

---

# V2X Kommunikation

Robert K. Schmidt, Tim Leinmüller and Bert Böddeker  
DENSO AUTOMOTIVE Deutschland GmbH, Eching

## Zusammenfassung

V2X Kommunikation wird allgemein als einer der nächsten Meilensteine bei der Entwicklung der Verkehrssicherheit gesehen. Sie hat als primäres Ziel selbige durch den Austausch von Informationen zu erhöhen. Dieser Beitrag gibt einen breiten Überblick über das Themengebiet V2X, welches Fahrzeug-Fahrzeug- (V2V) und Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation (V2I) zusammenfasst. Der Austausch von Informationen zwischen Fahrzeugen eröffnet viele Möglichkeiten. Er stellt dem Fahrzeug einen viel breiteren Informationshorizont zur Verfügung, auf der anderen Seite aber, stellt er den Automobilsektor vor neue Herausforderungen. In diesem Artikel werden diese besonderen Herausforderungen, technischer und organisatorischer Art, herausgestellt. Die Anzahl und vor allem Dichte der Kommunikationsparteien sowie deren Dynamik erfordern spezielle Beachtung. Um einen Vorteil von V2X zu erlangen, muss eine minimale Ausstattungsquote erreicht werden, was wiederum eine angemessene Markteinführungstrategie voraussetzt.

Im zweiten Teil dieses Artikels wird dargestellt, wie den genannten Herausforderungen begegnet wird. In den USA, Japan und Europa wurden dazu verschiedene Herangehensweisen gewählt. Ein Merkmal hierbei ist die unterschiedliche Unterstützung von V2V durch V2I. In Japan wurde bisher verstärkt auf den Ausbau von Infrastruktur, also Kommunikationsbaken am Straßenrand, gesetzt. Fahrzeuge erhalten ihre Informationen hauptsächlich hierüber. Ähnlich wie in den USA, rückt nach V2I nun auch V2V mehr in den Fokus. Dies stellt den Hauptunterschied zu Europa da. Hier wurde von Anfang an auf infrastrukturlose Kommunikation, V2V, gesetzt.

In den genannten Gebieten sind bereits große Fortschritte in der Forschung erzielt worden, weshalb nun in großangelegten Feldtests praktische Erfahrungen mit der Technik im Alltag gesammelt werden sollen.

Als weltweit agierender Automobilzulieferer unterstützt DENSO den Fortschritt bei der V2X Kommunikation in den drei Gebieten, Japan, den USA und Europa. Dabei engagiert sich DENSO in Forschung und Standardisierung und stellt als einen Betrag eine Hardwareplattform zur Verfügung, die den aktuellen technischen Stand abbildet und bereits viele Anforderungen im Fahrzeugbereich erfüllt.

## Summary

V2X communication is commonly seen as the next milestone for improving traffic safety. To achieve that, vehicles will be enabled to exchange any kind of information. This article provides a broad survey on Vehicle-to-Vehicle (V2V) and Vehicle-to-Infrastructure communication (V2I). Both types of communication are comprehended simply by V2X. The ultimate goal of V2X is to reduce traffic fatalities and injuries by realizing direct information exchange between the vehicles themselves leading to an improved knowledge of the driver regarding her surrounding. However, on the way to achieve that there are many challenges for the automotive industry. These peculiar challenges, divided into technical and organizational ones are pointed out in this article. For example, the high number and dynamics of communicating entities as well as how to achieve the minimum number of vehicles equipped to ensure proper operation of V2X. This also demands market introduction strategies and business models.

In the second part of this article it is described how the mentioned challenges are countered in a world-wide scope. In the U.S., Japan and Europe different approaches have been chosen like the different views on infrastructure-dependence. That is, the U.S. and Japan focus firstly on launching V2I and then support V2V in the second step whereas in Europe the focus lies on infrastructure-independent V2V communication.

From a world-wide point of view significant research progress has been presented. As a consequence, large-scale field operation tests are planned to prove the functionality of V2X in the everyday life. DENSO as a global acting company focuses on research and development of integration of active safety solutions. Also, DENSO supports the world-wide progress in V2X, i.e. in Japan, U.S. and Europe. As a technical contribution, DENSO distributes a V2X feasibility platform which fulfils the current state-of-the-art and satisfies automotive requirements on electronic equipment in automotive appliance.

## 1 Einführung und Motivation

Kommunikation im Fahrzeugumfeld bietet gute Möglichkeiten um die immer noch hohe Anzahl der Verkehrsunfälle und Verkehrstoten zu reduzieren. Unter dem Begriff V2V (Vehicle-to-Vehicle) Kommunikation<sup>1</sup> versteht man die Fähigkeit von Fahrzeugen, sich gegenseitig Informationen z.B. über den Straßenzustand, zukommen zu lassen. Zusätzlich zu der Vernetzung von Fahrzeugen untereinander kann auch Infrastruktur eingebunden werden. Dabei können Fahrzeuge über Straßenbaken oder auch über Zugangsknoten z.B. an Tankstellen wertvolle Informationen gewinnen. Dies wird unter dem Begriff V2I (Vehicle-to-Infrastructure) Kommunikation verstanden. In diesem Artikel wird auf beides eingegangen, welches zusammengefasst wird durch V2X Kommunikation.

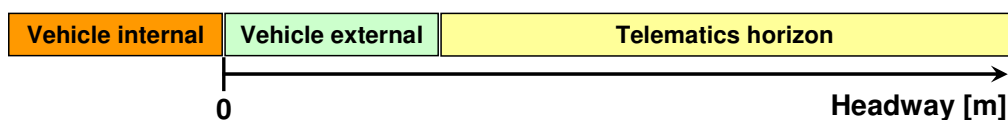


Abb. 1: Horionterweiterung des Fahrers – Enhancing driver's horizon

Durch Austausch von Positionsinformationen und Informationen über Fahrsituationen können Fahrzeuge andere Fahrzeuge vor Ereignissen warnen, bei denen zum Einen das Handeln des Fahrers (frühzeitiges verhaltenes Abbremsen) wie auch eine Reaktion des Fahrzeugs (Vorbereiten der Airbagzündung) selber notwendig sein könnte. Idealerweise wird dadurch der Horizont des Fahrers, wie in Abb. 1 zu sehen, erweitert. Bisher ist dieser limitiert auf wenige hundert Meter, die der Fahrer direkt einsehen kann beziehungsweise bordeigene Sensoren beurteilen können, zum Beispiel ein Abstandsradarsensor. Der Telematikhorizont ist aber nicht nur als Erweiterung zu sehen, sondern kann unter Umständen auch Störungen des direkten Sichtfeldes kompensieren. Einerseits können Sichtbehinderungen z.B. durch andere Fahrzeuge oder Nebel bestehen oder aber auch das gefürchtete Stauende in einer nicht einsehbaren Kurve lauern. Um die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten zu strukturieren erfolgt eine Kategorisierung in 3 Gruppen, „Active Safety“, „Traffic Efficiency“ und „Comfort & Infotainment“, vergleiche [19]. Die zuvor genannten Anwendungen gehören zur Gruppe „Active Safety“. Deren primäres Ziel ist der Schutz des Fahrers durch Vermeidung oder zumindest Milderung von Unfällen.

Denkbar sind auch Anwendungen, die den Verkehrsfluss verbessern und somit deutliche Einsparungen bezüglich Fahrzeit, Spritverbrauch und Abgasausstoß bieten, welche also die Effizienz des Verkehrs erhöhen (Gruppe „Traffic Efficiency“). Für Beifahrer bestünde auch die Möglichkeit, Komfortanwendungen von V2X Kommunikation zu nutzen. Dies beinhaltet z.B. interaktive Kommunikation mit umliegenden Fahr-

<sup>1</sup> Für V2V Kommunikation existieren viele Synonyme, z.B. Fahrzeug-Fahrzeuge Kommunikation, Inter-vehicle Communication (IVC), Vehicular Ad-hoc Networks (VANETs), Car-to-Car Communication (C2C).

zeugen und deren Insassen oder positionsabhängige Informationen von Städten, Tankstellen, Restaurants, etc. (Gruppe „Comfort & Infotainment“).

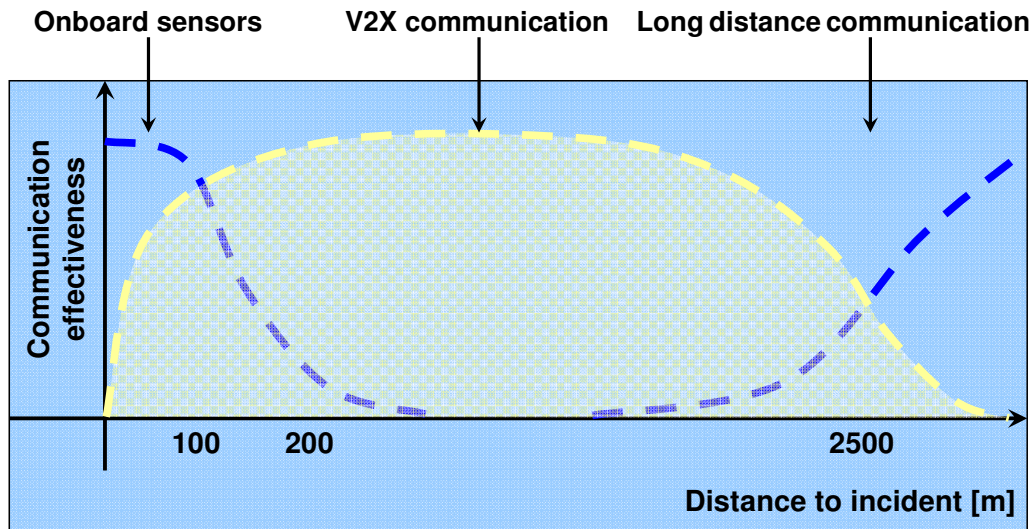


Abb. 2: V2X schließt die Kommunikationslücke –  
V2X fills the communication gap

Der genannte Telematikhorizont wird hauptsächlich durch V2X Kommunikation aufgebaut, vergleiche Abb. 2. Wie schon gesagt, geschieht dies durch den *Austausch* von lokal verfügbaren Informationen und schließt damit die Lücke zwischen dem Nahbereich, der durch bordeigene Sensoren beurteilt wird und dem Fernbereich, der auch durch Informationserhalt via Mobilfunk beurteilt werden könnte. Im mittleren Bereich bietet V2X die geringe Verzögerung ähnlich wie bordeigene Sensoren ohne auf den Sichtbereich beschränkt zu sein. Auf der anderen Seite können Informationen auch über mittlere Strecken transportiert werden, ohne das beispielsweise Kosten wie beim Mobilfunk anfallen.

Derzeit ist ein solches System noch nicht eingeführt, da einige Forschungs- und Entwicklungsfragen noch nicht endgültig gelöst sind. Für eine zügige Einführung fehlen zudem noch eine Markteinführungsstrategie und das Geschäftsmodell. Auch befindet sich die Standardisierung noch auf dem Weg zur Vereinheitlichung von V2X Kommunikation. Dies wird in diesem Artikel beschrieben.

Im ersten Teil werden die technischen und organisatorischen Herausforderungen und Aspekte beschrieben. Danach gibt dieser Artikel einen kompakten Überblick über die aktuellen Entwicklungen von V2X in Japan, USA und Europa. Die technischen Entwicklungen in Europa werden anschließend ausführlicher diskutiert. Abschließend wird ein Ausblick auf ersten großen Feldtest in Deutschland gegeben, bei dem alle bisherigen Fortschritte gesammelt werden und in größerer Zahl getestet werden sollen.

## 2 Anforderungen und Besonderheiten

Fahrzeug-Ad-Hoc-Netzwerke besitzen besondere Eigenschaften, die zusammengefasst ein eigenes Forschungsfeld darstellen. Im folgenden Abschnitt werden die *technischen* Herausforderungen dargestellt. Da V2X-Netze sehr viele (verschiedene) Kommunikationsparteien umfassen und weltweit eingesetzt werden, bringt dies weitere, *organisatorische* Anforderungen mit sich.

### 2.1 Technische Aspekte

Besonders interessant in Fahrzeug-Ad-Hoc-Netzwerken ist die die hohe Dynamik. Die einzelnen Kommunikationseinheiten, Fahrzeuge, können sich mit verhältnismäßig hohen Geschwindigkeiten bewegen und daraus ergeben sich zusätzlich noch hohe Relativgeschwindigkeiten, bei entgegenkommendem Verkehr. Hinzu kommt noch, dass in bestimmten Verkehrssituationen (z.B. im Stau) eine sehr hohe Dichte an Fahrzeugen entsteht, wohingegen, z.B. nachts, auch sehr geringe Fahrzeugdichten entstehen können.

Aus Kommunikationssicht bedeutet dies zum einen, dass sich das Kommunikationsumfeld, die Nachbarschaft, ständig verändert und damit keine dauerhaften stabilen Verbindungen aufgebaut werden können. Zum anderen werden Mechanismen gebraucht, die eine Überlastung des Funkkanals verhindern. Effiziente und gezielte Nachrichtenausbreitung meint aber nicht nur, dass Nachrichten im direkten Umfeld verteilt werden, sondern unter Umständen auch ein Weiterleiten in eine bestimmte Region. Beispielsweise ist eine Warnnachricht über einen Unfall für alle umliegenden Fahrzeuge interessant, aber auch für alle Fahrzeuge, die sich auf den Unfallort zubewegen. Zudem sollen diese Informationen zeitnah und verlässlich zugestellt werden. Verlässlich meint in diesem Zusammenhang, dass möglichst keine Nachrichten verloren gehen.

Ein weiteres wichtiges Thema ist IT-Sicherheit in V2X Kommunikation. Dabei geht es nicht in erster Linie um Verschlüsselung von Nachrichten, sondern um die Verlässlichkeit und Echtheit der Daten, die in Nachrichten enthalten sind, sowie die Anonymität des Fahrers. Es müssen also einerseits Vorkehrungen getroffen werden, dass es nicht möglich ist, falsche Warnnachrichten in das System zu bringen und somit zusätzliche Gefahrenpotentiale zu generieren. Andererseits muss die Privatsphäre des Fahrers gewahrt bleiben, z.B. darf er nicht nachverfolgbar sein.

Die genannten Aspekte stellen nur einen Teil der Anforderungen an V2X Protokolle und Mechanismen dar. Dennoch zeigen sie bereits auf, dass eine andere Herangehensweise als beispielsweise in mobiler Internetkommunikation nötig ist [15]. Ähnlichkeiten zu anderen Forschungsgebieten, wie drahtlosen Sensornetzen oder Delay-Tolerant Networks bestehen zwar, sie sind aber nicht deckungsgleich. Gerade die hohe Dynamik und Knotendichte bietet ein Alleinstellungsmerkmal. Deshalb sind Fahrzeug-Fahrzeug-Netze ein eigenes Forschungsgebiet, welches spezielle Protokollfamilien und besondere Algorithmen erfordert.

Theoretisch wäre weltweite V2X Kommunikation, unter zu Hilfenahme von Infrastruktur (Internet, GSM) möglich. Jedoch ist V2X hierfür weder technisch ausgelegt noch entspricht es der ursprünglichen Idee von V2X, schnelle Kommunikation direkt zwischen Fahrzeugen zu realisieren, ohne Netzdienstleister und damit kostengünstig, an Orten, an denen entsprechende Informationen für umliegende Fahrzeuge relevant sein könnten. Wie bereits in Abb. 2 zu sehen, ist der effektive Einsatz von V2X etwa im Bereich von 20 bis 2000 Metern Abstand zwischen zwei Kommunikationsparteien angesiedelt.

## **2.2 Organisatorische Aspekte**

Die genannten technischen Aspekte ziehen weitere, nicht-technische Aspekte nach sich. Einklang zwischen wirtschaftlichen (Fahrzeugkäufer und –hersteller) und staatlichen Interessen sind hier der Kernpunkt. Zunächst muss Konsens über die zu verabschiedenden neuen umfangreichen Standards herrschen. Dabei ist entsprechender Weitblick von Nöten, da die Nutzungsdauer von Fahrzeugen hoch ist (ca. 12 – 15 Jahre) und ein ständiges „Update“ der Fahrzeuge auf neue Standards unrealistisch und sogar zusätzlich problematisch ist.

Der genannte Konsens muss innerhalb einer der größten weltweiten Industrien erlangt werden, innerhalb welcher wiederum sehr viele verschiedene Interessen und Ansichten vorherrschen. Schließlich muss aber zur Sicherstellung der Funktionalität von V2X eine herstellerübergreifende Kompatibilität gewährleistet sein.

Speziell für V2V Kommunikation ist ein weiterer nicht-technischer Gesichtspunkt die, zu Markteinführung bestehende, geringe Penetrationsrate. Laut einer Studie [14], ist ein sinnvoller Betrieb erst bei einem (gleichmäßig verteilten) Ausrüstungsgrad von 10% aller Fahrzeuge möglich. Unter Annahme von 47 Millionen Fahrzeugen in Deutschland sind das 4,7 Millionen Fahrzeuge. Außerdem zeigt die Studie [14], dass ein solches System erst einigermaßen schnell, innerhalb von zweieinhalb Jahren, eingeführt werden kann, wenn mindestens 50% aller Neufahrzeuge mit entsprechender V2X-Ausstattung ausgeliefert werden. Bisher wurde eine Strategie verfolgt, Sicherheitssysteme zuerst in Oberklassemodellen einzuführen, um dann mit steigender Stückzahl (und Akzeptanz) und sinkenden Stückkosten auch Mittel- und Kleinwagenklasse ausstatten zu können. Jedoch würde diese Strategie eine weitere Verzögerung der Penetration mit sich bringen. Auf der anderen Seite ist auch eine der offenen Fragen, wie das Geschäftsmodell von V2X aussehen soll. Auf der anderen Seite ist dies für V2I Kommunikation weniger problematisch, da die Funktionalität nicht oder zumindest kaum von anderen Fahrzeugen abhängt, sondern allein von der Ausrüstung des eigenen Fahrzeugs und der Infrastruktur abhängt.

## **2.3 Zusammenfassung**

Die zuvor genannten technischen Aspekte in Kombination mit den nicht-technischen Aspekten stellen eine große Herausforderung dar. Erstere wurden bereits in mehrjähriger Forschung von Wissenschaftlern adressiert, wohingegen die nicht-

technischen Aspekte erst in den letzten Jahren angegangen wurden. Dabei verläuft die Entwicklung nicht international einheitlich. Einzelne Regionen betreiben unterschiedliche Herangehensweisen.

### **3 Aktueller Stand von V2X weltweit**

Die aktuellen Entwicklungen bezüglich Forschung, Entwicklung und Standardisierung finden hauptsächlich in den USA, Japan und Europa statt. In den USA ist die Standardisierung bereits sehr weit, viele Standards wurden hervorgebracht. In Europa befinden sich diese noch in der Diskussion. Bevor die Standardisierung in den entsprechenden Institutionen, z.B. IEEE, ETSI/CEN, stattfindet, werden diese innerhalb von Konsortien diskutiert bzw. harmonisiert. Deren aktueller Stand wird in diesem Abschnitt dargestellt. Zusätzlich geht der Abschnitt über den Stand in Europa noch genauer auf die technischen Entwicklungen ein.

#### **3.1 USA**

In den USA bilden die Automobilhersteller und das Verkehrsministerium (Department of Transportation, DOT) die treibende Kraft für die Forschung und Entwicklung von V2X. Das DOT fördert dabei Forschungsprojekte, an denen sich die Automobilhersteller beteiligen. Die Industriekonsortien VIIC (VII Consortium [12]) und CAMP (Crash Avoidance Metrics Partnership) unterstützen die entsprechenden Projekte zusätzlich.

Bereits 1999 hat die Zulassungsbehörde für Kommunikationsgeräte in den USA (FCC) eine Bandbreite von 75 MHz im 5,9 GHz Frequenzband für DSRC reserviert. Dieser Bereich ist exklusiv für den Einsatz im Automobilbereich reserviert und soll vornehmlich für Sicherheitsapplikationen genutzt werden. Der Bereich ist in 7 Kanäle zu je 10 MHz aufgeteilt, wobei die unteren 5 MHz nicht genutzt werden. Auf den genannten Frequenzband aufsetzend, spezifiziert IEEE P802.11p den Funkkanalzugriff. Zu bemerken ist noch, dass sich 802.11p noch in der Entwurfsphase befindet.

Die Protokolle oberhalb des Funkstandards sind in der IEEE 1609.x Protokollfamilie zusammengefasst und übernehmen die Aufgaben vieler bekannter Protokolle, vergleich Abb. 3.

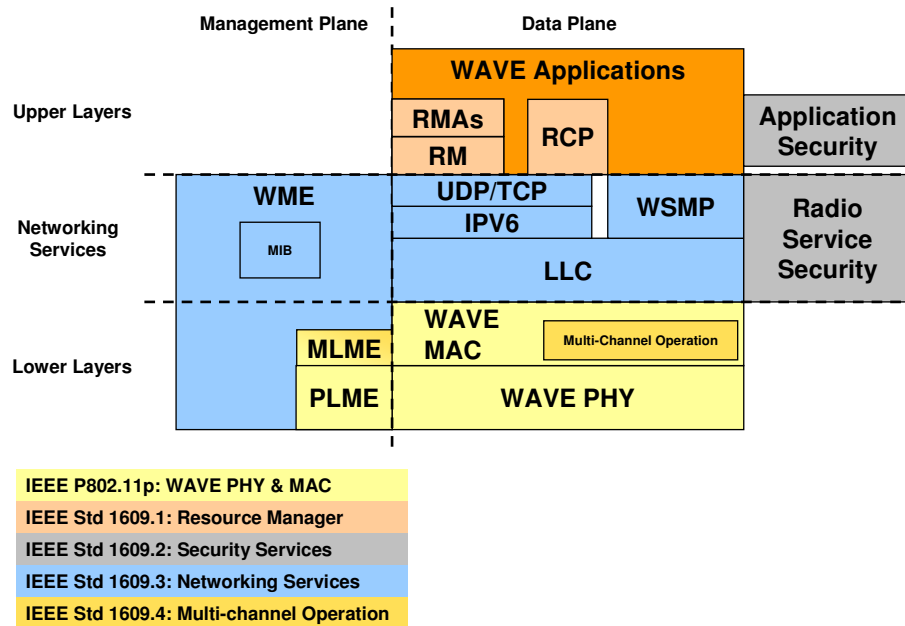


Abb. 3: WAVE-Protokollstack, USA

- IEEE 1609.1 [5] beschreibt den Resource Manager, der verantwortlich ist für das Sessionmanagement, also z.B. die Zustellung der eingehenden Applikationsnachrichten. Außerdem werden unterschiedliche Mechanismen für Fahrzeuge und Funkbaken definiert.
- IEEE 1609.2 [6] definiert Sicherheitsdienste. Dies umfasst das Absichern von WAVE Nachrichten gegen Abhören, Fälschen, usw.
- IEEE 1609.3 [7] stellt die Netzwerkschicht dar. Ein Novum ist hier die Einführung eines Publisher/Subscriber Kommunikationsmodells für bestimmte Informationsdienste mittels speziell definierter Nachrichtentypen.
- IEEE 1609.4 [8] definiert Mechanismen zur Nutzung der verschiedenen Funkkanäle, z.B. die Aufteilung in Kontroll- und Datenkanal, sowie die Mechanismen zum intervallweisen Wechsel zwischen den verschiedenen Kanälen.

In den USA steht V2V Kommunikation im engen Zusammenhang mit V2I Kommunikation. Teilweise wird V2I auch als Ausgangspunkt für V2X gesehen, wohingegen V2V erst bei ausreichender Penetration realisiert werden soll. Ähnlich ist die Situation in Japan, wohingegen in Europa versucht wird, ohne Infrastruktur auszukommen.

### 3.2 Japan

Japanische Ministerien sind die treibende Kraft für V2X Kommunikation in Japan. Dabei beteiligen sich das Ministerium für Land, Infrastruktur und Transport (Ministry of Land, Infrastructure and Transportation, MLIT), das Ministerium für Inneres und



Kommunikation (MIC), das Ministerium für Wirtschaft, Handel und Industrie (METI), sowie die staatliche Polizei (NPA).

Begonnen hat der produktive Einsatz von V2X Kommunikation mit dem Aufbau eines elektronischen Mautsystems (ETC) basierend auf DSRC, spezifiziert durch den Standard ARIB STD T55. Die zugehörige Infrastruktur ist bereits vollständig aufgebaut und betrieben. Aus diesem Grund gibt es bereits breite Unterstützung für V2I Kommunikation, da über bestehende Systeme ohne weiteres auch über ETC hinaus Daten transportieren können. Diese Unterstützung soll durch den Nachfolgestandard, ARIB STD T75, noch erweitert werden. Er definiert ebenfalls Nahkommunikation für V2I, allerdings mit deutlich höherer Übertragungsbandbreite bis zu 4 MBit/s. Um auch V2V Kommunikation zu ermöglichen, werden derzeit ein modifizierter WAVE Standard im 5,8 GHz-Bereich und ein völlig neuer Standard im 700 MHz-Band entwickelt und untersucht.

Eine weitere Basis, hauptsächlich unterstützt von der NPA, ist das Vehicle Information and Communication System (VICS). Auch dieses System ist bereits in Betrieb und wird auf Japans Straßen eingesetzt.

Die aktuelle Forschung für V2X in Japan läuft hauptsächlich in drei öffentlich geförderten Projekten ab: Advanced Safety Vehicle (ASV), Advanced Highway Systems (AHS) und Driving Safety Support Systems (DSSS). ASV legte in den ersten drei Phasen den Fokus auf die Entwicklung und Ausstattung von Fahrzeug mit intelligenten Sicherheitssystemen, wie z.B. Abstandsregelung. Die aktuell andauernde Phase vier von ASV berücksichtigt im Hinblick auf aktive Sicherheit auch den Einsatz von V2X Kommunikation via DSRC. Auf der anderen Seite beschäftigt sich AHS mehr mit der Infrastruktur und auch der Kommunikation zwischen Fahrzeug und Infrastruktur. Das Augenmerk liegt zum einen auf Verkehrssituationserkennung durch verschiedene Sensoren, z.B. auch Radar, die in die Verkehrsinfrastruktur integriert ist. Diese Informationen sollen dann via 5,8 GHz DSRC an die Fahrzeuge verteilt werden. Weitere Entwicklungen der NPA laufen innerhalb vom DSSS Projekt ab, welches hauptsächlich auf „Infrarot-Beacons“ setzt, also Baken am Straßenrand, die Infrarotkommunikationstechnik verwenden.

Die starke Beteiligung der verschiedenen Ministerien, die bereits frühzeitig mit einem elektronischen Mautsystem begann, stellt einen großen Vorteil für Japan im V2X-Bereich dar. Eine andere Herangehensweise legt Europa an den Tag. Aufgrund des hohen Aufwandes zum Aufbau von Infrastruktur wird hier versucht, weitgehend auf EU-weit einheitliche Infrastrukturausrüstung zu verzichten und den Fokus auf V2V zu legen.

#### **4 Europa**

Europäische sowie national geförderte Forschungsprojekte auf der einen Seite und das Car-to-Car Communications Consortium (C2C-CC) [2] sind Europa verantwortlich für den Fortschritt in V2X Kommunikation.

Das C2C-CC ist zuständig für die Konsolidierung der Ergebnisse aus EU- und nationalgeförderten Projekten. Mitglieder sind nicht nur Automobilhersteller, sondern auch Zulieferer und Forschungsinstitute. Außerdem bereitet es die zukünftigen Standards für V2X vor, um sie dann in die Standardisierungsgremien, z.B. ETSI zu einzuspeisen. Bei der Frequenzvergabe beispielsweise hat das C2C-CC eine Reservierung von 30 MHz Bandbreite erreicht, die für die Verbesserung der Verkehrssicherheit genutzt werden sollen. Weitere 20 MHz sind zukünftig zusätzlich verfügbar, um z.B. den Verkehrsfluss zu verbessern. Des Weiteren erarbeitet das C2C-CC Strategien für die Markteinführung von V2X.

#### 4.1 Aktueller Stand der Technik

Im folgenden Abschnitt wird auf den aktuellen technischen Stand von V2X Kommunikation in Europa genauer eingegangen. Der Abschnitt ist in fünf Unterabschnitte gegliedert, entsprechend den einzelnen Protokollebenen, die für V2X vorgesehen sind. Dieses Modell ist stark angelehnt an das ISO/OSI Protokollschichtenmodell. Abb. 4 gibt einen Überblick über die C2C-CC Protokollarchitektur, sowie die Integration von Internetstandardprotokollen wie TCP/IP.

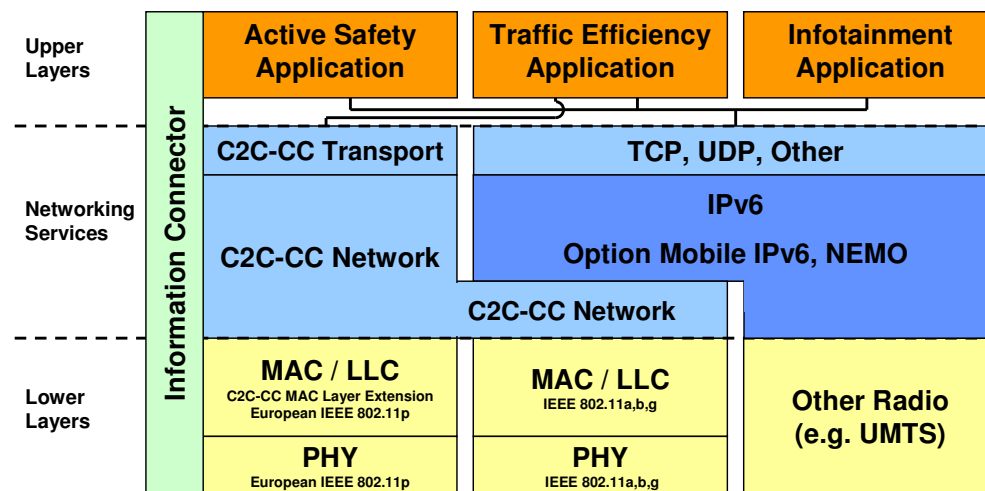


Abb. 4: C2C-CC Protokollstack, Europa

##### 4.1.1 Medium-Access Protokoll – IEEE 802.11p

Ausgehend von der IEEE 802.11 Protokollfamilie befindet sich derzeit IEEE 802.11p [4] in der Standardisierung für den speziellen Einsatz in V2X Kommunikation. Als Ausgangspunkt diente hierbei der aus WLAN bekannte Standard IEEE 802.11a im 5,8 GHz Band.

Bei der Auslegung des Protokolls wurde Wert auf Robustheit gelegt. Daher ist die Kanalbandbreite reduziert auf 10 MHz, womit sich auch die Datenrate auf maximal 27 MBit/s reduziert. Um größere Übertragungreichweite zu erzielen werden weitere, niedrigere Datenraten angeboten, bis hinzu 3 MBit/s, um die Paketfehlerrate in ungünstigen Kanalzuständen, z.B. starken Interferenzen, zu minimieren. Auf der anderen Seite ist eine Sendeleistung von bis zu 33 dBm möglich. Dies erlaubt insgesamt einen Senderadius von 500 bis sogar 1000 Meter [16]. Hierdurch ließe sich bereits eine Erweiterung des Horizonts des Fahrers erreichen. Im nächsten Schritt, durch Weiterleiten von Nachrichten, kann dieser (fast) unbegrenzt erweitert werden. Dafür sind jedoch besondere Mechanismen nötig, die durch Netzwerkprotokolle realisiert werden.

Die europäische Regulierungsbehörde hat eine Bandbreite von 30 MHz exklusiv reserviert mit einer Option auf weitere 20 MHz. Damit ergibt sich eine voraussichtliche Aufteilung in 3 bzw. 5 Funkkanäle. Das europäische Standardisierungsinstitut für Telekommunikation (ETSI) sieht weiterhin eine Unterteilung zwischen Kontroll- und Dienstkanal vor, ähnlich wie in den USA. Zusätzlich soll die Funkhardware in Europa in der Lage sein, zwei Kanäle gleichzeitig abzuhören, wohingegen in den USA dies nur als Option gehandelt wird.

#### **4.1.2 Netzwerkprotokoll**

Um Warn- und Informationsnachrichten in großen Gebieten zu verteilen, werden spezielle Netzwerkprotokolle verwendet. Deren Vertreter gehören zur Kategorie GeoCast.

Dabei werden Nachrichten nicht an bestimmte Adressen geleitet, sondern an eine Zielregion, bzw. an die darin sich befindlichen Fahrzeuge. In Abhängigkeit der angestrebten Entfernung zwischen Sender und Zielregion sind unter Umständen mehrere Zwischenstationen notwendig, wenn die Sendereichweite nicht ausreicht. In diesem Fall müssen Mechanismen eingesetzt werden, die eine Nachricht effizient in die Zielregion befördern. Dies ist die Aufgabe von Routing-Algorithmen.

Das Hauptproblem ist hierbei, im Unterschied zum Internet, dass sich die Positionen und Abstände der einzelnen Kommunikationsparteien ständig ändern. Auch sollten Nachrichten nicht von jedem Fahrzeug wiederholt gesendet werden, da die Kanalkapazität begrenzt ist. Im Umkehrschluss muss also ein Fahrzeug ausgewählt werden, welches die Nachricht weiterleitet. Hier kommt der regelmäßige Austausch von Positionsinformationen erstmalig ins Spiel. Da jedes Fahrzeug dadurch seine Nachbarschaft kennt, kann der eingesetzte Routing-Algorithmus ein bestimmtes Fahrzeug für die Weiterleitung adressieren.

Außerdem ist der Einsatz von Caching-Strategien vorgesehen, die eine Nachricht, auch unter Zuhilfenahme des Gegenverkehrs, in einer bestimmten (Ziel-)Region erhalten und somit für einfahrende Fahrzeuge nutzbar machen.

### 4.1.3 Transportschicht

Im Gegensatz zu Transportprotokollen im Internet (UDP/TCP), welche über sehr umfangreiche Funktionalität verfügen, werden Transportprotokolle in V2X relativ einfach gehalten. Hauptsächlich steht hier die Verteilung der Nachrichten an interessierte Applikationen im Vordergrund.

### 4.1.4 Applikationen

In V2X Kommunikation lassen sich die Applikationen in drei Kategorien einteilen, wie dargestellt in [1]:

- *Aktive Sicherheit*  
Die meisten Anwendungen basieren auf dem Wissen über Positionen und deren Veränderungen von benachbarten oder in der Nähe befindlichen Fahrzeugen. Ein Beispiel hierfür ist die „Cooperative Awareness“ Applikation. Sie setzt einen regelmäßigen Austausch von Position und Bewegungsvektor voraus.
- *Verkehrsflussoptimierung*  
Hierbei wird V2X Kommunikation genutzt um dezentral den Verkehrsfluss zu optimieren, Staus zu umfahren und Fahrzeiten zu verkürzen. Optimierter Verkehrsfluss meint aber auch eine Vergrößerung der lokalen Vorwarnzeit mit dem Ziel, abruptes Abbremsen zu verringern sowie gleichmäßigeres Beschleunigungsverhalten hervorzurufen.
- *Komfort und Infotainment*  
Zu dieser Kategorie gehören Anwendungen wie automatische Navigationskartenupdates und touristische Hinweise hauptsächlich durch V2I Kommunikation. Auf der anderen Seite sind aber auch Chat-Applikationen oder Spiele mittels V2V möglich.

Auf erstere wird im folgenden genauer eingegangen, da sie das Hauptziel von V2X Kommunikation darstellen: Die Anzahl der Verkehrstoten und Verkehrsunfällen zu reduzieren.

#### 4.1.4.1 Cooperative Awareness (CA)

Durch den Austausch von Beacon-Nachrichten kennen Fahrzeuge ihr Umfeld. Darüber hinaus kennen Sie die Bewegungen ihres Umfeldes und können sogar Prognosen erstellen. Mit diesen Informationen kann jedes Fahrzeug potentielle Gefährdungen durch andere Fahrzeuge erkennen und den Fahrer ohne große Verzögerungen warnen. Beispielergebnisse sind unter anderem Vollbremsungen von vorausfahrenden Fahrzeugen oder Spurverengung bzw. –zusammenführung. Jedoch wird das Fahrzeug nicht selbstständig eine Bremsung einleiten; der Handlungsbedarf liegt immer noch beim Fahrer.

#### 4.1.4.2 Ereignisbasierte Warnungen

Zusätzlich zu den Positionsinformationen kann ein Fahrzeug besondere Ereignisse melden. Dabei kann das Fahrzeug mittels zusätzlicher Sensoren sein Umfeld genauer analysieren, um eventuell umliegende oder auch entfernte Fahrzeuge zu warnen. Mögliche Sensoren sind z. B. Beschleunigungs- und Verzögerungssensoren, ABS-/ESP-Sensorik, Scheibenwischerzustand/Regensensor, Außentemperatursensor und Radar-/Lidar-Abstandsmesssensorik.

Der Unterschied zur oben vorgestellten CA Anwendung besteht in der aktiven Warnung vor bestimmten Ereignissen, die zusätzlich auf lokalen Sensorinformationen beruhen. Beispielsweise kann eine Warnung des Fahrers vor bevorstehendem Glatt-eis nur erfolgen, wenn vorausfahrende Fahrzeuge hiervor explizit warnen. CA Anwendungen hingegen berechnen auf Basis von Positions- und Geschwindigkeitsinformationen eine lokale Gefährdung, wie z.B. Kollisionswarnung bei Spurwechsel oder Geisterfahrer.

#### 4.1.5 IT-Sicherheit

Um die aktive Sicherheit zu erhöhen, darf V2X Kommunikation nicht anfällig für Sabotage sein. Unvorstellbar wären die Folgen für V2X, wenn durch einen technischen Fehler bzw. vorsätzliche Beeinflussung des Systems, Menschen ums Leben kommen. Mit der Absicherung, Erkennung und Behandlung solcher Sabotage beschäftigt sich unter anderem die IT-Sicherheitsarbeitsgruppe im C2C-CC.

Die größten Risiken sind zum einen die vorsätzliche Fälschung von Nachrichten, um Fahrzeuge (gezielt) zu beeinflussen. Zum anderen ist aber auch die Anonymität bzw. Privatsphäre des Fahrers gefährdet. Als Beispiel sei hier nur die Nachverfolgbarkeit des Fahrers genannt.

Grundkonzepte für IT-Sicherheit in V2X Kommunikation zur Sicherung der Privatsphäre wie auch zum Schutz gegen Falschmeldungen existieren bereits, z.B. zusammengefasst in [10]. Einerseits werden regelmäßig Positions- und Statusinformationen der Fahrzeuge gesendet, bei denen jedoch jedes Fahrzeug seine wahre Identität verbirgt, indem es temporäre Identifikatoren verwendet. Zusätzlich werden diese regelmäßig gewechselt. Auf der anderen Seite sollen Nachrichten digital signiert werden, um Authentizität der Daten zu gewährleisten. Jedoch ist die Realisierung weiterhin eine Forschungsfrage, also welcher Krypto-Algorithmus mit welcher Schlüssellänge verwendet wird und vor allem wie die Schlüssel- und Zertifikatsverwaltung ablaufen soll. Hierbei ist nicht nur die technische Seite eine Herausforderung, sondern auch die organisatorische. Denn eine solch weitgehende Verwaltung erfordert eine entsprechend ausgelegt Infrastruktur, die finanziert und betrieben werden muss. Auch rechtliche Fragen sind hierbei noch nicht geklärt.

## 5 V2X im Einsatz

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt gibt es noch keine Serienentwicklung für V2X-Komponenten. Dennoch gibt es einige Prototypen, die jeweils das Ergebnis einzelner Projekte darstellen. Dem globalen Trend folgend, werden deshalb nun verstärkt Feldversuche im größeren Rahmen geplant und ausgeschrieben, um weitere Schritte in Richtung (Groß-)Serieneinführung zu machen.

Wie schon zuvor erwähnt, blicken Japan, USA und Europa auf eine fundierte Forschungshistorie zurück. Viele Simulationsergebnisse und Demonstrationsplattformen sollen nun in größeren Feldtests validiert und weiterentwickelt werden. Weiterhin bedürfen die wissenschaftlichen und theoretischen Konzepte nun eines großangelegten Praxistests. In Deutschland ist dies SIM-TD.

Der zweite Teil dieses Abschnittes beschreibt einen der technischen Beiträge DENSOs zu V2X, nämlich einer Demonstrations- und Experimentalplattform, der sogenannten Wireless-Safety Unit (WSU).

### 5.1 SIM-TD

Sichere Intelligente Mobilität Testfeld Deutschland [3] ist der erste großangelegte Feldtest in Deutschland. Kern des Projektes stellen diverse Erprobungen von V2X Kommunikation im Großraum Frankfurt am Main dar. Die Testszenarien umfassen Autobahn (A5 – Frankfurt – Gießen) sowie Innenstadt (Frankfurt).

Die aktuell diskutierte Protokollstruktur soll in einem „operativen“ Umfeld auf relevante Eigenschaften wie z.B. Skalierbarkeit und herstellerweite Interoperabilität überprüft werden. Darüber hinaus untersucht werden soll die Interaktion mit anderen verfügbaren Kommunikationsmedien [18], z.B. UMTS. Die Ergebnisse dieses Tests sollen dann weiteren Forschungsbedarf aufdecken und Technologieverbesserungen sowie Standardisierungsbeeinflussung zum Ziel haben.

Neben der V2V Kommunikation soll in SIM-TD auch die V2I Seite detailliert betrachtet werden. Dies beinhaltet die Entwicklung von entsprechender Infrastrukturausrüstung, Funkbaken am Straßenrand sowie Lösungen zur Vernetzung der infrastrukturseitigen Hardware untereinander und mit relevanten Servern. Auf der anderen Seite sollen hier auch Betreibermodelle erarbeitet werden, unter Betrachtung von Einführungszenarien [17]. Die so gewonnenen Erkenntnisse sollen schließlich auch eine Informationsgrundlage für eine Einführungsentscheidung für V2X bieten.

### 5.2 DENSO Kommunikationsplattform

Die Wireless-Safety Unit (WSU) von DENSO bietet eine ideale Plattform zu Demonstrations- und Experimentalzwecken. Sie unterstützt dabei den zuvor beschriebenen Funkstandard IEEE 802.11p, den in den USA verwendeten WAVE Protokollstack, den in Europa eingesetzten C2C-CC Protokollstack, sowie auch die japanischen Protokolle.



Abb. 5: DENSO Wireless-Safety Unit (WSU)

Wie in Abb. 5 gezeigt, verfügt die WSU über vielfältige Anschlussmöglichkeiten, wie z.B. CAN2.0, Ethernet, RS-232, GPS, PCMCIA, USB. Dadurch stellt die WSU eine Komplettlösung dar, die bereits viele Anforderungen aus dem Automobilsektor erfüllt. Dies beinhaltet Toleranz von Spannungsschwankungen, Vibrationen, etc.

In der WSU steckt ein 400 MHz PowerPC, SPC5200B, dem 128 MB Hauptspeicher zur Seite stehen. Firmware und Applikationen werden im 64 MB großen Flash ROM abgelegt. MiniPCI-Schnittstellen dienen zur Aufnahme von ein oder zwei Funkmodulen. Dies erfüllt jeweils die Anforderungen in den USA, Europa und Japan. Der Fokus der WSU liegt auf der Realisierung und dem Test von Protokollen und Anwendungen für Aktive Sicherheit.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Diese Arbeit führt in das Thema V2X Kommunikation ein. Dabei wird auf die Besonderheiten von V2X Kommunikation eingegangen, welche zu gleichen Teilen aus technischen und organisatorischen Aspekten bestehen. Bereits viel Fortschritt wurde auf der technischen Seite gemacht, wohingegen z.B. bei der Erarbeitung von Markteinführungskonzepten noch Nachholbedarf besteht.

In den USA, Japan und Europa wurde durch geförderte Projekte und Beteiligung vieler Parteien, wie staatlichen Ministerien, Automobilherstellern und –zulieferern sowie Forschungseinrichtungen viel wissenschaftliche Forschungsarbeit und Standardisierung geleistet, welche bereits einen Funkstandard, IEEE 802.11p, hervorgebracht hat. In der nächsten Zeit wird der Fokus auf die Bewertung der wissenschaftlichen Ergebnisse gelegt, die mittels großangelegten Feldtests mit seriennaher Hardware validiert werden sollen.

DENSO ist hierbei weltweit aktiv und unterstützt in seiner Rolle als Zulieferer die Bestrebungen die Verkehrssicherheit zu erhöhen. Dies umfasst Forschungsarbeiten im Bereich Fahrsicherheit allgemein und aktive Fahrsicherheit, unter anderem via V2X Kommunikation im Speziellen. Zusätzlich unterstützt DENSO die Forschungsarbeit und Feldtests durch eine geeignete Forschungs- und Demonstrationsplattform in der

zweiten Generation, die bereits viele Anforderungen für den automobilen Einsatz erfüllt.

## 7 Literatur

- [1] C2C-CC Technical Committee  
Car to Car Communication Consortium Manifesto - Overview of the C2C-CC System  
August 2007
- [2] Car2Car Communication Consortium (C2C-CC) Website  
<http://www.car-to-car.org/>
- [3] Sichere Intelligente Mobilität Testfeld Deutschland (SIM – TD)  
<http://www.sim-td.de/>
- [4] IEEE P802.11p  
Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)
- [5] IEEE Std. 1609.1 – 2006  
IEEE Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Resource Manager
- [6] IEEE Std. 1609.2 – 2006  
IEEE Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments - Security Services for Applications and Management Messages
- [7] IEEE Std. 1609.3 – 2007  
IEEE Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Networking Services
- [8] IEEE Std. 1609.4 – 2006  
IEEE Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Multi-channel Operation
- [9] Walter Franz  
Car-to-Car Communication – Anwendungen und aktuelle Forschungsprogramme in Europa, USA und Japan  
Fachtagungsbericht GMM, VDE-Verlag, VDE-Kongress 2004  
Berlin, 18.-20.10.2004
- [10] Tim Leinmüller, Elmar Schoch und Christian Maihöfer  
Security Issues and Solution Concepts in Vehicular Ad Hoc Networks  
Fourth Annual Conference on Wireless On Demand Network Systems and Services (WONS 2007)  
Oberurgl, Österreich, 2007



- 
- [12] Vehicle Infrastructure Integration (VII)  
<http://www.its.dot.gov/vii/>
- [13] Crash Avoidance Metrics Partnership (CAMP)  
<http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/nrd-12/CAMPS.pdf>
- [14] K. Matheus, R. Morich, A. Lübke  
Economic Background of Car-to-Car Communications  
IMA 2004, Informationssysteme für mobile Anwendungen  
Braunschweig, 20.-21.10.2004
- [15] Holger Füßler, Sascha Schnauffer, Matthias Transier, Wolfgang Effelsberg  
Vehicular Ad-Hoc Networks: From Vision to Reality and Back  
Fourth IEEE/IFIP Annual Conference on Wireless On demand Network Systems and Services (WONS '07)  
Oberurgl, Österreich, 26. Januar 2007
- [16] Brian Gallagher, Hidehiko Akalsuka, and Hidehaki Suzuki  
Wireless communications for vehicle safety: Radio link performance and wireless connectivity methods  
IEEE Vehicular Technology Magazine, Volume 1, Issue 4, p4-24,  
Dezember 2006
- [17] Bharat Balasubramanian, Ralf G. Herrtwich, Matthias Schulze, Christian Weiß  
Status und Potential der Car-2-X Communication am Beispiel des Projekts SIM-TD  
VDA, 10. Technischer Kongress 2008  
Ludwigsburg, Deutschland, 2.-3. April 2008
- [18] Horst Leonberger, Marcus Heitmann  
SIM-TD: Herausforderungen und Chancen in einer vernetzten Welt  
VDA, 10. Technischer Kongress 2008  
Ludwigsburg, Deutschland, 2.-3. April 2008
- [19] Walter Franz  
FleetNet: Communication Platform for Vehicular Ad Hoc Networks  
First ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET)  
Philadelphia, 1. Oktober 2004