

Den Horizont der Fahrerassistenz erweitern: Vorausschauende Systeme durch Ad-hoc Vernetzung

Timo Kosch,
BMW Group Forschung und Technik

Übersicht

Über eine direkte, lokale Funkkommunikation können Fahrzeuge digitale Daten untereinander austauschen. Dies ermöglicht Assistenzsystemen ein vorausschauendes Verhalten und eine frühzeitige Information des Fahrers über relevante Verkehrslagen und Straßenzustände. An eine grundlegende Darstellung dieser dezentralen Art der drahtlosen Kommunikation schließt sich eine Vorstellung möglicher Anwendungsfelder im Fahrerassistenzbereich an. Eignung und Probleme existierender Funktechnologien werden diskutiert und ein Überblick über die prinzipielle Funktionsweise derartiger, so genannter Ad-hoc Netze mit ihren Besonderheiten im automobilen Einsatzbereich gegeben.

1. Einleitung

Damit sie den Fahrer optimal unterstützen können, müssen Assistenzsysteme über die Umwelt informiert sein. Heutige Systeme bedienen sich dazu der Sensorik des jeweiligen Fahrzeugs. Diese Sensoren können jedoch nur die direkte Fahrzeugumgebung erfassen. Um vorausschauend unterstützen zu können ist es notwendig, über Verkehrssituation und Straßenzustand auf der eigenen Route sowie über Absichten der anderen Verkehrsteilnehmer informiert zu sein. Durch den drahtlosen Austausch digitaler Daten zwischen Automobilen wird es möglich, von den Sensoren der umliegenden und vorausfahrenden Fahrzeuge erfasste Daten mit auszuwerten. Dafür sind Kommunikationssysteme notwendig, die die Übertragung der Daten zwischen den Fahrzeugen steuern und sie den jeweiligen Assistenzfunktionen zur Verfügung stellen. Solche Kommunikationssysteme werden auch von Franz et al. in [5] und von Bogenberger und Kosch in [2] beschrieben.

2. Eigenschaften dezentraler mobiler Kommunikationssysteme

Sobald Automobile mit Funkmodulen und Antennen ausgerüstet sind, können sie innerhalb der Funkreichweite Daten mit anderen Fahrzeugen austauschen. Durch die Bewegung der Fahrzeuge ändern sich die Kommunikationspartner dabei permanent. In dem entstehenden Kommunikationsnetz sind alle Teilnehmer gleichberechtigt. Es gibt keine Zentrale, die den Datenverkehr regelt oder überwacht. Existierende mobile Netze besitzen demgegenüber in der Regel eine zellulare Struktur. Alle mobilen Netzteilnehmer sind dabei der ihnen am nächsten gelegenen Basisstation zugeordnet. Jegliche Kommunikation läuft über die Basisstationen. Diese Struktur liegt den aktuellen Mobilfunknetzen wie z.B. GSM zugrunde (zu GSM siehe Eberspächer et al. [4]). Demgegenüber besitzen sogenannte Ad-hoc Netze (siehe Perkins [9]) keine vordefinierte Struktur. Die Netztopologie ergibt sich aus den Positionen und Kommunikationsreichweiten der Teilnehmer. Durch die Mobilität ändert sich diese ständig. Nur geographisch beieinanderliegende Teilnehmer

befinden sich in Kommunikationsreichweite und können direkt Daten austauschen. Sollen Daten zwischen weiter entfernten Teilnehmern ausgetauscht werden, so müssen dazwischenliegende Knoten diese Daten weitervermitteln. Der Unterschied zwischen Ad-hoc Netzen und zellularen Netzen wird aus Abbildung 1 ersichtlich.

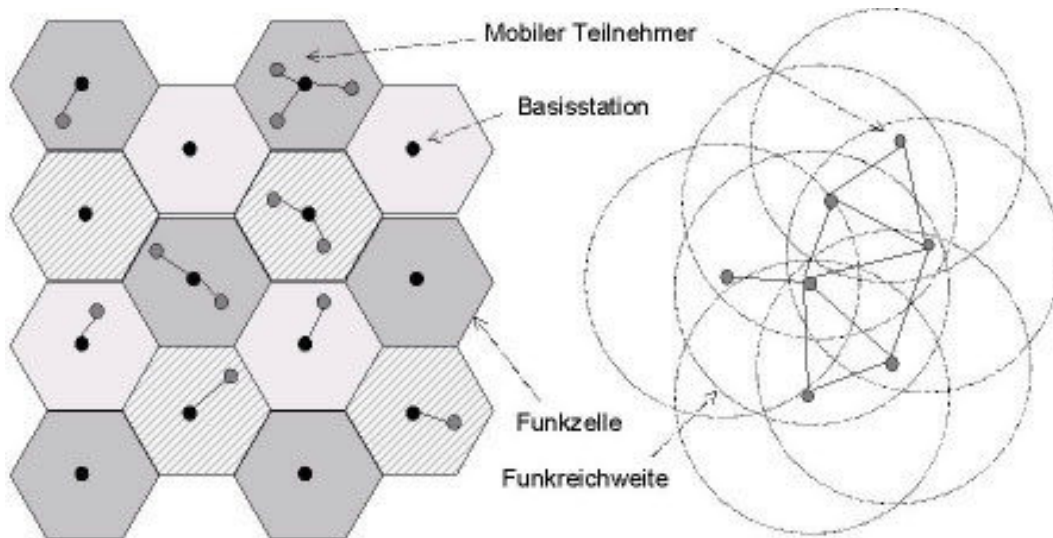


Abbildung 1: Zellulare Netze und Ad-hoc Netze

3. Anwendungsmöglichkeiten

Der direkte Datenaustausch zwischen Fahrzeugen eignet sich zur Kommunikation lokaler Zustände und Ereignisse. Wie in Abbildung 2 dargestellt, können beispielsweise Gefahrenstellen an nachfolgende Fahrzeuge gemeldet werden. In dieser Darstellung ist zu sehen, wie ein die Autobahn verlassendes Fahrzeug in der Ausfahrt aufgrund einer Ölspur kurzzeitig ins Rutschen gerät – jedoch ohne Folgen. Die dynamische Stabilitätskontrolle reagiert auf den Schlupf der Räder, welcher von den lokalen Sensoren gemessen wird. Werden weitere Informationen wie die Geschwindigkeit des Fahrzeugs, der Kurvenradius (aus Lenkeinschlag bzw. digitaler Karte), die Außentemperatur, die Tätigkeit der Scheibenwischer sowie ggfs. Informationen eines Reibwertsensors zur Situationsinterpretation herangezogen, so kann das System selbständig zwischen einer Ölspur, einem vereisten Straßenabschnitt oder einer Aquaplaning verursachenden Wasserlache unterscheiden. Während die Stabilitätskontrolle schon heute eine wichtige Hilfe bei der Vermeidung eines Unfalles ist, so ist gerade in derartigen Gefahrensituationen eine vorausschauende Verhaltensadaption wichtig, d.h. insbesondere die rechtzeitige Reduktion der Geschwindigkeit.

Der entscheidende Vorteil der direkten lokalen Kommunikation ist die Möglichkeit der hochaktuellen unmittelbaren und auf die eigene Situation bezogenen Information. Die Kommunikation macht dabei ein „Um-die-Kurve-Schauen“ möglich, d.h. sowohl Fahrer als auch Assistenzsysteme können sich bereits auf eine Situation einstellen, die sie noch nicht „sehen“ können. Wie eine Information des Fahrers dabei aussehen kann wird aus Abbildung 3 ersichtlich. Sie zeigt die Darstellung im Fahrzeugmonitor in einem BMW Prototyp. Der Fahrer erhält Information über die Art der Gefahr und ihre Lage mittels eines Gefahrensymbols in der Kartendarstellung der Navigation. Die Gefahreninformation wird dem Fahrer nur angezeigt, wenn sie für ihn relevant ist,

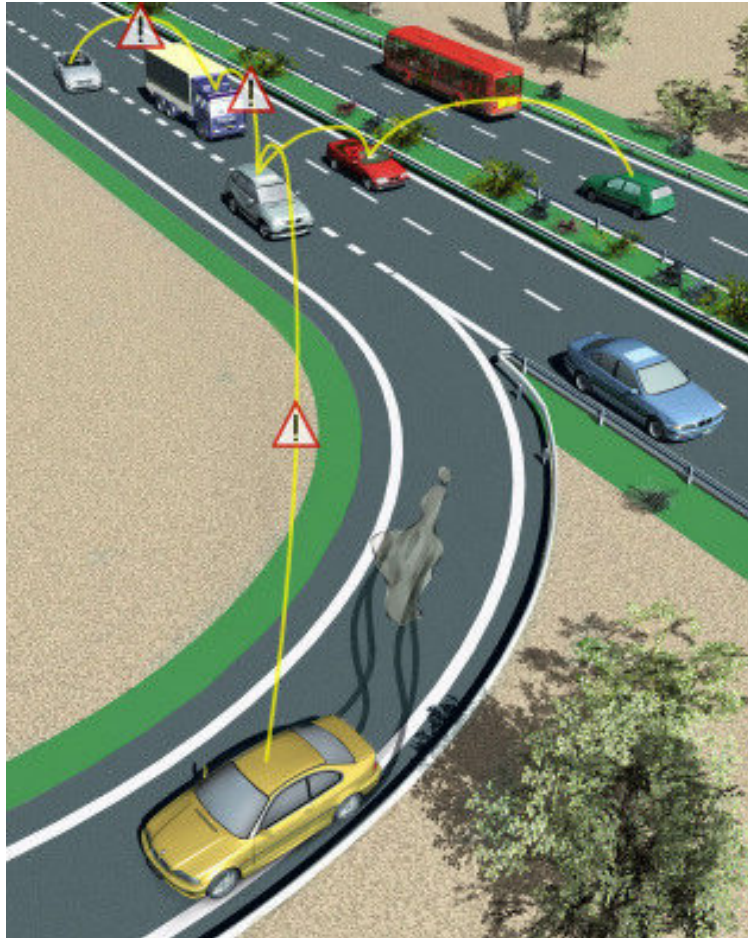


Abbildung 2: Lokale Gefahrenwarnung basierend auf lokaler Kommunikation

d.h. u.a. sich auf seiner Route befindet. Zusätzlich zur optischen Darstellung wird er mit Hilfe eines Sprachhinweises gewarnt.

Zusätzlich zum Straßenzustand ist auf dieser Basis eine Vorabinformation z.B. über ein Stauende in einer Kurve oder langsam fahrende Fahrzeuge wie z.B. Traktoren möglich. Über Positions- und Geschwindigkeitsinformation wird verteilt ein genaues Bild über die Verkehrssituation gewonnen und steht bedarfsgerecht beim einzelnen Fahrzeug zur Verfügung.

Im vom BMBF geförderten Projekt Invent Verkehrsleistungsassistenz¹ wird untersucht, wie durch die direkte drahtlose Übertragung von Fahrzeuggeschwindigkeiten Stop & Go Wellen gedämpft werden können, wie ein hoher Verkehrsfluss bei der Verflechtung aufrecht erhalten und die Stauauflösung beschleunigt werden kann. Dazu wird u.a. die Zeitlücke des Abstandsregelsystems (Active Cruise Control - ACC) an die Situation angepasst, um den Verkehrsfluss im dichten Verkehr zu harmonisieren. Wird die Zeitlücke bei der Ausfahrt aus einem Stau verringert, so beschleunigen die Fahrzeuge schneller aus dem Stau heraus, der sich dadurch in kürzerer Zeit auflöst.

¹ <http://www.invent-online.de/downloads/VLA-handout-D.pdf>

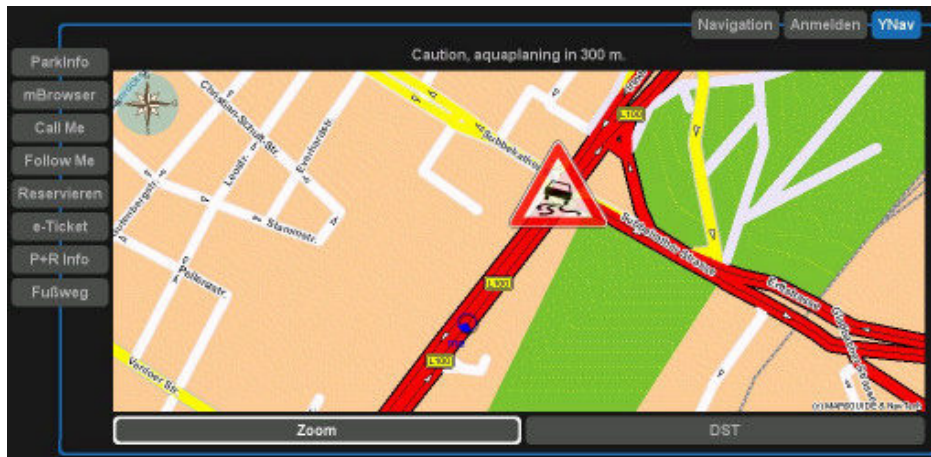


Abbildung 3: Darstellung einer Gefahrenwarnung in der Navigationskarte

Da von den Anwendungen der reinen Fahrzeug-zu-Fahrzeug Kommunikation der einzelne Netzteilnehmer erst profitiert, wenn genügend andere Fahrzeuge ebenfalls mit einem solchen System ausgestattet sind, ist es notwendig, die Einführung eines solchen Funksystems mit infrastrukturbasierten Anwendungen zu unterstützen. Die Übertragung von Stadtinformationen wie aktueller Verkehrslage und Parksituation sowie touristische Informationen über ein sogenanntes Virtuelles Stadtportal zu diesem Zweck wird von Bogenberger et al. in [1] beschrieben.

4. Funktechnologie

Grundlegende Voraussetzung, um die im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Funktionen realisieren zu können, ist eine geeignete Funktechnologie. Mit den auf dem IEEE Standard 802.11 basierenden drahtlosen lokalen Netzen ist eine solche Technologie heute verfügbar. Kosch und Schwingenschlögl haben in [6] die grundsätzliche Eignung der Variante 802.11b nachgewiesen. An einer speziell auf Fahrzeug-zu-Fahrzeug und Fahrzeug-zu-Infrastruktur Kommunikation abgestimmten Variante wird aktuell unter der Bezeichnung 802.11p gearbeitet. Diese soll im Frequenzbereich von 5.85-5.925 GHz zum Einsatz kommen. Das entsprechende Frequenzband ist in den Vereinigten Staaten bereits von der Regulierungsbehörde ausschließlich für den Einsatz im Verkehrsbereich reserviert worden. In Tabelle 1 sind die wesentlichen WLAN Funktechnologien mit ihren wichtigsten Charakteristika aufgeführt. Bluetooth eignet sich für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug Kommunikation schlecht. Dies liegt zum einen an der relativ geringen Reichweite, aber auch an den Verbindungsaufbauzeiten und der speziellen Organisation bei der Bildung von Gruppen zu 7 Teilnehmern, wenn das Netz aus vielen Knoten besteht.

	IEEE802.11b	IEEE802.11a	IEEE802.11p	Bluetooth
Funkreichweite	Mehrere 100m	Mehrere 100m	Mehrere 100m	< 100m
Datenrate	Bis 11Mbit/s	Bis 54 Mbit/s	Bis 27 Mbit/s	Bis 1 Mbit/s
Frequenzbereich	2,4 GHz	5 GHz	5,9 GHz	2,4 GHz

Tabelle 1: Vergleich der drahtlosen lokalen Funktechnologien

5. Wie funktioniert die Kommunikation in einem solchen Netz ?

Die Funktechnologie bildet die Basis für den Datenaustausch. Zusätzlich sind aber Kommunikationsprotokolle notwendig, die die Daten von den Quellen zu den Zielknoten weitergeben. Ist das Netz nicht zusammenhängend, wie im linken Teil der Abbildung 4, so können Nachrichten dennoch an einen entfernten Zielknoten gesendet werden. Sie werden dann in Zwischenknoten gespeichert. Durch die Bewegung der Teilnehmer kommen dann nach einer gewissen Zeit neue Knoten in den Kommunikationsbereich und die Nachricht kann schließlich den Zielknoten erreichen. Im rechten Teil der Abbildung ist ein Ausschnitt aus einer straßenbasierten Netzsimulation zu sehen. Es ergeben sich hier spezielle Topologien, die für den Entwurf der Kommunikationsprotokolle genutzt werden können.

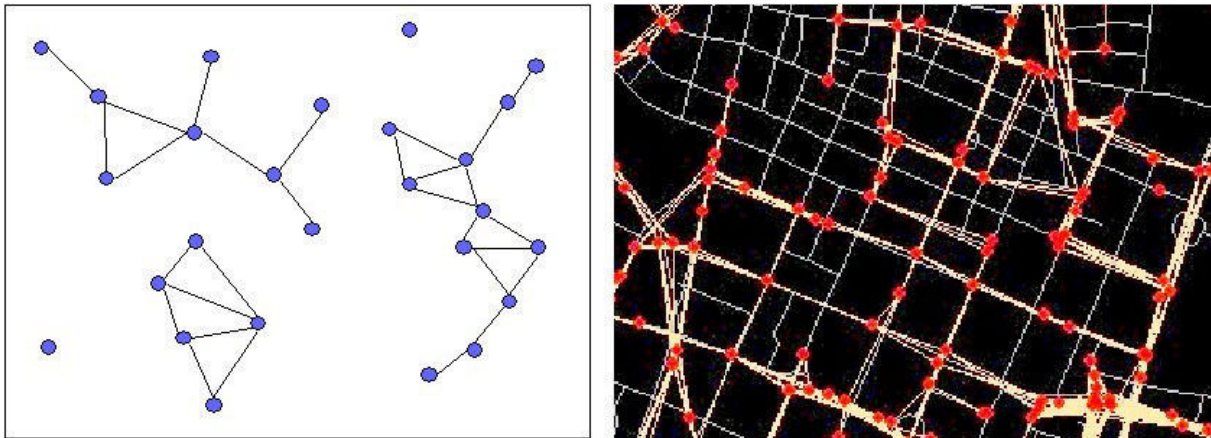


Abbildung 4: Netztopologien eines allgemeinen Ad-hoc Netzes (links) und eines fahrzeugbasierten Netzes in der Stadt (rechts)

Prinzipiell sendet jeder Teilnehmer regelmäßig seine Position an seine Nachbarknoten und erhält umgekehrt die Identitäten und Positionen seiner Nachbarn, die er in einer Tabelle verwaltet. Einen solchen Nachbarschaftsdienst beschreibt Briesemeister in [3]. Versendet ein Knoten eine Nachricht, so legt er fest, in welchem Gebiet die Nachricht verbreitet werden soll. Er sendet die Nachricht dann an alle Nachbarknoten. Der Knoten, der entlang einer Straße vom Sender am weitesten entfernt ist, reicht die Nachricht weiter (einen Überblick über positionsbasierte Routingverfahren geben Mauve et al. in [8] und Tseng et al. in [10]). Er erreicht mehr neue Fahrzeuge als alle dazwischenliegenden Knoten.

Nachrichten erhalten einen bestimmten Typ sowie einen Zeitstempel und ihren Ursprungsort. In jedem Fahrzeug entscheidet das Nachrichtensystem dann, an welche Applikation die Information zur Weiterverarbeitung gegeben wird. Applikationen melden sich dazu lokal in jedem Fahrzeug beim Nachrichten- und Kommunikationssystem für den Empfang von Nachrichten eines bestimmten Typs an. Dies ist ein grundlegender Unterschied zu nachrichtenbasierten Systemen in Festnetzen, bei denen Klienten Nachrichten von bekannten Nachrichtenservern abonnieren, wie in Abbildung 5 dargestellt.

Diese lokale Subskription kann auch dazu genutzt werden, ein Nachrichtenverbreitungsgebiet adaptiv zu bestimmen, wie dies auch von Kosch et al. in [7] beschrieben wurde. In diesem Fall legt nicht der Sendeknoten das Verbreitungsgebiet fest, sondern es bestimmt sich aus dem Interesse der Empfängsknoten. Die Empfängsknoten bewerten dabei eine Nachricht nicht allein anhand ihres Typs, sondern auch basierend auf ihrem Alter und ihrem räumlichen Bezug. Eine Nachricht wird dann solange in einer Richtung bzw. entlang einer Straße weiterversendet, wie eine ausreichende Menge von Teilnehmern Interesse an dieser Nachricht haben. Dieses Interesse ist beispielsweise bei einer Gefahreninformation stark davon abhängig, ob die Gefahr auf der Route des Nachrichtenempfängers liegt.

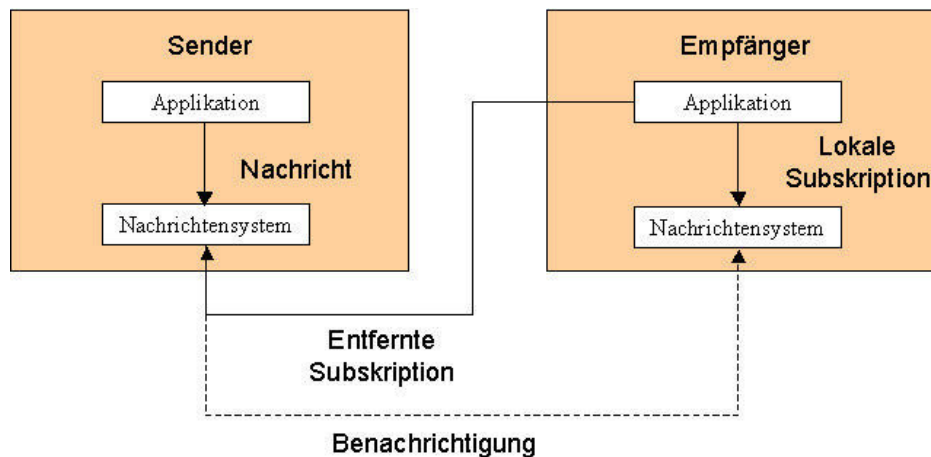


Abbildung 5: Subskriptionsarten

6. Simulation

Insbesondere bei der Neueinführung eines Ad-hoc Netz Kommunikationssystems werden zu Beginn nur wenige Fahrzeuge mit dem System ausgestattet sein. Aus diesem Grund ist es interessant zu wissen, wie lange es in Abhängigkeit der Menge ausgestatteter Fahrzeuge dauert, bis andere Fahrzeuge in einem Zielgebiet eine von einem Fahrzeug versendete Nachricht erhalten.

Legt man ein einfaches Verhaltensmodell von Fahrzeugen, die sich auf einem Straßennetz bewegen, gegenseitig nicht überholen und über Kreuzungen nacheinander in Eintreffreihenfolge fahren, sowie eine feste Kommunikationsreichweite von 500m zugrunde, so kann man das Verhalten eines von Fahrzeugen gebildeten Ad-hoc Netzes simulativ untersuchen. In Abbildung 5 ist dargestellt, wie lange eine einzelne Nachricht, die von einem Quellfahrzeug ausgesendet wird, benötigt, bis sie andere Fahrzeuge im Zielgebiet erreicht. Das abgebildete Simulationsergebnis basiert auf einzelnen, zufällig generierten Fahrzeuginstanzen in einem Teilgebiet von München mit einer Größe von 58 km². Die Nachricht wird 100s nach Simulationsstart ausgesendet. Dadurch wird anhand des Fahrzeugbewegungsmodells garantiert, dass die Fahrzeugdichte auf Hauptstraßen größer ist als auf Nebenstraßen. Zusätzlich wird berücksichtigt, dass Gebäude in der Stadt Funkverbindungen blockieren können.

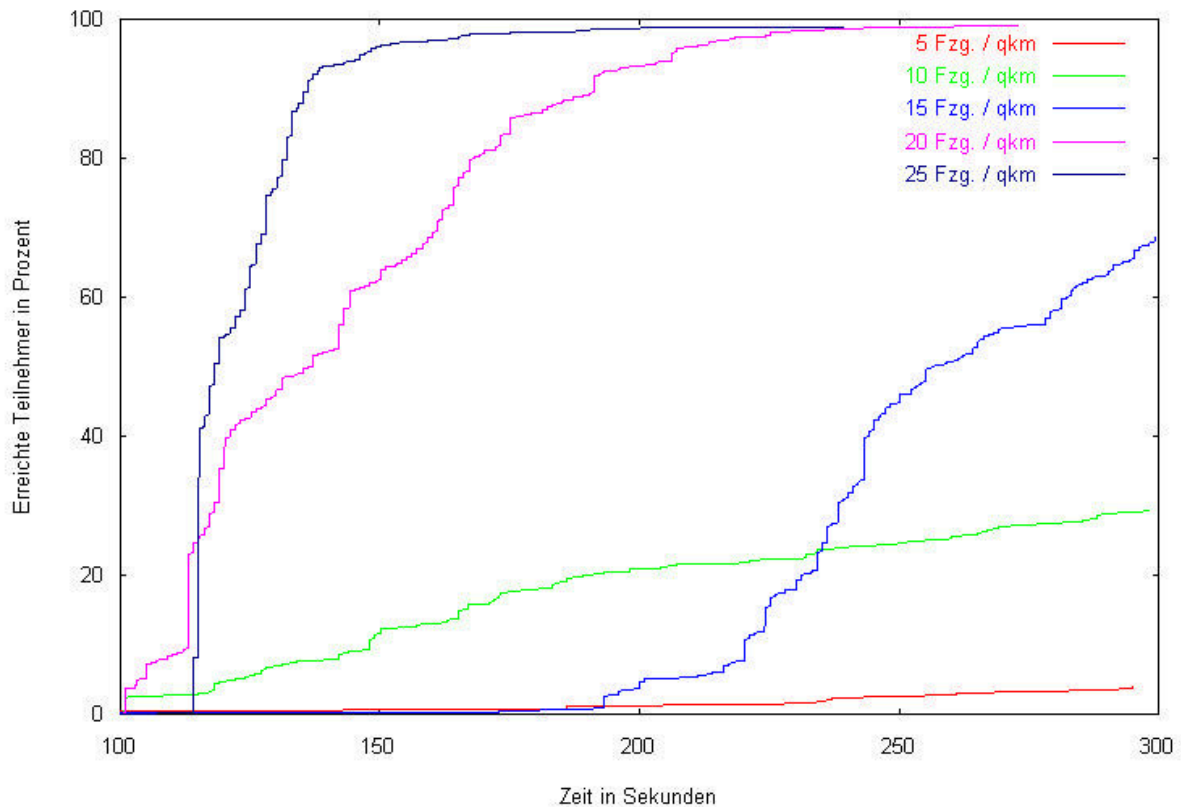


Abbildung 6: Nachrichtenlatenz in einem Verbreitungsgebiet der Größe 58 qkm

Es ist gut ersichtlich, dass bei einer Fahrzeugdichte von 5 Fahrzeugen pro km^2 auch nach mehr als 3 Minuten noch nicht einmal zehn Prozent der Fahrzeuge die Nachricht erhalten haben. Diese Nachrichtenlatenzzeit verringert sich jedoch sehr schnell, wenn sich die Dichte ausgestatteter Fahrzeuge erhöht. Bereits bei einer Dichte von 25 Fahrzeugen pro km^2 werden in weniger als einer Minute mehr als 95% der Fahrzeuge erreicht. Die Kurve bei 15 Fahrzeugen pro km^2 steigt erst relativ spät, weil das Sendefahrzeug in diesem Fall, zufallsbasiert ausgewählt, zunächst lange isoliert in einer Seitenstraße unterwegs ist.

Zusammenfassung

In diesem Artikel wurde der Einsatz kurzreichweitiger Kommunikation zur erweiterten Erfassung der Fahrumgebung eines Fahrzeugs motiviert. Durch den Einsatz dieser Kommunikation kann somit der Horizont der Fahrerassistenz erweitert werden. Kommunikationsprotokolle müssen die besondere Topologie der von Fahrzeugen gebildeten Netzen berücksichtigen und die speziellen Anforderungen der Anwendungen erfüllen. Mit Hilfe von Positionsinformation, beispielsweise per GPS Positionierung, und Straßenverläufen aus digitalen Karten ist dies realisierbar. Simulationsergebnisse zeigen, dass schon bei relativ geringen Mengen ausgestatteter Fahrzeuge eine rechtzeitige Information über Verkehrs- und Gefahrenzustände, auch innerhalb einer Stadt, möglich ist.

Literatur

- [1] Richard Bogenberger, Wolfgang Kellerer, Timo Kosch, Thomas Reicher, Christian Schwingenschlögl, Peter Sties und Matthias Wagner. *Virtual City Portal – A Multi-Network Personal Information System for Automobile Users*, IEEE/ITG International Workshop on Multiradio Multimedia Communications (MMC), Communication Technology for Vehicles, Dortmund, Deutschland 2003.
- [2] Richard Bogenberger und Timo Kosch. *Ad-hoc Peer-to-peer Communication-webs on the Street*. 9th World Congress on Intelligent Transport Systems (ITS 2002), Chicago, USA 2002.
- [3] Linda Briesemeister. *Group Membership and Communication in Highly Mobile Ad Hoc Networks*. Doktorarbeit. Fakultät für Elektrotechnik und Informatik. Technische Universität Berlin, Deutschland 2001.
- [4] Jörg Eberspächer, Hans-Jörg Vögel, und Christian Bettstetter. *GSM - Global System for Mobile Communication. Vermittlung, Dienste und Protokolle in digitalen Mobilfunknetzen*. Stuttgart: Teubner, Dritte Auflage, Januar 2001.
- [5] Walter Franz, Reinhold Eberhardt und Thomas Luckenbach. *Fleetnet – Internet on the road*. 8th World Congress on Intelligent Transport Systems (ITS 2001), Sydney, Australien 2001.
- [6] Timo Kosch und Christian Schwingenschlögl. *Mobile Ad Hoc Networking Testbed for Vehicle-to-Vehicle Communication*. 5th International Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Orlando, USA 2001.
- [7] Timo Kosch, Christian Schwingenschlögl und Li Ai. *Information Dissemination in Multihop Inter-Vehicle Networks - Adapting the Ad-hoc On-demand Distance Vector Routing Protocol (AODV)*, IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2002), Singapur 2002.
- [8] Martin Mauve, Jörg Widmer, and Hannes Hartenstein: *A survey on position-based routing in mobile ad-hoc networks*. IEEE Network, 2001.
- [9] Charles E. Perkins: *Ad Hoc Networking*. Addison-Wesley, 2001.
- [10] Y. C. Tseng, S. L. Wu, W. H. Liao, and C. M. Chao: Location awareness in ad hoc wireless mobile networks. *IEEE Computer*, 2001.