

Der aktuelle Stand der Car-to-X Kommunikation

The current status of Car-to-X communication

Dr. Andreas Lübke, Volkswagen AG, Wolfsburg, Deutschland

Kurzfassung

Der nachfolgende Beitrag gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Car-to-X Kommunikation. Nach einer genauen Begriffsdefinition und der Erläuterung der grundlegenden Eigenschaften werden zunächst die Möglichkeiten und Herausforderungen bei der Nutzung von Wireless LAN im automobilen Umfeld beschrieben. Anschließend erfolgt ein Überblick über die Standardisierungsaktivitäten und die Unterschiede und Gemeinsamkeiten der verschiedenen Ansätze. Danach werden die Anwendungen genauer betrachtet. Es wird beschrieben, wie man den Nutzen quantifizieren will. Es besteht zwar weitgehend Einigkeit, dass die Car-to-X Kommunikation zur Erhöhung der Verkehrssicherheit und zur Steigerung der Verkehrseffizienz beitragen kann, genaue Zahlen fehlen aber (noch). Den Abschluss bildet ein Ausblick auf weiterführende Projekte in Deutschland und Europa.

Abstract

This paper gives an overview on the current status of Car-to-X communication. It starts with a definition and an introduction into the basic principles. Then the performance and challenges of the Wireless LAN use in an automotive environment are described. After that the current standardization activities and the differences of the approaches in Europe and in the US are explained. Also a closer investigation to the application is subject of this paper. It is common understanding that Car-to-X communication will help to improve traffic efficiency and road safety, however exact numbers are still missing. Simulation might help to get this numbers. In this paper finally an outlook on planned field trials in Germany and Europe is given.

1 Einleitung

Was verstehen wir unter Car-to-X Kommunikation? Der Begriff sagt aus, dass ein „Car“ mit einem Kommunikationspartner „X“ kommuniziert. Für „X“ sind unterschiedliche Möglichkeiten denkbar: Ein weiteres Fahrzeug, Verkehrsinfrastruktur wie zum Beispiel Lichtsignalanlagen, stationäre Internet Access Points oder Mobilgeräte. Anwendungen der Car-to-X Kommunikation kommen aus der Verkehrssicherheit, der Mobilität und Verkehrseffizienz sowie aus dem Bereich Entertainment. Einsetzbare Funktechnologien sind zum Beispiel verschiedene Varianten von Wireless LAN IEEE 802.11 oder zellulare Netze wie GPRS, EDGE oder UMTS. **Bild 1** zeigt mögliche Szenarien und Technologien.

Im weiteren Verlauf beschränkt sich der Beitrag auf die Kommunikation von Fahrzeugen untereinander sowie mit der Verkehrsinfrastruktur und auf Anwendungen aus den Bereichen Verkehrssicherheit und Verkehrseffizienz. Technologische Basis hierfür ist Wireless LAN. Die Kommunikation ist gekennzeichnet durch spontane Ad-Hoc Vernetzung, durch Multi-Hop Kommunikation zur Erhöhung der Reichweite sowie durch positionsbasierte Adressierung und positionsbasierte Routingprotokolle.

Car-to-X Kommunikation soll dabei schon bestehende Sensorik nicht ersetzen, sondern ergänzen! Während Systeme wie Radar, Laserscanner oder Videokameras häufig sehr genau und sehr schnell sind, bietet die Kommunikation die Vorteile,

- dass in technische Systeme „reingeschaut“ werden kann. Z. B. kann man per Bildauswertung zwar erkennen, was eine Ampel gerade anzeigt, aber nicht wann sie umschaltet,
- dass durch Hindernisse wie zum Beispiel einen LKW unmittelbar vor dem eigenen Fahrzeug „hindurch geschaut“ werden kann,
- und dass größere Strecken überwunden werden können und bei Bedarf auch „um die Ecke geschaut“ werden kann.

Ob und in welchem Umfang die beiden letztgenannten Vorteile zur Geltung kommen, hängt von geeigneten Protokollen und von einer Mindestpenetration im Feld ab. Wesentlich sind aber auch die Eigenschaften der WLAN Technologie bei der Nutzung im automobilen Umfeld. Auf die Performance von WLAN wird daher im folgenden Kapitel näher eingegangen.

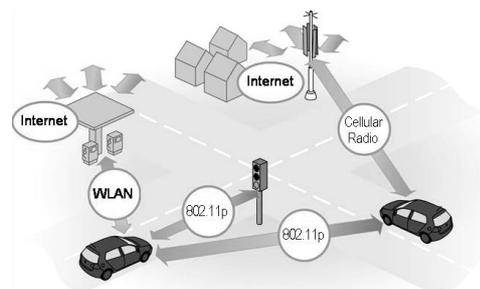


Bild 1 Die Vision der Car-to-X Kommunikation

2 Performance von WLAN im automobilen Einsatz

Durch die Car-to-X Kommunikation sind neue Anwendungen darstellbar. Der Endkunde erwartet natürlich, dass diese Anwendungen zuverlässig und problemlos funktionieren. Als technische Basis wurde Wireless LAN IEEE 802.11 gewählt [1]. Dieses ist ursprünglich nicht für den Einsatz in Fahrzeugumgebungen ausgelegt worden. Diese Umgebung weist gegenüber dem Heim- oder Büroeinsatz einige Unterschiede auf. Insbesondere unterliegt der Funkkanal bei sich bewegenden Fahrzeugen häufigen, schnellen und starken Änderungen - im Gegensatz zum Heim- und Bürobereich, wo der Kanal quasi statisch ist. Der Fahrzeughersteller benötigt daher praktische Erfahrung im Umgang mit der WLAN-Technologie im Fahrzeugeinsatz.

2.1 Ergebnisse von WLAN Praxistest

In mehreren ausführlichen WLAN Praxistest [2,4] wurden die nachfolgend beschriebenen Erkenntnisse gewonnen. Für die Versuche wurden zwei VW Touran mit Dachantenne genutzt. Die Test fanden sowohl auf dem VW Prüfgelände als auch im öffentlichen Straßenverkehr statt.

- Die Performance ist grundsätzlich ausreichend. Die Latenz für kurze Nachrichten liegt im Bereich von 1 ms.
- Es ist kein negativer Einfluss der Fahrzeuggeschwindigkeit festzustellen. Auch bei 200 km/h Relativgeschwindigkeit ist noch Kommunikation möglich.
- Es besteht ausreichend Zeit Daten auszutauschen. Bei 200 km/h Relativgeschwindigkeit hatten die Testfahrzeuge fast 5 s Zeit für den Datenaustausch.
- Die Reichweite in freiem Gelände ist ausreichend. Je nach abgestrahlter Leistung sind Reichweiten von über 1 km möglich.
- In durch zusätzlichen WLAN Datenverkehr gestörten Umgebungen ist die Latenz nicht vorhersehbar und liegt unter Umständen im Bereich mehrerer Sekunden. Ein geeignet geschütztes Frequenzband (siehe Abschnitt 3.2) ist daher erforderlich.
- Grundsätzlich funktioniert Car-to-X Kommunikation auch mit automatischen Kanalscanning. Allerdings ist die Zeit bzw. die Wegstrecke, die durch das Scanning ungenutzt bleibt, insbesondere bei hohen Relativgeschwindigkeiten erheblich. Daher ist ein besser geeignetes Schema zur Kanalnutzung anzustreben (siehe Abschnitt 3.2).
- Eine signifikante Verschlechterung der Performance im für die Car-to-X Kommunikation vorgesehenen 5,9 GHz Frequenzbereich ist nicht zu beobachten. Reichweite und Verhalten bei Abschattungen sind zwar etwas schlechter als bei niedrigeren Frequenzen, dieses kann aber zum

Beispiel durch eine höhere Sendeleistung ausgeglichen werden (siehe Abschnitt 3.2).

- Eine Herausforderung sind Abschattungen. Zunächst einmal kann das eigene Fahrzeug abschatten. Eine sorgfältige Platzierung der Antenne ist unbedingt erforderlich. Des Weiteren behindern auch andere Verkehrsteilnehmer die Kommunikation. Bei Test auf der Autobahn mit zwei LKW zwischen den Versuchsfahrzeugen war keine Kommunikation mehr möglich. Und auch die Bebauung am Straßenrand ist kritisch, insbesondere wenn an Kreuzungen oder Einmündungen „um die Ecke“ kommuniziert werden soll.

Bild 2 zeigt die Ergebnisse von Tests an einer Einmündung in Wolfsburg. Fahrzeug 1 stand ca. 40 m hinter der Einmündung (Position 1), Fahrzeug 2 ist um den Häuserblock gefahren. Das stehende Fahrzeug 1 war durch die Häuser verdeckt und konnte erst unmittelbar an der Einmündung gesehen werden. Gemessen wurden zum einen mit einer konventionellen IEEE 802.11a WLAN-Karte im Kanal 52 (5,260 GHz), zum anderen mit einem für die Car-to-X Kommunikation entwickelten IEEE 802.11p System. Dabei wurde Kanal 178 (5,890 GHz), eine eingestellten Sendeleistung von 100 mW und eine Datenrate von 6 MBit/s genutzt

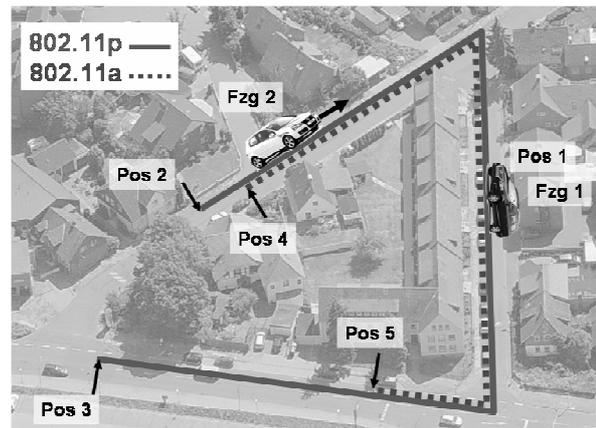


Bild 2 Verbindung bei Abschattungen durch Häuser (Foto: Microsoft Virtual Earth)

Bei der Zufahrt konnte die Verbindung ca. 60 m vor der Einmündung aufgebaut werden. Die Ergebnisse bei 802.11p (Position 4) waren trotz der höheren Frequenz etwas besser als bei 802.11a (Position 2). Grund hierfür ist die mit 100 mW recht hohe Ausgangsleistung der Karte. Auffällig ist ferner, dass die Reichweiten bei Zu- und Wegfahrt nicht identisch sind. Bei der Zufahrt ist die Bebauung auf allen Seiten dicht an der Straße, bei der Wegfahrt ist auf der Außenseite ein (im Bild nicht sichtbarer) Parkplatz. Die Reflexionen an den Häusern haben sich bei der Zufahrt positiv ausgewirkt. An besonders kritischen Einmündungen müssen aber unter Umständen stationäre Knoten als Repeater platziert werden, um eine ausreichenden Blick „um die Ecke“ zu bekommen.

2.2 Hochlastszenarien

Während in der ersten Phase der Markteinführung die Schwierigkeit darin liegt, Nachrichten überhaupt zu- verlässlich zu verbreiten, ist nach erfolgreicher Markt- einführung mit Problemen in Hochlast-Szenarien mit sehr vielen sendewilligen Fahrzeugen in kleinen räumlichen Gebieten zu rechnen.

Es gibt sehr viele Ansätze, die Netzlast zu kontrollieren und auch in Hochlast-Szenarien eine zuverlässige und den zeitlichen Anforderungen genügende Übertragung sicher zu stellen. Ein Beispiel ist Power Control, d. h. eine Limitierung der Sendeleistung und damit der Reichweite, wenn sehr viele Fahrzeuge in unmittelbarer Nähe sind [2, 10]. Eine Herausforderung hierbei ist die genaue Bestimmung der momentanen Kanalauslastung.

Bei der konkreten Ausgestaltung der Methoden wird zwischen drei verschiedenen Fällen unterschieden:

1. Periodisch von allen Fahrzeugen ausgesendeten Nachrichten mit Informationen über Position, Geschwindigkeit usw., die so genannten Beacons,
2. ereignisgetriggerte Nachrichten, die in einem bestimmten geografischen Gebiet verbreitet werden sollen,
3. und Nachrichten, die ggf. über mehrere Hops direkt zwischen zwei Fahrzeugen ausgetauscht werden.

Aktuelle Arbeiten [1] haben zum Ziel, die jeweils passenden Methoden auszuwählen sowie die Wechselwirkungen der Methoden untereinander abzuschätzen.

2.3 UMTS als Alternative und Ergänzung

Ein häufig im Zusammenhang mit Car-to-X Kommunikation gestellte Frage lautet: Warum werden nicht zellulare Netz wie zum Beispiel UMTS auch für den Austausch von Warnungen genutzt?

Um diese Fragen zu beantworten wurde eine Teststrecke mit innerstädtischen Anteilen sowie Anteilen an Autobahn und Landstraße im Raum Wolfsburg festgelegt. Zwei Versuchsfahrzeuge sind auf dieser Teststrecke hintereinander hergefahren und haben dabei versucht, ständig über UMTS kurze Nachrichten untereinander auszutauschen. Ein Rückfall auf GPRS war nicht vorgesehen, ohne UMTS Abdeckung war entsprechend keine Kommunikation möglich [4].

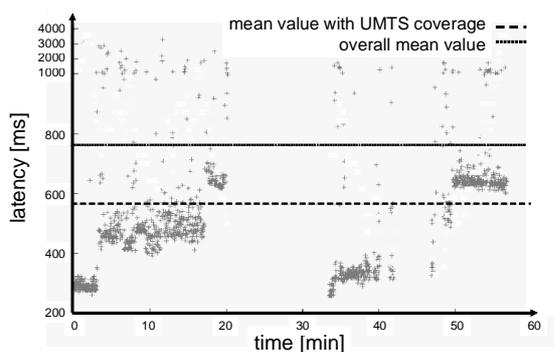


Bild 3 Latenz im UMTS Praxistest

Die Messergebnisse in Bild 3 zeigen, dass die Latenz meistens im Bereich von 300 ms bis 600 ms lag. Dieser Wert ist schon sehr hoch, es gab aber noch zahlreiche „Ausreißer“ mit Werten bis 4 s. Zu beobachten ist ferner, dass weder ein Einfluss der Fahrzeuggeschwindigkeit noch ein Einfluss der Signalstärke auf die Latenzzeiten festzustellen ist. Unklar ist, ob und in welchem Maße Faktoren wie zum Beispiel die Anzahl der weiteren Teilnehmer in der Zelle oder ein Zellwechsel die Ergebnisse beeinflusst haben. Hier sind noch genauere Untersuchungen gemeinsam mit den Netzbetreibern nötig.

Vorläufiges Ergebnis der Praxistest ist, dass UMTS in seiner heutigen Form nicht für zeitkritische Anwendungen geeignet ist. Im Förderprojekt Aktiv CoCar [3] werden zurzeit Methoden untersucht, die die Nutzung von zellularen Netzen auch für den Austausch von zeit- und sicherheitskritischen Nachrichten ermöglichen sollen.

3 Stand der Standardisierung

Ein sehr wichtiges Thema bei der Car-to-X Kommunikation ist die Standardisierung. Es ist offensichtlich, dass bei Anwendungen aus den Bereichen Verkehrssicherheit und Verkehrseffizienz Interoperabilität zwischen allen Automobilherstellern gegeben sein muss. Auch die Verkehrsinfrastruktur sollte nach einheitlichen Standards kommunizieren. Wichtig für die Automobilindustrie ist ferner eine langjährige Stabilität und Rückwärtskompatibilität. Natürlich muss der Standard auch den im vorherigen Abschnitt beschriebenen technischen Anforderungen genügen.

3.1 Beteiligte Gremien

Weltweit beschäftigen sich verschiedenen Gremien mit der Standardisierung. Die Gremien haben unterschiedliche regionale oder inhaltliche Schwerpunkte.

3.1.1 C2C-CC

Eine wichtige Initiative aus Europa ist das Car-to-Car Communication Consortium (C2C-CC). Mittlerweile sind ca. 30 Fahrzeughersteller, Zulieferer und wissenschaftliche Einrichtungen Mitglied im C2C-CC [1]. Schwerpunkt der Arbeit ist die Fahrzeug-Fahrzeug Kommunikation und Anwendungen aus den Bereichen Verkehrssicherheit und -effizienz. Das Konsortium besitzt sechs technische Arbeitsgruppen:

- Application
- Network Layer
- Physical- and MAC-Layer
- Architecture
- Security
- Standardization

Eine neue Arbeitsgruppe mit dem Schwerpunkt Simulation soll in Kürze die Arbeit aufnehmen.

3.1.2 ETSI

Seit Ende 2007 ist innerhalb des European Telecommunications Standards Institute das Technical Committee „Intelligent Transport Systems“ (ITS) aktiv. Es besitzt die folgenden Arbeitsgruppen:

- User and Application Requirements
- Transport, Network & Web Services
- Security and Lawful Intercept
- Architecture and Cross Layer
- Media and Medium related

Das ETSI TC ITS arbeitet eng mit dem C2C-CC zusammen, betrachtet dabei aber ein weiteres Feld an Anwendungen und Funktechnologien.

3.1.3 IEEE

Beim Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE sind die für die Car-to-X Kommunikation relevanten Standards unter dem Begriff „Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)“ zusammengefasst. Es befinden sich die folgenden Standards in der Spezifikation:

- IEEE 802.11p Wireless Access in Vehicular Environments - WAVE [6]
- IEEE 1609-0 WAVE Architecture
- IEEE 1609-1 WAVE Application Manager
- IEEE 1609-2 WAVE Security Services for Applications and Management Messages
- IEEE 1609-3 WAVE Network Service
- IEEE 1609-4 WAVE Medium Access Control

Im Mai 2008 hat der aktuelle IEEE 802.11p Draft nach mehreren gescheiterten Anläufen den „Letter Ballot“ passiert, allerdings gibt es noch über 500 Kommentare. Die 1609-Standards sind zur Zeit als „Trial Use Standards“ veröffentlicht, nach Ablauf dieser Phase Ende 2008 / Anfang 2009 ist mit Änderungen zu rechnen.

3.1.4 ISO

Innerhalb der International Organization for Standardization ISO ist die Working Group 16 „Wide area communications / protocols and interfaces“ des TC 204 „Intelligent Transport Systems“ für die Fragen rund um die Car-to-X Kommunikation zuständig. Die WG 16 hat einen weiteren Fokus als zum Beispiel das C2C-CC und betrachtet verschiedene Kommunikationstechnologien, unter anderem GSM, UMTS, DAB, CEN-DSRC, Infrarot und natürlich auch WLAN. Die ISO TC204/WG 16 ist auch unter dem Namen „CALM“ bekannt. Ursprünglich war CALM die Abkürzung für „continuous air-interface for long and medium range“, heute steht die Abkürzung für „continuous communication for vehicles“.

Alle vier genannten Gremien stehen in engen Kontakt untereinander. Ziel ist es, eine widerspruchsfreie Architektur zu entwerfen und das am Anfang dieses Kapitels genannte Ziel eines langlebigen, einheitlichen und geeigneten Standards für die Car-to-X Kommunikation zu erreichen. Allerdings gibt es zwischen Europa bzw. dem C2C-CC und den USA bzw. den WAVE-Standard Unterschiede. Diese werden im Folgenden kurz beschrieben.

3.2 Unterschiede zwischen Europa und den USA

Sowohl in den USA als auch in Europa soll IEEE 802.11p die technische Basis der Car-to-X Kommunikation bilden. Unterschiede bestehen aber in den nutzbaren Frequenzen. Da das verfügbare Spektrum in Europa zunächst kleiner ist, werden auch andere Ansätze für den Medienzugriff und die Kanalnutzung verfolgt. Außerdem spielt in Europa die Multi-Hop Kommunikation und das positionsbasierte Routing eine größere Rolle [1, 2]. In den USA liegt der Schwerpunkt auf Single-Hop Broadcast, in der Regel ausgehend von stationärer Infrastruktur.

3.2.1 Frequenzen

In Europa hat das Electronic Communications Committee ECC beschlossen, 30 MHz im Bereich zwischen 5,875 und 5,905 GHz für sicherheitsrelevante Anwendungen der Car-to-X Kommunikation bereit zu stellen. Eine zukünftige Erweiterung um 20 MHz ist möglich. Die maximal zulässige abgestrahlte Leistung e.i.r.p. beträgt 33 dBm bzw. 2 W [7].

Unter 5,815 GHz im Frequenzbereich der in Europa außerhalb Deutschlands weit verbreiteten CEN-DSRC Mautsysteme, darf die abgestrahlte Leistung nur noch -65 dBm betragen. Ziel dieser Begrenzung ist die störungsfreie Co-Existenz der beiden Systeme. Das nachfolgende **Bild 4** zeigt geplante Nutzung in Europa.

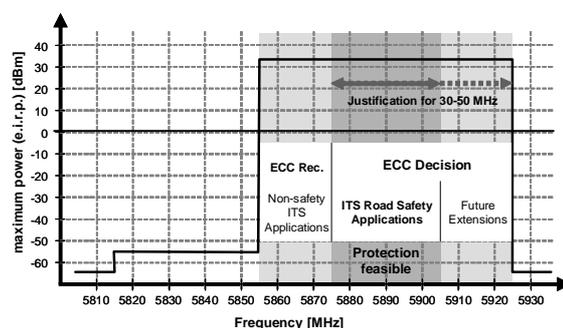


Bild 4 Geplante Frequenznutzung in Europa

In den USA ist seit einigen Jahren ein Frequenzband von 75 MHz Bandbreite im Bereich zwischen 5,850 GHz und 5,925 GHz für fahrzeugspezifische Anwendungen aus dem Bereich Sicherheit und Verkehrseffizienz zugesichert. Das Band ist in 7 Kanäle, darunter ein hervorgehobener Control-Channel, aufgeteilt.

3.2.2 Medienzugriff

Wie bereits erwähnt unterscheiden sich die Konzepte für die Kanalauswahl und den Medienzugriff in den USA und in Europa. In den USA ist lediglich ein Sender / Empfänger vorgeschrieben, der jeweils zwischen dem Kontrollkanal CCH und einem der Servicekanäle SCH wechselt. Der Wechsel geschieht im 50 ms Rhythmus auf Basis der GPS-Zeit. Innerhalb der 50 ms, in denen der CCH bzw. einer der SCH genutzt werden kann, greift dann das normale CSMA Medienzugriffsverfahren. In Europa wird vom C2C-CC dagegen ein Dual-Receiver Konzept favorisiert. Ein Empfänger hört dabei permanent auf den Kontrollkanal, der Zweite ist für die Service-Kanäle zuständig. Ein paralleler Empfang auf SCH und CCH ist möglich, nur wenn selbst Daten gesendet werden sind die jeweils anderen Kanäle blockiert.

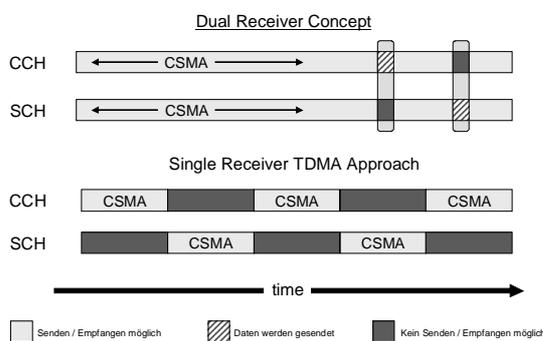


Bild 5 Vergleich der WAVE und der C2C-CC Ansätze zur Kanalnutzung

Bild 5 zeigt nochmals die beiden Ansätze im Vergleich. Es wird deutlich, dass der Dual-Receiver des C2C-CC die verfügbare Bandbreite effektiver nutzt. Allerdings ist er wegen der (mindestens) zwei benötigten Empfänger vermutlich auch etwas teurer.

4 Anwendungen und Nutzen

Es besteht allgemein Konsens, dass die Car-to-X Kommunikation zur Steigerung der Verkehrssicherheit und zur Erhöhung der Verkehrseffizienz beitragen kann. Ebenfalls allgemein anerkannt ist, dass eine bestimmte Penetrationsrate im Feld nötig ist, damit die Anwendungen wirksam werden. Was fehlt sind genaue Zahlen! Wie viele Unfälle können zum Beispiel durch ein zusätzliches „Elektronisches Martinshorn“, vermieden werden? Welche Auswirkungen hätte ein Baustellenlotse, der frühzeitig über den Verlauf von Baustellen informieren würde? Könnte damit tatsächlich der Verkehr flüssiger und effektiver durch eine Baustelle gelotst werden?

4.1 Simulationsumgebung Car-to-X

Eine Möglichkeit, den Effekt der Car-to-X Kommunikation zu bewerten, ist die Simulation. Die drei Aspekte

- Kommunikation
- Verkehr
- Anwendung

müssen mit geeigneten, miteinander gekoppelten Werkzeugen simuliert werden [5]. **Bild 6** zeigt die Struktur einer solchen Simulationsumgebung.

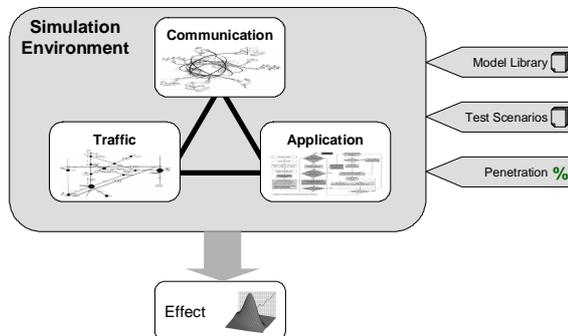


Bild 6 Simulationsumgebung Car-to-X

Wichtig ist die Möglichkeit der Rückkopplung: Wenn eine Anwendung über die (simulierte) Kommunikation Informationen über die (simulierte) Verkehrssituation erhält, dann muss die Möglichkeit bestehen, das Fahrverhalten oder die Fahrtroute in der Verkehrssimulation anzupassen. Um die Ergebnisse vergleichbar zu machen sind definierte Testszenarien sowie eine den Anforderungen genügende Modellbibliothek nötig.

Simulation ist immer nur eine Nachbildung der Realität, die Verwertbarkeit der Ergebnisse hängen von der Qualität der Modelle und Szenarien ab. Andere Möglichkeiten den Nutzen der Car-to-X Kommunikation zu quantifizieren, zum Beispiel das praktische Experiment oder die theoretische Analyse, sind aber wegen der Komplexität des Gesamtsystems und den Risiken von Versuchen im realen Straßenverkehr nur eingeschränkt nutzbar.

4.2 Beispiele für das Potential der Car-to-X Kommunikation

Einzelne, unabhängig voneinander erzielte Abschätzungen des Nutzens und der nötigen Penetrationsrate wurden bereits mit Hilfe von Simulationen gewonnen. Nachfolgend drei Beispiele:

- Das „Self-Organizing Traffic Information System SOTIS“ kann auf Autobahnen detaillierte Verkehrsinformationen schon bei 2% Markpenetration über Distanzen von 50 km verbreiten. Es ist dabei aktueller und genauer als herkömmliche Verkehrsinformationssysteme [8].
- Mit Hilfe von wenigen vernetzten Stützstellen verbreiten sich zum Beispiel Unfallmeldungen auch bei geringer Penetration ausreichend schnell. Bei einem Beispielszenario in der Innenstadt von Braunschweig sind bei 5% Ausstattungsrate nach 500 s in einer Entfernung von bis zu 3 km über 90 % aller ausgestatteten Fahrzeuge

über ein Ereignis in der Stadtmitte informiert. Allerdings nur, wenn 19 vernetzte, über das Stadtgebiet verteilte Stützstellen mit einbezogen sind. Ohne diese Stützstellen sinkt der Anteil der informierten Fahrzeuge auf unter 70 % [9].

- Ein naheliegender Gedanke zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und damit zur Reduktion des CO₂ Ausstoßes ist das Abschalten des Motors bei ausreichend langen Rotphasen an Lichtsignalanlagen, sowie das Ausrollen vor der Ampel, wenn diese nicht bei Grün erreicht wird. Car-to-X Kommunikation kann die dafür nötigen Informationen bereitstellen. Erste Studien haben gezeigt, dass in einem Szenario mit Lichtsignalanlagen alle 400 m die Kombination der Maßnahmen „Motor Aus“ und „Ausrollen“ eine Reduktion des Verbrauchs um bis zu 2 Liter je 100 km bewirken kann.

Die genutzten Simulationsumgebungen und Tools waren jeweils unterschiedlich, in der Struktur entsprechen sie aber alle der in **Bild 6** dargestellten.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die bisherigen Praxistests zeigen, dass WLAN als Funktechnologie für Car-to-X Anwendungen grundsätzlich geeignet ist. Auch wurden die Anwendungen schon in verschiedenen Projekten prototypisch dargestellt. Was fehlt sind

- der Nachweis, dass die WLAN Technologie auch im realen Straßenverkehr einsetzbar ist
- und genauere Abschätzungen, wie hoch das Potential zur Erhöhung der Verkehrssicherheit und Steigerung der Verkehrseffizienz ist.

Die beiden Fragestellungen werden in zwei großen, im Jahr 2008 gestarteten Forschungsvorhaben untersucht. Zum Einen im EU-Projekt Pre-drive C2X mit einem Schwerpunkt auf der simulativen Untersuchung des Nutzens und der Vorbereitung eines europäischen Feldtests für Car-to-X, zum Anderen im Projekt SIM-TD. In diesem deutschen Forschungsvorhaben soll ein Feldtest mit bis zu 400 Fahrzeugen durchgeführt werden. Ein weiterer bedeutender Aspekt von SIM-TD liegt in der Ausarbeitung von Markteinführungsszenarien und Betreibermodellen.

Parallel geht natürlich die Arbeit an der Standardisierung weiter. Ziel ist eine untereinander abgestimmte Lösung der beteiligten Gremien. Die Frequenzallokierung ist bereits sehr weit fortgeschritten, die Verabschiedung eines geeigneten Standards ist noch in dieser Dekade zu erwarten.

6 Weblinks und Literatur

- [1] <http://www.car-to-car.org/> Homepage des Car-to-Car Communication Consortiums
- [2] <http://www.network-on-wheels.de/> Homepage des BMBF Förderprojekts „NOW: Network on Wheels“
- [3] <http://www.aktiv-online.org/> Homepage des BMWI Forschungsinitiative „aktiv“ mit dem Projekt „CoCar“
- [4] C. Wewetzer, M. Caliskan, K. Meier, A. Luebke: „Experimental Evaluation of UMTS and Wireless LAN for Inter-Vehicle Communication“; 7. International Conference on IST Telecommunications ITST 2007, Sophia-Antipolis, 2007
- [5] C. Lochert, M. Caliskan, B. Scheuermann, A. Barthels, A. Cervantes, and M. Mauve: „Multiple simulator interlinking environment for inter vehicle communication.“; 2. ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET 2005), Köln, 2005
- [6] IEEE P802.11p D4.0; Draft Standard for Information Technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications; Amendment 7: Wireless Access in Vehicular Environments
- [7] ELECTRONIC COMMUNICATIONS COMMITTEE: ECC Decision of 14 March 2008 on the harmonised use of the 5875-5925 MHz frequency band for Intelligent Transport Systems (ITS)
- [8] L. Wischoff: „Self-Organizing Communication in Vehicular Ad Hoc Networks“; Dissertation, Technische Universität Hamburg-Harburg, 2007
- [9] C. Lochert, B. Scheuermann, M. Caliskan, M. Mauve: „The Feasibility of Information Dissemination in Vehicular Ad-Hoc Networks“; WONS 2007, 4. Conference on Wireless On demand Network Systems and Services, Oberurgl, Austria, January 2007
- [10] M. Torrent-Moreno, P. Santi, H. Hartenstein: „Distributed Fair Transmit Power Adjustment for Vehicular Ad Hoc Networks“; Third Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON), Reston, VA, USA, 2006.