobachtungsreich von bis zu 100 m möglich ist. Wesentlich größere Reichweiten können vor allem deswegen nicht erzielt werden, weil sich die Fahrzeuge gegenseitig verdecken. Keiner der zitierten Autoren gibt eine Strategie zum Umgang mit Messfehlern an, die durch Verdeckungsprobleme verursacht werden.

Im Gegensatz zur Situation bei der Identifikation der einzelnen im Bild vorhandenen Fahrzeuge ist die Bestimmung von Bewegung unter Verwendung von Bildfolgen ein gelöstes Problem der digitalen Bildverarbeitung. In dieser Arbeit wird daher vorgeschlagen, die Verkehrsdichte mit Hilfe der Kontinuitätsgleichung und des optischen Flusses zu berechnen. Dazu wird in Abschnitt 3.1 die Kontinuitätsgleichung eingeführt, in Abschnitt 3.2 ein Verfahren zur Umrechnung von Bewegung in Dichte mit Hilfe der Kontinuitätsgleichung vorgestellt und in Abschnitt 3.3 ein Verfahren zur Geschwindigkeits- und Divergenzmessung mit Hilfe der Hough- Transformation erläutert.

3.1 Kontinuitätsgleichung

Die Zufluss-Abfluss Bilanz an einem Messquerschnitt eines strömenden kompressiblen Mediums wird durch folgende Differentialgleichung beschrieben (Kontinuitätsgleichung).

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \nabla v + v \nabla \rho = 0 \quad (3)$$

Die Kontinuitätsgleichung gilt auch für den Verkehrsfluss, obwohl es sich hier um einen diskreten Prozess handelt [12]. Eine Betrachtung des Zusammenhanges zwischen diskreten Verkehrskenngrößen und kontinuierlichen Größen kann beispielsweise in [14] gefunden werden. Die Kontinuitätsgleichung formuliert die örtliche Dichtebilanz innerhalb einer Strömung und beschreibt, wie sich die Dichte aufgrund von Transport- und Kompressionsprozessen verändert. Im folgenden werden die einzelnen Terme der Kontinuitätsgleichung interpretiert.

- Der Divergenzterm $\rho \nabla v$ beschreibt den Zusammenhang zwischen Dichteänderung und der Änderung der ortsabhängigen Geschwindigkeit. Verringert sich die ortsabhängige Geschwindigkeit in Fahrtrichtung, so tritt eine Kompression des Verkehrs auf. Vergrößert sich die Geschwindigkeit, so führt dieser Term zur Verringerung der Verkehrsdichte.
- Der Transportterm $v \nabla \rho$ beschreibt den Transport örtlicher Dichteschwankungen. Verringert sich die ortsabhängige Dichte in Fahrtrichtung, so sorgt der Transportterm für eine Vergrößerung der lokalen Dichte und umgekehrt.

3.2 Verdeckungskompensation mit Hilfe der Kontinuitätsgleichung und des Optischen Flusses

Gegenwärtig sind eine Reihe verschiedener Algorithmen der Bildverarbeitung bekannt, die eine Bestimmung des Aufenthaltsortes der im Bild abgebildeten Fahrzeuge ermöglichen. Diese Verfahren sind in der Praxis nur eingeschränkt verwendbar, weil sie versagen, wenn sich die Fahrzeuge gegenseitig verdecken. Nachfolgend wird daher ein verbesserter Ansatz zur Verdeckungskompensation vorgeschlagen.

Unter der Voraussetzung, dass die Verkehrsdichte zu einem bestimmten Zeitpunkt t_0 bekannt ist, kann die Verkehrsdichte für einen aktuellen Zeitpunkt $t_1 > t_0$ durch Integration der Kontinuitätsgleichung (3) ermittelt werden:

$$\rho(t_1) = \rho(t_0) + \int_{t=t_0}^{t_1} \rho \nabla v dt + \int_{t=t_0}^{t_1} v \nabla \rho dt \quad (4)$$

Allgemein beschreibt dabei die Kontinuitätsgleichung die räumliche Dichtebilanz eines kompressiblen strömenden Mediums.

Für die von uns konkret untersuchte Anwendung ist es ausreichend, den eindimensionalen Fall zu betrachten. Das entspricht der Analyse des Flusses von Fahrzeugen auf einer Fahrspur. Im Hinblick auf die Auswertung einer zeitdiskreten Bildfolge interpretieren wir Gl.(4) als eine Vorschrift für die Aktualisierung der Verkehrsdichte für aufeinanderfolgende Zeitpunkte $t_k = t_0 + k\Delta t, k=0,1,\dots$. Der Parameter Δt entspricht dabei dem durch die Bildfolgefrequenz gegebenen Zeitintervall. Es ist daher möglich, Gl.(4) folgendermaßen als Rekursionsformel darzustellen.

$$\rho(k+1) = \rho(k) + \Delta\rho(k) \quad (5)$$

Der Divergenzoperator in Gleichung (4) kann unter den getroffenen Annahmen durch den entsprechenden Differenzenquotienten ersetzt werden. Bei ausreichender Bildwiederholrate kann weiterhin angenommen werden, dass die Divergenzen von Geschwindigkeit und Dichte zeitlich konstant sind.

Unter diesen Voraussetzungen kann ausgehend von Gleichung (4) die Korrekturgröße $\Delta\rho$ folgendermaßen bestimmt werden:

$$\Delta\rho(k) = \rho(k) \frac{dv(k)}{ds} \Delta t + v(k) \frac{d\rho(k)}{ds} \Delta t \quad (6)$$

Die Geschwindigkeit $v(k)$ und deren Divergenz können in der Bildfolge direkt gemessen werden. Für die Dichte $\rho(k)$ wird der aus der vorangegangenen Bildfolge rekursiv berechnete Wert eingesetzt. Die Divergenz der Dichte muss aufgrund des örtlichen Verlaufs der Dichte bestimmt werden. Da hierfür nicht nur die Dichte an einem einzelnen Ort, sondern auch deren *örtlicher Verlauf* bekannt sein muss, ist die Verwendung von mehreren Messpunkten zwingend. Die Messpunkte werden entlang der Fahrspur angeordnet.

3.3 Geschwindigkeits- und Divergenzmessung mit der Hough- Transformation

Liegt eine Bildsequenz vom Verkehrsgeschehen vor, so kann mit geeigneten Verfahren der digitalen Bildverarbeitung die in dieser Bildsequenz enthaltene Bewegung bestimmt werden. Das Ergebnis einer solchen Bewegungsanalyse ist ein kontinuierliches Feld von Verschiebungsvektoren [16] oder eine Bewegungsbeschreibung durch ein affines Bewegungsmodell [17,19] oder Angaben über die Bewegung einzelner Merkmale, die mit Hilfe eines Operators zur Merkmalsextraktion erkannt werden [18].

Neben anderen Verfahren ist die Hough- Transformation eine geeignete Methode zur Messung von Bewegungsgeschwindigkeit und Divergenz in Bildfolgen. Sie zeichnet sich durch eine hohe Genauigkeit bei der Bestimmung von Bewegungsgeschwindigkeiten und durch Robustheit gegenüber Störungen aus, wie sie bei Bildfolgen in der Praxis vorkommen.

Der hier verwendete Ansatz besteht in der Transformation von Weg- Zeit- Bildern in eine Geschwindigkeits- Orts- Ebene. Weg- Zeit- Bilder werden durch Richtungs- und Grauwertzerlegung innerhalb einer Umgebung des interessierenden Messpunktes erzeugt [21]. Geschwindigkeit und Divergenz werden über die Streuung der projizierten Energie bestimmt [23] (Abb. 2).

Die Hough- Transformation ist ein Operator, der es ermöglicht, sowohl die Bewegungsgeschwindigkeit, als auch die Divergenz des optischen Flusses direkt zu messen und daher für den in Abschnitt 3.2 skizzierten Ansatz zur Verkehrsdichtebestimmung in besonderer Weise geeignet.

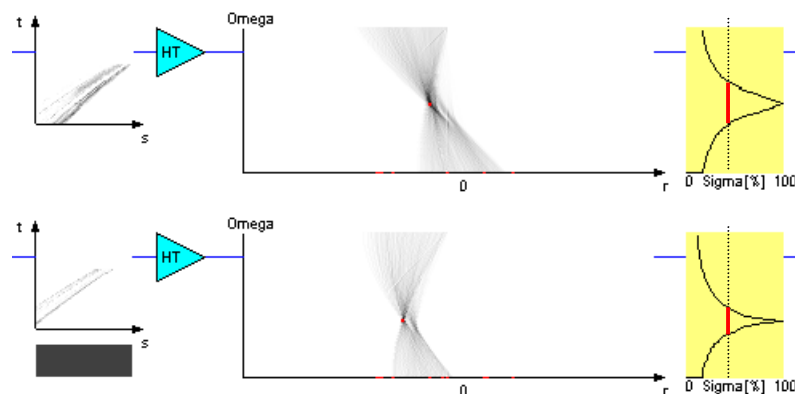


Abb. 2: Weg- Zeit- Bilder und Divergenzmessung mit Hilfe der Hough- Transformation. **links:** Orts- Zeit- Bild mit Störungen, **mitte:** Geschwindigkeits- Orts- Raum $v=\tan(\Omega)$ **rechts:** Geschwindigkeitsstreuung (breite der roten Linie) **oben:** Betrag der Divergenz groß, **unten:** Betrag der Divergenz klein

4 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurden Anforderungen und Möglichkeiten im Zusammenhang mit dem Einsatz von digitaler Bildverarbeitung im Verkehrswesen betrachtet. Der Schwerpunkt lag dabei auf der weiträumigen Bestimmung von Kenngrößen des Verkehrsstroms, insbesondere auf der Verkehrsdichtebestimmung.

Es wurden Modelle zur Beschreibung des Verkehrsflusses untersucht, wobei die Frage im Vordergrund stand, welche Messgrößen im Zusammenhang mit der Bestimmung des Verkehrszustands relevant sind. Der ortsabhängige Verlauf von Verkehrsdichte und Geschwindigkeit wurden als interessierende Messgrößen identifiziert.

Danach wurde der Stand der Technik auf dem Gebiet der digitalen Bildverarbeitung hinsichtlich der Frage der Durchführbarkeit der geforderten Messungen dargestellt. Weiträumige Messungen auf Beobachtungsentfernungen $>100\text{m}$ sind gegenwärtig nicht möglich, da Ver-

deckungen Probleme bereiten. Daher wurde ein Ansatz zur weiträumigen Bestimmung der Verkehrsdichte mit Verdeckungskompensation dargestellt. Die umfassende Implementierung des Ansatzes ist der aktuelle Arbeitsschwerpunkt.

Literatur

- [1] Michalopoulos, P. G.: Vehicle Detection Video Trough Image Processing: The Autoscope System, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, **40**, 21-29, 1991
- [2] Kim, Y.J.; Soh, Y.S.: Improvement of Background Update Method for Image Detector, *Proc. of the 5th World Congress on Intelligent Transport Systems, Bd.1*, 1998
- [3] Versavel, J.; Boucke, B.: Video Image Processing for Traffic Data and Incident Detection, *Proc. of the 4th World Congress on Intelligent Transport Systems*, 1997
- [4] Fujii, A.; Tsukamoto, A.: Vehicle Tracking System using DCT for Image Extraction, *Proc. of the 4th World Congress on Intelligent Transport Systems*, 1997
- [5] Kilger, M.: Ein videobasiertes System zur Erfassung von Verkehrsdaten, *Grüne Reihe Nr. 28, Universität Kaiserslautern*, 1993
- [6] Evaluation Of Video Image Processing Technology Applications in Highway Operations, Phase II, California Polytechnic State University San Louis Obispo, 1994 (<http://airship.ardfa.calpoly.edu/vips/vip2/sect000.htm>)
- [7] Leich A., Fließ T., Jentschel, H.-J.: Bildverarbeitung im Straßenverkehr - Übersicht zum den Stand der Technik, Arbeitsbericht, TU Dresden 2000.
- [8] Beymer, D.; Coifman, B.; McLauchlan, P.; Malik, J.: A Real-Time Computer Vision System for Area-Wide Traffic Surveillance and Vehicle Tracking, *Transportation Research: Part C*, 1998.
- [9] Hoose, N.; Grüner, K.: Erfassung von Zwischenfällen und Verkehrsüberwachung unter Einsatz des Videoanalyse-Systems IMPACTS, *Grüne Reihe Nr. 28, Universität Kaiserslautern*, 1993
- [10] Koller, D.; Weber, J.; Malik, J.: Robust Multiple Car Tracking with Occlusion Reasoning, *Proc. Third European Conference on Computer Vision*, LNCS 800, Springer-Verlag, 1994
- [11] Siyal, M.Y.; Fathy, M.: Real-time measurement of traffic queue parameters by using image processing techniques, *5th Internat. Conf. on Image Processing and its Applications, Band 410; IEE Conf. Publ.; Edinburgh*, 1995
- [12] Schnabel, W.; Lohse, D.: Grundlagen der Strassenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung, Band 1 (Verlag für Bauwesen)

- [13] Kerner,B.S: Phase Transitions in Traffic Flow, in *Traffic and Granular Flow '99*, herausgegeben von Helbing,D., Herrmann,H.J, Schreckenberg,M., Wolf,D.E (Springer Verlag 1999), S. 253- 283
- [14] Leutzbach,W.: Introduction to the Theory of Traffic Flow, Springer Verlag Berlin Heidelberg 1988
- [15] Kerner,B.S., Rehborn,H., Aleksic,M., Haug,A., Lange,R.: Verfolgung und Vorhersage von Verkehrsstörungen auf Autobahnen mit "ASDA" und "FOTO" im online- Betrieb in der Verkehrsrechnerleitzentrale Rüsselsheim, *Staaßenverkehrstechnik*, 10/2000.
- [16] Barron,J.L.; Fleet,D.J.; Beauchemin,S.S.: Performance of Optical Flow Techniques, *Int. Journal of Computer Vision*, p. 43-77, 1994
- [17] Ayer,S.; Sawhney,H.S.: Layered Representation of Motion Video using Robust Maximum Likelihood Estimation of Mixture Models and MDL Encoding, *Proc. of IEEE Int. Conf. On Computer Vision*, 1995
- [18] Smith,S.M., Brady, J.M.: ASSET-2: Real-Time Motion Segmentation and Shape Tracking, *PAMI(17)*, No. 8, August 1995, pp. 814-820
- [19] Georgis,N.; Kittler,J.; Bober,M.: Accurate Recovery of Dense Depth Map for 3D Motion Based Coding, *ETT Vol. 11*, No 2, March- April 2000
- [20] Heppner, G.: Verfahren zur Ermittlung des Optischen Flusses im Zusammenhang mit der Verkehrsdichtebestimmung, Studienbeleg, TU Dresden, 2001
- [21] Leich,A.: Anwendung der Hough- Transformation für Aufgaben der digitalen Bildverarbeitung im Verkehrswesen, Diplomarbeit, TU Dresden 1999
- [22] Ciuleanu, C: Investigagions of Methods For Determining Local Traffic Density by Means Of Image Processing, Diploma Thesis, Univ. Cluj- Napoca, TU Dresden, 2001
- [23] Hentschel, T.: Analyse von Bewegungsabläufen durch Anwendung der digitalen Signalverarbeitung. Diplomarbeit, TU Dresden 1996