Dezentrale Verteilung sicherheitsrelevanter Verkehrsinformationen durch Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation

Peter Tondl, Klaus Jobmann
Institut für Kommunikationstechnik
Universität Hannover
Appelstr. 9A, 30167 Hannover
{tondl|jo}@ant.uni-hannover.de

Michael Meincke
R&S BICK Mobilfunk GmbH
Rohde & Schwarz Group of Companies
Fritz-Hahne-Str. 7, 31848 Bad Münder
michael.meincke@rsbick.rohde-schwarz.com

Kurzfassung

Ein Fahrzeug zu führen gehört zu den gefährlichsten Tätigkeiten, denen Menschen nahezu täglich nachgehen. Viele Innovationen im Fahrzeugbau der letzten Jahrzehnte dienten daher einer Erhöhung der Sicherheit von Verkehrsteilnehmern. Zukünftige aktive Sicherheitssysteme werden durch die Nutzung von Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation in der Lage sein, eine Erweiterung der Wahrnehmungsreichweite des Fahrers zu ermöglichen und damit eine neue Qualität bezüglich der Sicherheit von Fahrer und Fahrzeug zu erreichen. Obwohl in einem Fahrzeug ein natürlicher Bedarf an Information über den umgebenden Verkehr besteht, existiert heute kein System, welches aufbauend auf Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation in einem permanenten Prozess einen Austausch zeitlich und örtlich relevanter Zustandsdaten zwischen diesen Verkehrsteilnehmern ermöglicht. Der in diesem Beitrag gezeigte Algorithmus erlaubt es, unter effizienter Ausnutzung der gegebenen Funkressource, die Lücke zwischen der globalen Sicht zentral erfasster und aufbereiteter Verkehrszustandsdaten und der lokal begrenzten persönlichen Wahrnehmung des Fahrzeugführers zu schließen.

1 Einführung

Zielgerichtete Informationen über die aktuelle Verkehrssituation versetzen den Führer eines Fahrzeugs schon heute in die Lage, sein Verhalten den Gegebenheiten anzupassen. Mit Hilfe des Traffic Message Channels TMC kann beispielsweise über die Navigationsanlage des Fahrzeugs bei Bedarf ein Gebiet erhöhten Verkehrsaufkommens umfahren werden. Die Ausstrahlung von Verkehrsinformationen über Rundfunksender setzt jedoch eine möglichst genaue und zeitnahe Erfassung der den Meldungen zu Grunde liegenden Verkehrsdaten voraus, um Wirksamkeit entfalten zu können. Ein Problem dieser Vorgehensweise besteht in Analogie zu passiven Sicherheitssystemen in der fehlenden Möglichkeit der Ursachenvermeidung. Staus können beispielsweise erst erfasst und gemeldet werden, wenn sie bereits existieren.

Der im Folgenden gezeigte Algorithmus erlaubt es, die Lücke zwischen der globalen Sicht zentral erfasster und aufbereiteter Verkehrsdaten und der lokal begrenzten persönlichen Wahrnehmung des Fahrzeugführers zu schließen. Dabei wird die Verteilung der dazu notwendigen Daten ohne das Fluten des zu Grunde liegenden Funknetzes mit Nachrichten in alle möglichen Richtungen realisiert. Es wird keine unterstützend wirkende, fest installierte Infrastruktur angenommen, und insbesondere setzt der Algorithmus keine zusätzliche Infrastruktur neben der Straße voraus. Bei der entwickelten Vorgehensweise für die Verbreitung einer sicherheitsrelevanten Nachricht wird beispielsweise ausgehend von der initialen Übertragung die Information dergestalt von den Fahrzeugen wiederholt, dass sich eine möglichst homogene Abdeckung des – bezogen auf die Information – relevanten Gebiets zu jedem Zeitpunkt ergibt.

2 Verkehrsflusserzeugung

Zur Beschreibung des Zustandes einer Straße mit Hilfe eines Zellularen Automaten [1] wird diese in Zellen der Länge 1,5 m unterteilt. Fünf Zellen entsprechen dem ungefähren Platzbedarf eines PKW, zehn Zellen dem eines LKW in dichtem Stau. Jede Zelle kann leer oder durch genau ein Fahrzeug besetzt sein. Die Fahrzeuge werden durch ihre momentane Geschwindigkeit v charakterisiert, die die Werte $v = 0, 1, 2, \ldots, v_{\max}$ annehmen kann. $v_{\max}$ entspricht dabei beispielsweise einer Geschwindig-

keitsbeschränkung und ist deshalb im einfachsten Fall für alle Fahrzeuge gleich. Entspricht ein Zeitschritt 1 s, folgt daraus eine Quantisierung der Geschwindigkeit in 5,4 km/h-Schritten sowie der Beschleunigung in 1,5 m/s^2-Schritten. Dies ist nur unwesentlich höher als die als komfortabel empfundene Beschleunigung von 1,0 m/s^2.

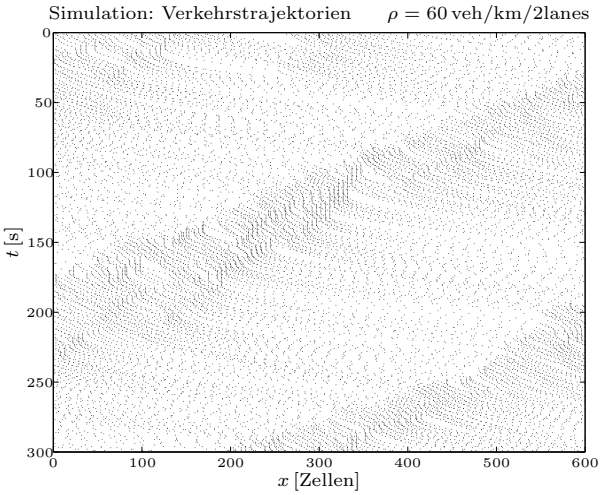

Abbildung 1: Verkehrstrajektorien

Grundlage der in Abschnitt 4 dargestellten Untersuchungen bildet die Verkehrsflusserzeugung basierend auf dem Bremslichtmodell nach Knospe [2] und dem Modell für Mehrspurverkehr nach Nagel [3]. Ergänzend zu den vorgenannten Modellen werden zusätzliche Parameter eingeführt, die ein realistischeres Überholverhalten von schwerlastverkehrsimulierenden Fahrzeugen ermöglichen. Fahrzeuge dieser Gruppe besitzen einen größeren Platzbedarf und eine geringere Maximalgeschwindigkeit als normale Fahrzeuge. Darüberhinaus wird das entwickelte Modell um die Möglichkeit erweitert, unter bestimmten Bedingungen das in dem verwendeten asymmetrischen Regelsatz geltende Rechtsüberholverbot aufzuheben. Dies dient einem natürlicheren Fahrzeugfluss bei sehr hoher Fahrzeugdichte.
Abbildung 1 zeigt ein Beispiel für die vom verwendeten Modell erzeugten Fahrezeugbewegungen. Erkennbar sind zwei ohne äußere Ursachen entstandene Staubereiche, von denen sich der zeitlich ältere, obere Stau mit 14 km/h bis 19 km/h, der zeitlich jüngere, untere mit 13 km/h bis 28 km/h entgegen der Fahrtrichtung bewegt. Diese Geschwindigkeiten entsprechen der in der Realität beobachteten Geschwindigkeit von 15 km/h, mit der sich spontane Staus weitgehend unabhängig von äußeren Gegebenheiten entgegen der Fahrtrichtung bewegen [4, 5, 6].

3 Nachrichtenübertragung

Bei der Nachbildung von Systemen zur Funkübertragung kommen in Abhängigkeit des benötigten Detaillierungsgrades unterschiedliche Modelle zum Einsatz. In diese Modelle können Eigenschaften der zu Grunde gelegten Sende- und Empfangssysteme, äußere Effekte wie Abschattungen durch Gebäude oder Fading- und Dopplereffekte durch Bewegungen einfließen. Auf der anderen Seite können für bestimmte Problemstellungen auch einfache Entscheider ausreichen, die lediglich die Entfernung zwischen einem Sender und einem Empfänger berücksichtigen.
Für Abschätzungen über die von einem Sender zu einem Empfänger übertragene Leistung in einem drahtlosen System hat sich das Log-Distanz-Pfadverlustmodell (d^α-Modell) als geeignet erwiesen [7, 8, 9, 10, 11]. Es bildet daher die Grundlage der im folgenden Abschnitt gezeigten Untersuchungen. Dieses Modell berücksichtigt die Verringerung der Energiedichte der elektromagnetischen Welle durch deren Ausbreitung selbst und den durch die Eigenschaften des Ausbreitungsgebiets bedingten Verlust als Funktion der Entfernung $d_{k,i}$, $k, i \in \mathbb{N}$ zwischen einem Sender S_i und einem Empfänger E_k. Der Begriff Pfadverlust quantifiziert somit den Unterschied zwischen der vom Sender abgegebenen Leistung P_{T,S_i} und der am Empfänger nutzbaren Leistung P_{R,E_k,S_i}. Mögliche Antennengewinne auf Sende- und Empfangsseite können implizit oder explizit in die Quantität eingehen.
Das Modell wird beschrieben durch die Beziehung

$$\overline{PL}(d_{k,i}) \sim \left(\frac{d_{k,i}}{d_0}\right)^\alpha \quad , \tag{1}$$

wobei α einen von den Ausbreitungsbedingungen abhängigen Pfadverlustexponenten repräsentiert.
Der Nachrichtenübertragung des in Abschnitt 4 beschriebenen Algorithmus wird das ALOHA-Verfahren zu Grunde gelegt. Dabei wird von den beteiligten Stationen weder der Zugriff auf das gemeinsame Übertragungsmedium koordiniert noch werden Sendereservierungen oder -ankündigungen vorgenommen. Jeder Sendewunsch kann zu beliebigen Zeiten initiiert werden und beliebig lange dauern. Sobald mehr als eine Station zur gleichen Zeit auf Sendung sind, kann dies zu einer Kollision führen.

4 Informationsweiterleitung

Ziel des im Folgenden gezeigten Algorithmus ist es, Informationen zwischen Fahrzeugen in einem Funknetz ohne feste Infrastruktur und mit minimaler Bandbreitenanforderung verteilen können. Der Fokus liegt dabei auf für den Fahrzeugverkehr sicher-

heitsrelevanten Nachrichten wie beispielsweise Mitteilungen über plötzliche und starke Bremsvorgänge oder Unfälle.
Bei der Weiterleitung von derartigen Notfallnachrichten existieren im Wesentlichen drei verschiedene Ausgangssituationen:

1. Das Sendegerät des Fahrzeugs wird durch den Unfall zerstört, bevor eine vollständige Notfallnachricht gesendet werden kann.
2. Das Sendegerät ist vor seiner Zerstörung in der Lage genau eine vollständige Notfallnachricht zu senden.
3. Das Sendegerät ist auch nach einem Unfall funktionsfähig.

Situation 1 bedarf keiner weiteren Betrachtung, da in diesem Fall ein Algorithmus nicht zur Anwendung kommen kann. Situation 3 repräsentiert das Gegenteil zur Situation 1, da auf den Unfallort zufahrende Fahrzeuge durch das verunfallte Fahrzeug selbst gewarnt werden. Daher ist eine zusätzliche Warnung durch andere Fahrzeuge unter Verwendung eines Weiterleitungsalgorithmus zwar vorteilhaft, jedoch nicht unbedingt erforderlich. Es wird daher im Folgenden ausschließlich der durch Situation 2 dargestellte Fall betrachtet. Dies bedeutet, dass es nur eine einzige Nachricht gibt, die vom Unfallfahrzeug ausgesendet werden kann. Unabhängig von dieser ungünstigen Ausgangslage soll dennoch jedes entsprechend ausgestattete Fahrzeug mit einer möglichst geringen Anzahl von Nachrichtenwiederholungen erreicht werden können. Ungeachtet des Fehlens einer festen Infrastruktur soll das Gefahrengebiet darüberhinaus zumindest über einen bestimmten Zeitraum kontinuierlich mit der Information über das betreffende Ereignis versorgt werden. Das angestrebte Ziel ist somit die Erweiterung der Wahrnehmungsreichweite von Verkehrsteilnehmern in räumlicher wie zeitlicher Hinsicht.

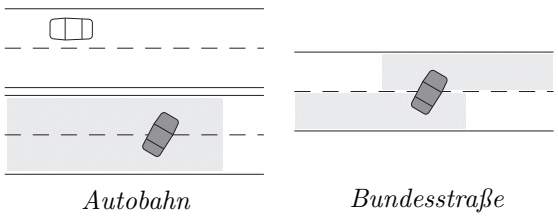

Abbildung 2: Relevanzzone und Straßentypen

Dabei müssen zwei verschiedenartige Straßentypen unterschieden werden [12, 13]: Straßentyp A besitzt im Gegensatz zum Typ B bauliche Maßnahmen zur Trennung der Richtungsfahrbahnen, beispielsweise in Form von Leitplanken (Abbildung 2). Für Straßentyp A bedeckt die Relevanzzone die Region, die sich in Fahrtrichtung hinter dem Unfallfahrzeug sowie auf der Seite des Unfalls befindet. Der Begriff Relevanzzone verdeutlicht, dass die Information für Fahrzeuge in dieser Zone eine Bedeutung besitzt. Für Straßentyp B wird ein verunfalltes Fahrzeug im Allgemeinen beide Fahrbahnrichtungen involvieren. Konsequenterweise befinden sich alle Verkehrsteilnehmer, die sich dem Unfall nähern, in der Relevanzzone, und zwar unabhängig davon, aus welcher Richtung sie dies tun.

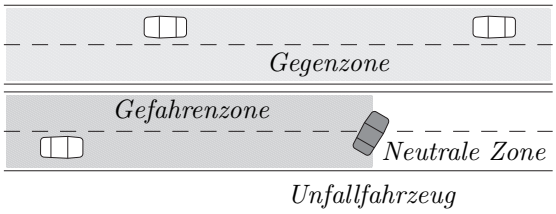

Abbildung 3: Verkehrszonen bei Straßen mit physikalischer Richtungstrennung

Abbildung 3 zeigt die Einteilung der Fahrbahnen sowie des darauf fließenden Verkehrs in verschiedene Zonen am Beispiel des Straßentyps A. Besitzt die Straße keine bauliche Trennung der Fahrbahnen, entfällt die Neutrale Zone, da sich das Unfallfahrzeug nicht mehr einer bestimmten Fahrtrichtung zuordnen lässt. Desweiteren existiert in diesem Fall eine sich in beide Richtungen ausdehnende Gefahrenzone (Abbildung 4).

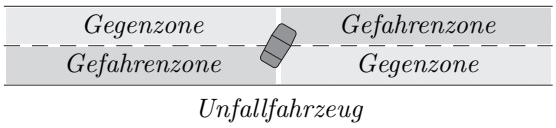

Abbildung 4: Verkehrszonen bei Straßen ohne physikalische Richtungstrennung

Die größte Relevanz besitzt die Nachricht über ein verunfalltes Fahrzeug in der Gefahrenzone, da Fahrzeuge dieser Zone direkt in den Unfall involviert werden können. Somit stimmen Relevanzzone und Gefahrenzone in ihrer räumlichen Richtung überein. Der Unterschied in den Definitionen besteht in der zu Grunde liegenden Sichtweise: Während das Konzept der Gefahrenzone eine rein verkehrsbezogene Sicht repräsentiert, ist das Konzept Relevanzzone allgemeiner: Selbst nach dem Passieren einer Gefahrenstelle muss die Relevanz einer Nachricht für das passierende Fahrzeug nicht schlagartig auf Null sinken. Das Ereignis selbst stellt zwar keine Gefahr mehr da, jedoch kann das Fahrzeug weiterhin Aufgaben im Weiterleitungsprozess wahrnehmen.

Die Entscheidung über die Weiterleitung einer empfangenen Nachricht ist abhängig von ihren mathematisch formulierbaren Eigenschaften für den jeweiligen Empfänger. Ein Fahrzeug wird eine Nachricht beispielsweise nur löschen, wenn ihre Bedeutung für den Empfänger identisch Null ist. Die Bedeutung einer Nachricht hängt sowohl von ihrem Inhalt ab als auch von der räumlichen Entfernung zum Ort des Ereignisses. Ebenso wie im Fall der Bedeutung einer Nachricht lässt sich der Nutzen einer Nachrichtenwiederholung in Abhängigkeit zur Entfernung vom Aussender definieren. Im Gegensatz zu der zuvor dargestellten Abhängigkeit ist diese Entfernung nicht mehr nachrichtenbezogen, sondern bezogen auf die Position des wiederholenden Fahrzeugs zum Zeitpunkt der Aussendung.
Der Algorithmus erlaubt es, den Bereich innerhalb der Relevanzzone zu erweitern, in dem ein Fahrzeug in der Lage ist, Nachrichten zu empfangen. Dies geschieht ohne Fluten des zu Grunde liegenden Funknetzes mit Nachrichten in alle möglichen Richtungen. Es wird keine unterstützend wirkende, fest installierte Infrastruktur angenommen, insbesondere setzt der entwickelte Algorithmus keine zusätzliche Infrastruktur neben der Straße voraus.

Tabelle 1: Simulationsparameter

Parameter	Wert
$l_{\text{Simulation}}$	10.000 m
$\Delta t_{\text{Simulation}}$	1 h
$\Delta t_{\text{Übertragung}}$	10 ms
P_{T}	100 mW
$x_{\text{RZ,HZ}}$	2000 Zellen
$x_{\text{RZ,NZ}}$	400 Zellen

In einem ersten Schritt bestimmt der Algorithmus, ob die empfangene Nachricht für den Empfänger neu oder bereits bekannt ist. Für jede neue Nachricht wird ein eigener Weiterleitungsprozess gestartet. Jedes Fahrzeug führt eine Liste mit bereits erhaltenen Nachrichten. Diese verbleiben solange in der Liste, bis ihre Bedeutung oder Gültigkeitsdauer identisch Null ist. Unbekannte Nachrichten werden der Liste hinzugefügt.
Der Algorithmus stellt sicher, dass nicht jedes eine Nachricht empfangende Fahrzeug diese auch weitersenden wird. Am Weiterleitungsprozess beteiligen sich aktiv nur die Fahrzeuge, für die die Bedeutung der Nachricht hoch genug ist. Dies wird gesteuert über eine Reihe von Abhängigkeiten bezüglich der Weiterleitungswahrscheinlichkeit. Andere Fahrzeuge werden zunächst warten und den Prozess der Weitergabe beobachten. Diese Fahrzeuge erhalten die Möglichkeit eines aktiven Einstiegs in den Prozess, indem der Algorithmus periodisch über die Weiterleitung von Nachrichten neu entscheidet.

5 Ergebnisse

Nach den Betrachtungen der vorangegangenen Abschnitte wird nun der entwickelte Weiterleitungsalgorithmus untersucht. Den simulativ ermittelten Ergebnissen liegen dabei die in Tabelle 1 gezeigten Parameter sowie die in Abschnitt 4 beschriebene Situation 2 zu Grunde.

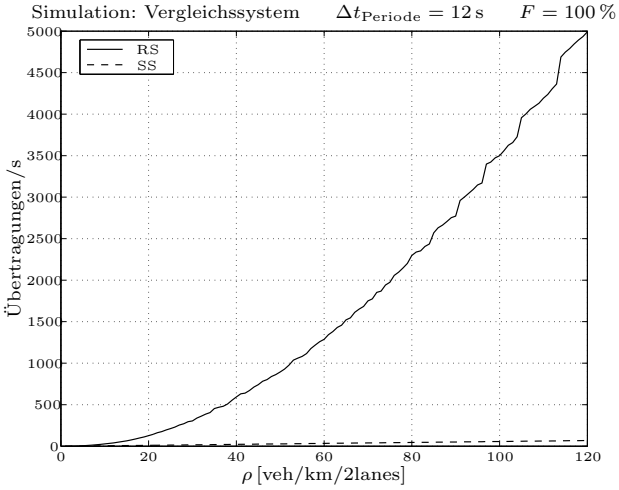

Abbildung 5: Sende-/Empfangsverhalten (VS)

Die Diagramme stellen, mit Ausnahme der Nachrichtentrajektorien, eine Mittelung über zehn Simulationsdurchläufe dar. Zu beachten ist, dass das für den Nachrichtenaustausch initiale Ereignis keine Verkehrsbehinderung zur Folge hat. Die Fahrzeuge können ihre jeweiligen Verkehrszonen also ohne äußere Beeinflussung durchfahren.

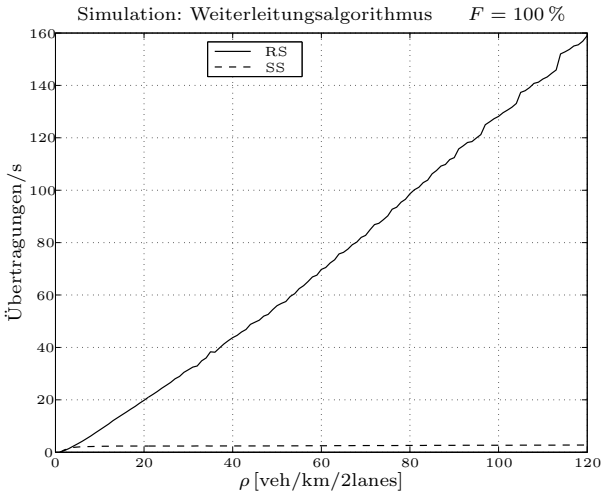

Abbildung 6: Sende-/Empfangsverhalten

Zur besseren Einschätzung wird die Wirkungsweise des Algorithmus einem Vergleichssystem VS gegenübergestellt, welches nach dem Prinzip quasi-isochroner Wiederholungen arbeitet. Dabei wird ei-

ne empfangene Nachrichten von einem Fahrzeug der Relevanzzone solange periodisch wiederholt, bis das Fahrzeug die Zone verlässt.
Abbildung 5 zeigt das Sende- und Empfangsverhalten des Vergleichssystems. Im Diagramm sind mit SS die Übertragungen je Sekunde dargestellt, die von allen Fahrzeugen der Relevanzzone erzeugt werden. RS stellt die empfangenen Übertragungen pro Sekunde dar. Zu erkennen ist, dass bei der vom Vergleichssystem verwendeten Vorgehensweise mit zunehmender Fahrzeugdichte die Belastung durch Aussendungen in der Relevanzzone linear, die Belastung der Fahrzeuge mit empfangenen und damit zu bearbeitenden Übertragungen sogar quadratisch steigt. Das Verhalten des Vergleichssystems ist somit statisch, es bietet keine Anpassung an die Dichte und die Aktivität der Fahrzeuge.

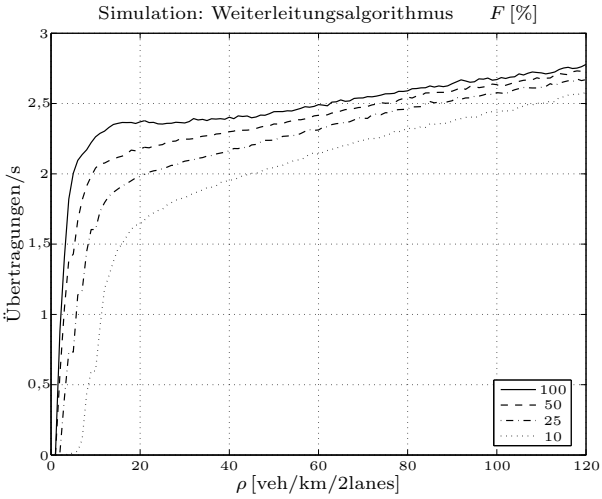

Abbildung 7: Sendeverhalten in Abhängigkeit vom Penetrationsgrad

Im Gegensatz dazu zeigt das in Abbildung 6 dargestellte Verhalten des entwickelten Algorithmus eine Adaption an die gegebenen Verhältnisse. Nach einem linearen Anstieg im Bereich einer Dichte unter fünf Fahrzeugen pro Kilometer und Doppelspur sowie einem deutlich abgeschwächten Anstieg im Bereich bis 12 veh/km/2lanes bleibt die Anzahl von Aussendungen über dem restlichen Bereich beinahe konstant sowie auf einem deutlich geringeren Niveau. Abbildung 7 verdeutlicht dieses Verhalten in einer vergrößerten Darstellung. Parallel dazu steigt die Belastung der Fahrzeuge durch empfangene und auszuwertende Übertragungen nur noch linear an.
Ausgehend von der initialen Übertragung wird die Information dergestalt von den Fahrzeugen wiederholt, dass sich eine möglichst homogene Abdeckung des, bezogen auf die Information, relevanten Gebiets zu jedem Zeitpunkt ergibt (Abbildung 8). Jeder Punkt des Diagramms steht für die Aussendung eines Fahrzeugs auf der dazu gehörigen Position zum jeweiligen Zeitpunkt. Erkennbar ist die Homogenität der Übertragungen in beiden Dimensionen. Im Zeitbereich der ersten 100 Sekunden ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Information gegen die Fahrtrichtung von näherungsweise 120 km/h ablesbar.

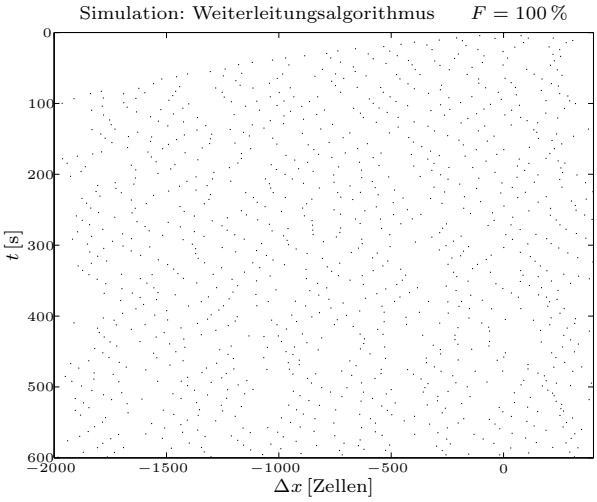

Abbildung 8: Informationsabdeckung über 600 s bei $\rho = 60$ veh/km/2lanes

Die erkennbaren Strukturen stellen die Antwort des Algorithmus auf die sich erhöhende Verkehrsdichte und damit die Anzahl an potenziell weiterleitungswilligen Fahrzeugen dar. Der Algorithmus stellt sicher, dass die nachrichtenbezogen unabhängig voneinander agierenden Fahrzeuge einer Selbstzurückhaltung unterworfen werden.

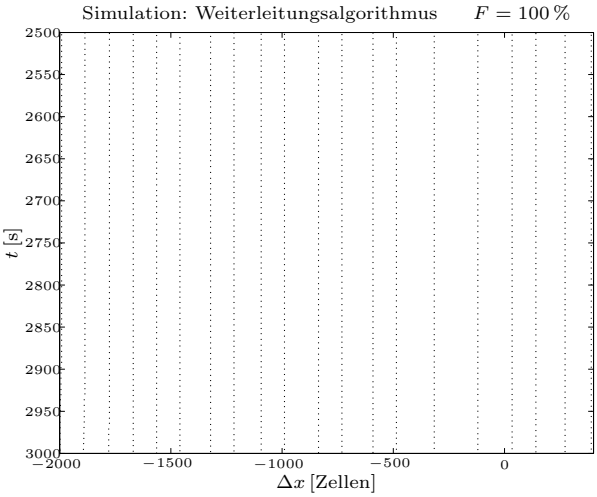

Abbildung 9: Informationsabdeckung über 500 s bei $\rho = 200$ veh/km/2lanes

Im extremen Fall von verkehrsdichtebestimmt fast stehenden Fahrzeugen zeigt sich die Fähigkeit des Algorithmus, ohne äußeren Eingriff einer überge-

ordneten Instanz die aktiven Fahrzeuge des Weiterleitungsprozesses in nahezu äquidistanten Entfernungen voneinander anzuordnen (Abbildung 9). Der dargestellte Zeitausschnitt wurde zur größeren Verdeutlichung so gewählt, dass währenddessen keine Bewegungen von Fahrzeugen stattfinden.

6 Zusammenfassung

Durch die prinzipielle Begrenztheit der zur Verfügung stehenden Übertragungskapazität müssen in dem der Nachrichtenverteilung zu Grunde liegenden Funknetz fortschrittliche Techniken zur Verwaltung dieser knappen Ressource zur Anwendung kommen. Daher besteht das Hauptaugenmerk bei der Anwendung des vorgeschlagenen Algorithms in einer Verminderung der Belastung des Funknetzes bei gleichzeitig schneller und effektiver Weitergabe der zu verbreitenden Nachrichten. Ein wesentliches Ergebnis der vorgestellten Untersuchungen ist, dass die Aufgabe der dezentralen Verteilung sicherheitsrelevanter Verkehrsinformationen in einem sich selbst regulierenden Funknetz zwischen Fahrzeugen ohne Zuhilfenahme einer festen Infrastruktur sowie mit normalen Sendeleistungen heute verfügbarer Systeme erfolgreich durchgeführt und damit eine Erhöhung der Sicherheit von Fahrer und Fahrzeug erreicht werden kann.

Literatur

[1] K. Nagel and M. Schreckenberg. A cellular automaton model for freeway traffic. *J. Phys. I. France 2*, pages 2221–2229, 1992.

[2] W. Knospe, L. Santen, A. Schadschneider, and M. Schreckenberg. Towards a realistic microscopic description of highway traffic. *J. Phys. A*, 33:L477 – L485, 2000.

[3] K. Nagel, D.E. Wolf, P. Wagner, and P. Simon. Two-lane traffic rules for cellular automata: A systematic approach. *Physical Review E*, 58:1425–1437, 1998.

[4] B.S. Kerner and H. Rehborn. Experimental features and characteristics of traffic jams. *Phys. Rev. E*, 53:R1297 – R1300, 1996.

[5] B.S. Kerner and H. Rehborn. Experimental properties of complexity in traffic flow. *Phys. Rev. E*, 53(5):R4275–R4278, 1996.

[6] B.S. Kerner and H. Rehborn. Experimental properties of phase transitions in traffic flow. *Phys. Rev. Lett.*, 79:4030 – 4033, 1997.

[7] T.S. Rappaport and L.B. Milstein. Effects of radio propagation path loss on ds-cdma cellular frequency reuse efficiency for the reverse channel. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, 41(3):231–242, 1992.

[8] X. Wang and T. Berger. Medium access and minimum co-channel separation in wireless sensor networks. In *Conferences on Information Sciences and Systems (CISS)*, Princeton, NJ, USA, 2004.

[9] Q. Wu and C. Williamson. Dynamic channel rate assignment for multi-radio wlans. In *Proceedings of the IASTED Conference on Wireless Networks and Emerging Technologies (WNET)*, pages 149–154, Banff, AB, USA, 2005. Department of Computer Science, University of Calgary.

[10] Hongsan Sheng, Li Zhao, and A. M. Haimovich. On coding and bandwidth scaling in ultra-wideband communications. In *39th Annual Conference on Information Sciences and Systems*, Baltimore, MD, USA, 2005.

[11] G. Srivastava, J.F. Chicharo, and P. Boustead. Power efficient topologies in connected ad-hoc networks. In *Proceedings of the 10th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, 2005.

[12] M. Meincke, P. Tondl, M. D. Pérez Guirao, and K. Jobmann. Wireless adhoc networks for inter-vehicle communication. In *16. DFN-Arbeitstagung über Kommunikationsnetze*, Düsseldorf, 2002.

[13] P. Tondl and M.D. Pérez Guirao. Forwarding of emergency notifications in one-dimensional networks. In W. Franz, H. Hartenstein, and M. Mauve, editors, *Inter-Vehicle-Communications Based on Ad Hoc Networking Principles – The FleetNet Project*, pages 83–116. Universitätsverlag Karlsruhe, Karlsruhe, 2005.