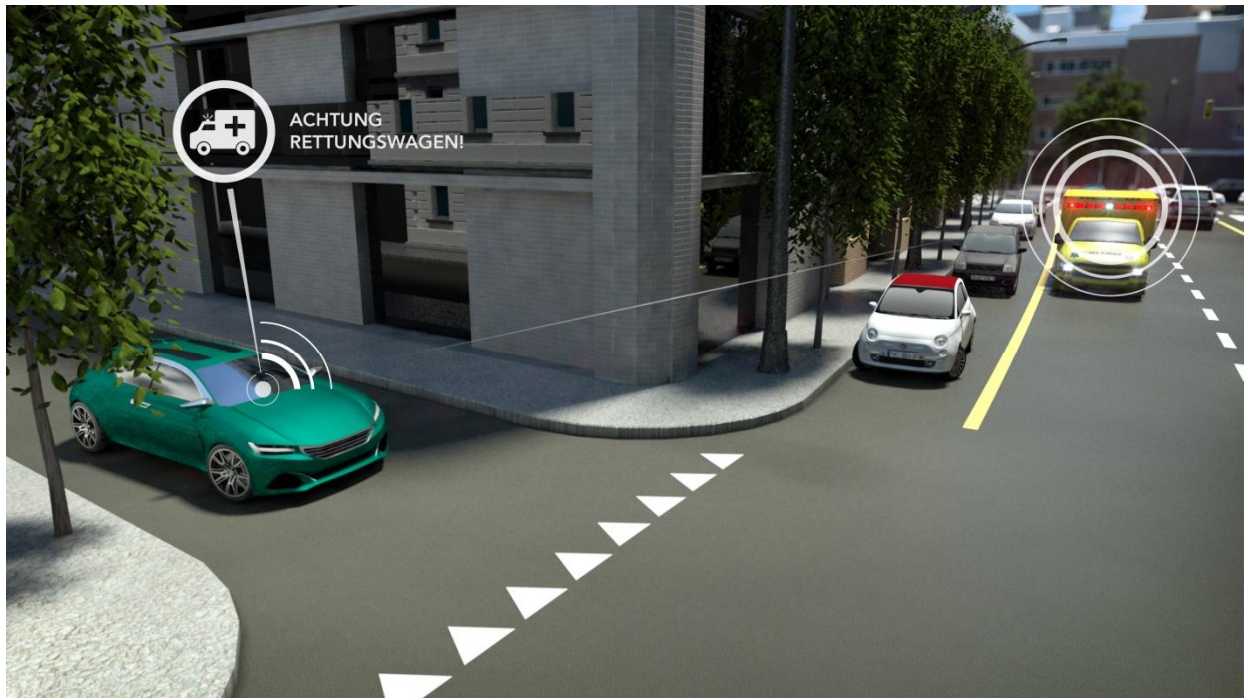


Ready to go: 802.11p als Kommunikationsstandard im Vergleich zu LTE und 5G



Ein Whitepaper von NXP Semiconductors, Cohda Wireless und Siemens

von Alessio Filippi, Kees Moerman, Gerardo Daalderop, Paul D. Alexander, Franz Schober und Werner Pfliegl

Abstract

Vehicle-to-x Kommunikation (V2x) ermöglicht den Informationsaustausch zwischen Fahrzeugen und mit der Verkehrsinfrastruktur – erwiesenermaßen lassen sich damit die Verkehrssicherheit und die Effizienz der Verkehrssysteme verbessern. Die auf IEEE 802.11p basierende, sogenannte Dedicated Short Range Communication (DSRC) war Gegenstand umfassender Standardisierung und Produktentwicklung und hat in V2x-Feldversuchen unter Beteiligung aller relevanten Interessensgruppen ihre Vorteile unter Beweis gestellt. Im Gegensatz zu den diversen Mobilfunktechnologien ist die DSRC bereits heute für den Einsatz in V2x-Kommunikationssystemen, auch in den anspruchsvollsten V2x- Use Cases, geeignet.

Cellular and IEEE 802.11p for C-ITS

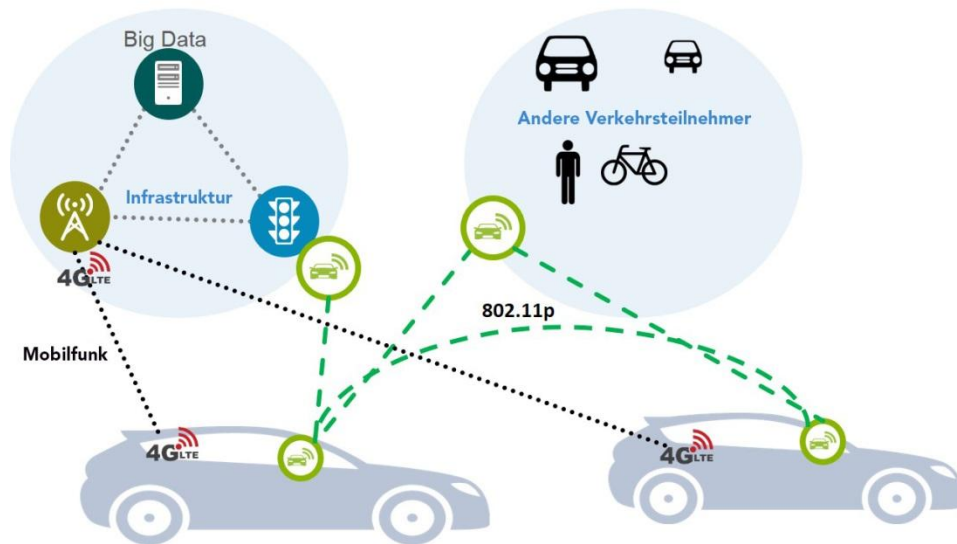


Abb. 1 Vergleich des Standards IEEE 802.11p mit Mobilfunkstandards: Der große Unterschied liegt in dem direkten Kommunikationsaufbau zwischen 802.11p-fähigen Fahrzeugen, weiteren Verkehrsteilnehmern und Infrastrukturelementen oder sonstigen Geräten. Mobilfunkbasierte Dienste setzen das Vorhandensein eines Netzwerks voraus.

1. Einführung

Das Konzept des Informationsaustauschs zwischen Fahrzeugen, um den Verkehr und Transport sicherer, umweltfreundlicher und angenehmer zu machen, ist überzeugend. Die mit diesem Konzept verbundenen Technologien nennt man in ihrer Gesamtheit „Cooperative Intelligent Transportation Systems“ (C-ITS). Sie versprechen, Verkehrsstaus zu reduzieren, die schädlichen Folgen des Transports für die Umwelt zu verringern und die Zahl der tödlichen Verkehrsunfälle deutlich zu reduzieren. Schon aufgrund ihrer positiven Auswirkungen auf die Sicherheit sind die C-ITS eine Überlegung wert: Nach Angaben der Weltgesundheitsorganisation (WHO) sind allein 2015 rund 1,25 Millionen Menschen an der Folge eines Verkehrsunfalls ums Leben gekommen; die staatlichen Folgekosten beliefen sich auf ca. 3 % des BIP [1].

Eine Schlüsseltechnologie der C-ITS ist drahtlose Kommunikation, zu der die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation (V2V), die Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Kommunikation (V2I) und die Infrastruktur-zu-Fahrzeug-Kommunikation (I2V) gehören (Abb. 2). Kollektiv bezeichnet man diese drahtlosen Transaktionen als V2x-Kommunikation.

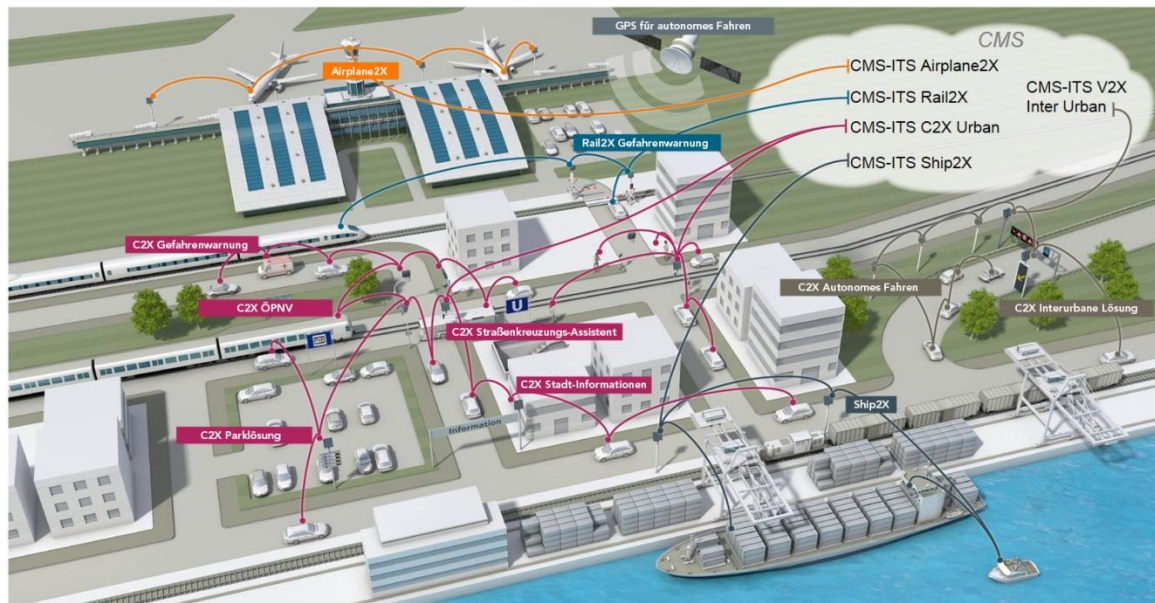


Abb. 2 Illustration der Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur. Diese Fahrzeuge können Autos, Flugzeuge, Züge oder Schiffe sein. Das Zentrale Verkehrsmanagementsystem (Central traffic Management System, CMS) verwaltet die unterschiedlichen Aspekte der Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS).

Die V2x-Kommunikation muss sowohl die vielen sicherheitsrelevanten als auch die nicht-sicherheitsrelevanten Anwendungsfälle von ITS-Systemen unterstützen. Die Tabellen I und II (siehe Anhang) enthalten eine Liste der primären Anwendungsfälle. Tabelle I führt die sicherheitsrelevanten Anwendungsfälle auf, wie beispielsweise die Möglichkeit, die Meldung „Elektronische Notfall-Bremsleuchten“ zu übertragen und zu empfangen – eine Meldung, die von einem Fahrzeug im Sendemodus jede Zehntelsekunde bzw. Jede 50ms übertragen wird, um ein Notfall-Bremsmanöver zu signalisieren. Tabelle II gibt nicht-sicherheitsrelevante Anwendungsfälle an, wie beispielsweise die Meldung „Vorschlag für optimale Geschwindigkeit für Ampelphasen“, die den Verkehrsfluss verbessern soll und mittels periodischer Übertragungen die jeweils beste Geschwindigkeit empfiehlt.

Um sicherheitsrelevante und nicht-sicherheitsrelevante Meldungen zu unterstützen, müssen die in der V2x-Kommunikation verwendeten Drahtlos-Technologien mehrere Dinge gleichzeitig tun. Sie müssen in einem sehr dynamischen Umfeld mit hohen Relativgeschwindigkeiten zwischen Sendern und Empfängern operieren, und sie müssen extrem niedrige Latenzzeiten in den sicherheitsrelevanten Applikationen unterstützen (50 ms für die Meldung „Warnung: bevorstehender Zusammenstoß“, siehe Tabelle I). Und sie müssen die Belastung durch die periodische Übertragung mehrerer Meldungen von mehreren Akteuren verarbeiten können sowie die hohe Fahrzeugdichte, die für Szenarien mit hohem Verkehrsaufkommen typisch ist. Eine weitere Überlegung ist, dass V2x-Meldungen naturgemäß lokal sind, d. h. sie sind vor allem für Empfänger wichtig, die sich in der Nähe befinden. Zum Beispiel ist die

Meldung „Warnung: bevorstehender Zusammenstoß“ für die Fahrzeuge in der unmittelbaren Umgebung des Zusammenstoßes extrem relevant, für weiter entfernte Fahrzeuge dagegen nicht.

2. Hier und heute: 802.11p

De facto ist der aktuelle Standard für die V2x-Kommunikation die Drahtlos-Technologie Dedicated Short Range Communication (DSRC); diese basiert auf dem IEEE 802.11p-Standard, dem Protokoll 1609 Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) in den USA und den europäischen TC-ITS-Standards des Europäischen Instituts für Telekommunikationsnormen (ETSI). Bestätigt wird dies durch die Veröffentlichung des Berichts des US-Verkehrsministeriums an den Kongress [2], der die Vorteile von IEEE 802.11p für die V2x-Kommunikation eindrucksvoll darlegt.

IEEE 802.11p wurde von Beginn an so konzipiert, dass es alle Anforderungen an V2x-Anwendungen, selbst mit den strengsten Leistungsspezifikationen, gerecht werden sollte. Im Jahr 1999 reservierte die US-Bundeszulassungsbehörde für Kommunikationsgeräte (FCC) 75 MHz Bandbreite im 5,9-GHz-Bereich für die V2x-Kommunikation und den IEEE-802.11p-Standard, der in diesem Bereich operiert. Der Standard wurde im Jahr 2009 genehmigt, und seitdem hat es eine Reihe von Feldversuchen gegeben. Mehrere Halbleiterunternehmen, u. a. Autotalks, NXP Semiconductors und Renesas, haben 802.11p-konforme Produkte entwickelt und getestet.

Inzwischen ist IEEE 802.11p bereit für den Einsatz und wird immer beliebter. Es hat vier von der ETSI organisierte ITS-„Plug-Tests“ gegeben; der jüngste fand im März 2015 im niederländischen Helmond statt [3], der erste im November 2011. Daneben gab es umfangreiche Feldversuche, mit Projekten wie Safety Pilot in den USA [4], Drive C2X in Europa [5], Score@F [6] in Frankreich und simTD in Deutschland [7], im ITS-Korridor [6], bei dem niederländische, deutsche und österreichische Infrastruktur-Organisationen die Reife von 802.11p für V2I- und die C-ITS-Zentralen Systemtechnologien beurteilten. Diese Feldversuche spiegeln die erheblichen Anstrengungen, auch finanzieller Art, wider, die im Laufe der vergangenen 10 Jahre getätigt wurden, um die 802.11p-Technologie zu validieren. Für jede andere Technik, die für die gleichen Anwendungsfälle infrage käme, müsste man all dies noch einmal tun.

Auf Basis der gesammelten Erkenntnisse sind die Vereinigten Staaten zur Überzeugung gelangt, dass die IEEE 802.11p-Technologie die Anzahl der Kollisionen auf der Straße signifikant reduzieren kann. Es wird erwartet, dass die USA die Verwendung von 802.11p zukünftig in Neuwagen für sicherheitsrelevante Anwendungsfälle per Mandat anordnen [2], das Mandat wird im zweiten Quartal 2016 erwartet. Das US-Verkehrsministerium hat diese Absicht 2015 mittels einer Vorankündigung signalisiert [8]. Ein amerikanischer Autohersteller hat bereits im Vorfeld des Mandats beschlossen, 802.11p in Serienfahrzeugen zu verwenden [10].

Es wird erwartet, dass die Verwendung von 802.11p im Jahr 2016, nach dem US-Mandat, deutlich zunimmt. Neben der wachsenden Beliebtheit von 802.11p hat die Technologie ihre Vorteile mit Blick auf Sicherheitsanforderungen unter Beweis gestellt. Hinzu kommt die Erkenntnis, dass alternative Lösungen, einschließlich Mobilfunk-Lösungen, noch weit von der Markteinführung – oder gar einer Spezifikation – entfernt sind.

3. Mobilfunk für V2V ist noch in weiter Ferne

C-ITS-Systeme sind in der Regel durch ihre Applikationsanforderungen definiert und nicht auf eine bestimmte Technologie festgelegt. Es gibt derzeit mehrere Technologien neben 802.11p, die darauf ausgerichtet sind, die Anforderungen von V2x-Anwendungsfällen zu unterstützen. Dazu gehören auch Mobilfunk-basierte Technologien, wie 3G, LTE und LTE-A [11–13].

Die tagtäglich von Milliarden Menschen auf der ganzen Welt verwendete Mobilfunktechnologie (Abb. 3) ist der bei Weitem erfolgreichste Drahtlos-Standard unserer Zeit. Die technischen Spezifikationen für den Mobilfunk werden vom 3rd Generation Partnership Project (3GPP) definiert. Was wir heute als Breitband-Mobilfunktechnologie ansehen und als 4G oder LTE bezeichnen, reicht bis 2009 (Release 8 des 3GPP-Standards) zurück. Gerade weil die Mobilfunk-Infrastruktur so weit verbreitet ist, braucht es einige Zeit, bis sie aktualisiert wird. Alles in allem hat es an die sechs Jahre gedauert, bis Release 8 großflächig zum Einsatz gekommen ist.

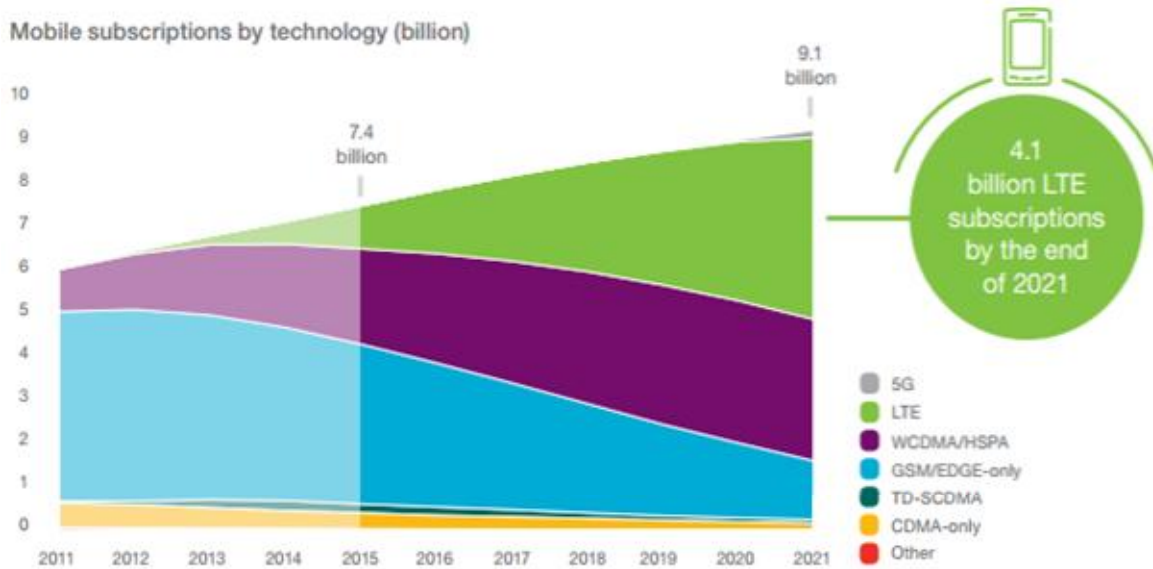


Abb. 3 Mobilfunkverträge weltweit.
Quelle: Ericsson Mobility Report, November 2015

In Anbetracht des weltweiten Erfolg und der globalen Verfügbarkeit der Mobilfunktechnologie erscheint die Möglichkeit, die Mobilfunk-Infrastruktur und Mobilfunk-Endgeräte für die V2x-Kommunikation zu

nutzen, äußerst verlockend. Dennoch sind die aktuellen Versionen der Mobilfunktechnik lediglich für elementare V2x-Anwendungsfälle geeignet und unterstützen weder Anwendungsfälle mit niedriger Latenzzeit noch solche mit hoher Mobilität. Dies sind jedoch genau die Elemente, die man am ehesten mit sicherheitsrelevanten Anwendungsfällen in Verbindung bringt.

Mit Hinweis darauf, dass in der Mobilfunktechnologie weitere Entwicklungen nötig sind, damit sie die V2x-Kommunikation unterstützen kann, und dass die C-ITS relevante Vorteile bringt, hat das 3GPP eine V2x-Studiengruppe eingerichtet, um die C-ITS-Technologie zu fördern. Sobald die 3GPP die neuen Fähigkeiten, die benötigt werden, um alle V2x-Anwendungsfälle zu unterstützen, beurteilt und sich auf diese geeinigt hat, wird eine gewisse Entwicklungszeit folgen, die erhebliche Investitionen erfordert, um diese Fähigkeiten zu implementieren. Sobald dann neue 3GPP-Standards zum Einsatz zur Verfügung stehen, wird es noch einmal eine Zeit dauern, da die Infrastruktur aufgerüstet werden muss, um die neuen Funktionen zu unterstützen. Realistisch betrachtet wird es noch viele Jahre dauern, bis die Mobilfunktechnologie vollständig in der Lage sein wird, alle Anforderungen der V2x-Kommunikation zu erfüllen (Abb. 5).

3.1. Mobilfunk für nicht-sicherheitsrelevante Anwendungsfälle: V2I/I2V

Die heutige Mobilfunktechnologie eignet sich gut für nicht-sicherheitsrelevante Anwendungsfälle wie diejenigen, die in Tabelle II (Anhang) aufgelistet sind. Im Großen und Ganzen sind dies Anwendungsfälle, die die Infrastruktur in der V2I- und I2V-Kommunikation einbeziehen, wo Inhalte generiert oder in der Cloud verarbeitet werden.

Da LTE Release 8 die geforderte Leistung und Bandbreite bietet, deckt sie zwar die meisten dieser Anwendungsfälle mit keiner bis wenig Modifikation ab, doch es ist unklar, wie sich LTE-Netze in Szenarien mit besonderer Überlastung und unter bestimmten Roaming-Bedingungen verhalten. Beispielsweise sind Verkehrsmanagement-Meldungen in stark überlasteten städtischen Szenarien besonders relevant. Als Option für den Umgang mit einer hohen Verkehrsdichte könnte man eine Punkt-zu-Mehrpunkt-Schnittstelle wie eMBMS in Betracht ziehen, wie im kommenden LTE-A Release 9 definiert. Allerdings ist eMBMS für statische Szenarien entworfen (z. B. die Zuschauer eines Fußballspiel im Stadion). D. h. die Schnittstelle kann zwar die Kommunikation einer größeren Ansammlung von Menschen effektiv verwalten, aber nur solange sie möglichst an Ort und Stelle bleiben – die notwendige Effizienz für eine hohe Zahl ein- und ausgehender Fahrzeugen bietet sie nicht.

Genauso unklar ist, wie das Handover zwischen Mobilfunk-Netzbetreiber (MNO) und die Kooperation zwischen den Anwendungsdienstleistern verwaltet werden oder wie sich der Datenverkehr anderer Anwendungen auf I2V-Anwendungen auswirkt. Die Frage ist auch, ob I2V-Anwendungen ein so überzeugendes Geschäftsszenario darstellen, dass die Investitionen gerechtfertigt sind, die erforderlich wären, um eMBMS für einen solchen Zweck einzusetzen. Es sind bislang nur sehr wenige

Multicast/Broadcast-Lösungen implementiert, aufgrund der hohen Kosten für Investitionen in die Infrastruktur und Upgrades von Endgeräten.

Was man außerdem beachten sollte, ist die Verwendung von Mobilfunkmodems in Gebieten mit unterschiedlichen Sicherheitsanforderungen. LTE-Modems müssen die erforderlichen Sicherheitszertifizierungen unterstützen, die die Möglichkeit steuern, die aktive Kontrolle über das Fahrzeug zu übernehmen. Falls z. B. eine Geschwindigkeitsbegrenzung von der Infrastruktur per Fahrerassistenzsystem (Advanced Driving Assistance Systems, ADAS) an ein Fahrzeug übermittelt und dazu verwendet wird, die automatische Geschwindigkeitsregelung des Fahrzeugs einzustellen, so muss das Modem alle Anforderungen des jeweils relevanten Automotive Safety Integrity Level (ASIL) erfüllen, und das macht die Modem-Hardware ziemlich kostspielig.

In Anbetracht der Tatsache, dass es aktuell weltweit etwa 8 Milliarden Mobilfunkverträge gibt, der Automarkt aber pro Jahr nur rund 100 Millionen Neuwagen weltweit zählt, kann es durchaus sein, dass die Modemhersteller keinen großen Bedarf dafür sehen, automobilspezifische Anforderungen zu unterstützen. Die Autobranche ist, was die Mobilfunk-Konnektivität betrifft, nicht gerade für ihre rasanten Weiterentwicklungen bekannt. Das liegt zum Teil aber auch daran, dass Fahrzeuge für die Mobilfunkbranche traditionell keine allzu hohe Priorität genießen.

3.2. Mobilfunk für sicherheitsrelevante Anwendungsfälle: V2V

Die technischen Herausforderungen für die Mobilfunktechnologie im Falle von nicht-sicherheitsrelevanten Anwendungsfällen mit I2V- und V2I-Kommunikation sind relativ gering, wenn man sie mit denjenigen für die sicherheitsrelevanten Anwendungsfälle und die V2V-Kommunikation vergleicht.

Falls verfügbar, könnte das Mobilfunknetz für die V2V-Kommunikation genutzt werden. Ein Auto generiert eine Meldung, das Netzwerk erhält sie und sendet sie dann zurück an alle anderen Autos. Selbst wenn man voraussetzen würde, dass es entlang aller Straßen eine vollständige Mobilfunk-Abdeckung gibt (was nicht der Fall ist), so muss der Service einen enormen Datendurchsatz mit äußerst geringer Latenz ermöglichen. In Wirklichkeit können die heutigen Mobilfunknetze dieses Leistungsniveau gar nicht bieten.

Einige V2V-Anwendungsfälle erfordern einen kontinuierlichen Informationsaustausch (0,05–20 Hz) zwischen Fahrzeugen, und dieser erzeugt zu viele Daten, als dass Unicast-LTE-Netze damit umgehen könnten (siehe Tabelle III im Anhang). Laut ITS Joint Program Office des US-Verkehrsministeriums erzeugt ein einziges Auto, das mit V2V nach EU-Standard eine Cooperative Awareness Message (CAM) oder nach US-Standard eine Basic Safety Message (BSM) aussendet, etwa 0,5 GB pro Monat, bei einem

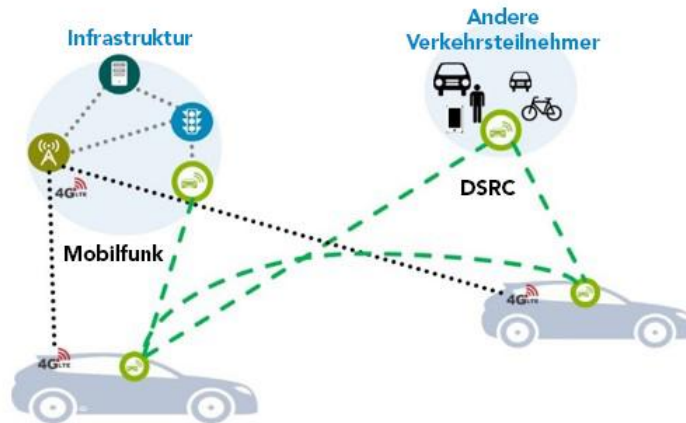
Spitzenwert von 2,5 KB/Sekunde. Das setzt 256 Bytes pro Meldung voraus, mit fünf Meldungen pro Sekunde und vier Stunden Fahrzeit pro Tag. Setzt man in einem bestimmten Gebiet 30 Autos (oder einen Spitzenwert von 300) voraus, muss die Infrastruktur auf der Empfängerseite rund 16 GB pro Monat verarbeiten (oder einen Spitzenwert von 750 KB pro Sekunde) [4].

Mobilfunknetze verschlingen traditionell einiges an Bandbreite, und ihre Anforderungen an Bandbreite werden bei jedem neuen 3GPP-Release höher. Weitere Daten bedeuten auch mehr Geschäft, da Mobilfunk-Netzbetreiber typischerweise nach verwendeten Ressourcen abrechnen (\$/Bit/s/Hz). Der V2V-Traffic muss, zumindest theoretisch, gratis unterstützt werden, und das bedeutet, dass MNOs alternative Geschäftsmodelle entwickeln müssen, um Investitionen in zusätzlichen V2x-Traffic zu rechtfertigen. Die Verwendung von eMBMS-Protokollen, wie sie bereits Teil von Release 8 sind, könnte das Problem ein wenig abmildern, aber wie oben erwähnt, sind sie nicht besonders weit verbreitet.

Es gibt einige V2V-Anwendungsfälle, die keine besonders hohe Bandbreite benötigen, u. a. das ereignisbasierte Aussenden von Decentralized Environmental Notification Messages (DENM). Das Mobilfunknetz könnte solche Anwendungsfälle zwar unterstützen, doch die Tatsache, dass diese Meldungen eine sehr geringe Latenzzeiten erfordern, stellt ein Problem dar: Mobilfunksysteme sind in der Lage, mit niedriger Latenzzeit zu arbeiten, aber nicht unter allen Bedingungen, z. B. wenn sie über mehrere MNOs, über Landesgrenzen oder sogar nur über einzelne Mobilfunkzellen hinweg operieren, falls die Ressourcen nicht vorab V2x-Diensten zugewiesen worden sind. Dies gilt insbesondere für den kritischsten Anwendungsfall, die Meldung „Warnung: bevorstehender Zusammenstoß“, die eine Latenzzeit von nicht mehr als 50 ms erfordert.

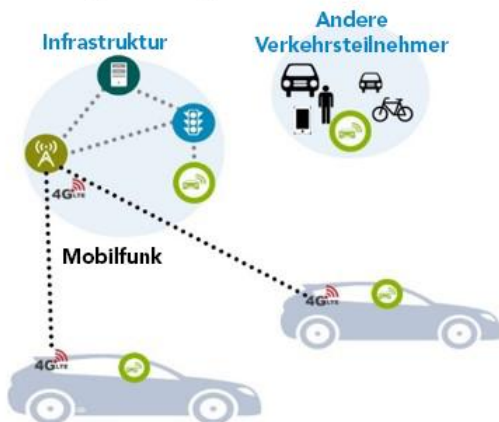
Eine andere Möglichkeit, V2V-Anwendungsfälle mit Mobilfunktechnik zu unterstützen, ist es, eine direkte Kommunikationstechnologie als Teil des Mobilfunksystems zu entwickeln. Dies ist sogar einer der Schwerpunkt der V2x-Studiengruppe des 3GPP. Der dort anvisierte Ansatz ist es, auf dem Kommunikationsprotokoll Device-to-Device (D2D) aufzubauen, das als Teil von Release 12 identifiziert wird, aber nicht für V2V-Anwendungsfälle geeignet ist. Das D2D-Protokoll muss sich darauf verlassen können, dass das Mobilfunknetz dem Benutzer die erforderlichen Ressourcen zugeordnet hat. Wenn beispielsweise zwei nahegelegene Benutzer eine Datei miteinander teilen möchten, lässt das Netzwerk die Endgeräte wissen, welche Zeit-Frequenz-Ressourcen für die direkte Kommunikation (Abb. 4) verwendet werden können. Das Netzwerk initialisiert die Kommunikation und handhabt die durch die lokale D2D-Übertragung erzeugten Interferenzen. Dieser Ansatz funktioniert nicht bei V2V-Anwendungsfällen, die auch erfüllt werden müssen, wenn kein Netz verfügbar ist.

Mobilfunk und DSRC für C-ITS



V2V über LTE direct, aka D2D

- Fahrzeug fordert direkte Kommunikation beim Netzwerk an
- Netzwerk kalkuliert optimale D2D-Ressource
- Netzwerk teilt dem Fahrzeug die Ressource zu
- Fahrzeug nutzt die zugeteilte Ressource für die Kommunikation



DSRC für V2V

- Fahrzeuge tauschen Nachricht aus



Abb. 4 So könnte die Device-to-Device-Kommunikation per Mobilfunk bei der V2V-Kommunikation funktionieren, verglichen mit IEEE 802.11p. Beim Mobilfunk behält das Netzwerk die volle Kontrolle über die direkte Kommunikation, um eine ordnungsgemäße Steuerung der Netzwerkkinterferenzen zu gewährleisten. Bei IEEE 802.11p sorgt die Übertragung der Meldung über das Random Access Protocol für eine schnelle Ausführung der Übertragung auf Kosten einer weniger effizienten Nutzung der drahtlosen Ressourcen.

D2D funktioniert auch ganz ohne Netz, aber dies ist nur in Notfällen erlaubt und wird lediglich durch ein sehr langsames Protokoll zur Geräteerkennung unterstützt. Um das D2D-Profil fit für die V2V-Kommunikation zu machen, hat die V2x-Studiengruppe des 3GPP eine Reihe fundamentaler Herausforderungen identifiziert, die nicht nur Änderungen an der Signalstruktur erfordern (z. B. zusätzliche Pilotprojekte zur Unterstützung einer besseren Kanalschätzung), sondern sogar eine erneute Diskussion über die am besten geeignete Modulation (z. B. SC-FDM oder OFDM) [15,16]. Was kurios scheint (allerdings nicht wirklich überrascht): Die technologischen Optionen der V2x-Studiengruppe des 3GPP ähneln denen des 802.11p-Standards. Diese wichtigen Veränderungen werden zu neuen Hardware-Lösungen führen, deren Entwicklung wiederum eine Menge Zeit und Geld benötigt.

Um die größten Vorteile der kooperativen gemeinsamen Nutzung von Daten zu erreichen, setzen alle V2x-Dienste auf Mobilfunkbasis die aktive Zusammenarbeit mehrerer Anwendungsdienstleister (ASPs) voraus. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht werden die ASPs neue Modelle zur Zusammenarbeit

definieren müssen, und diese Modelle werden nur sehr langsam entwickelt werden. V2x-Dienste auf 802.11p-Basis benötigen diese Art der Zusammenarbeit nicht, denn die Meldungen sind hier bereits standardisiert und werden als Klartext gesendet.

3.3. Wann ist der Mobilfunk bereit für V2x?

Wir können davon ausgehen, dass die Mobilfunk-Community eine technische Lösung für die V2x-Kommunikation finden wird – immerhin hat das 3GPP, was technologische Entwicklungen betrifft, eine beachtliche Erfolgsbilanz aufzuweisen. Die Frage ist nicht so sehr: ob, sondern vielmehr: wann. Denn bis dahin gibt es noch eine Menge zu tun.

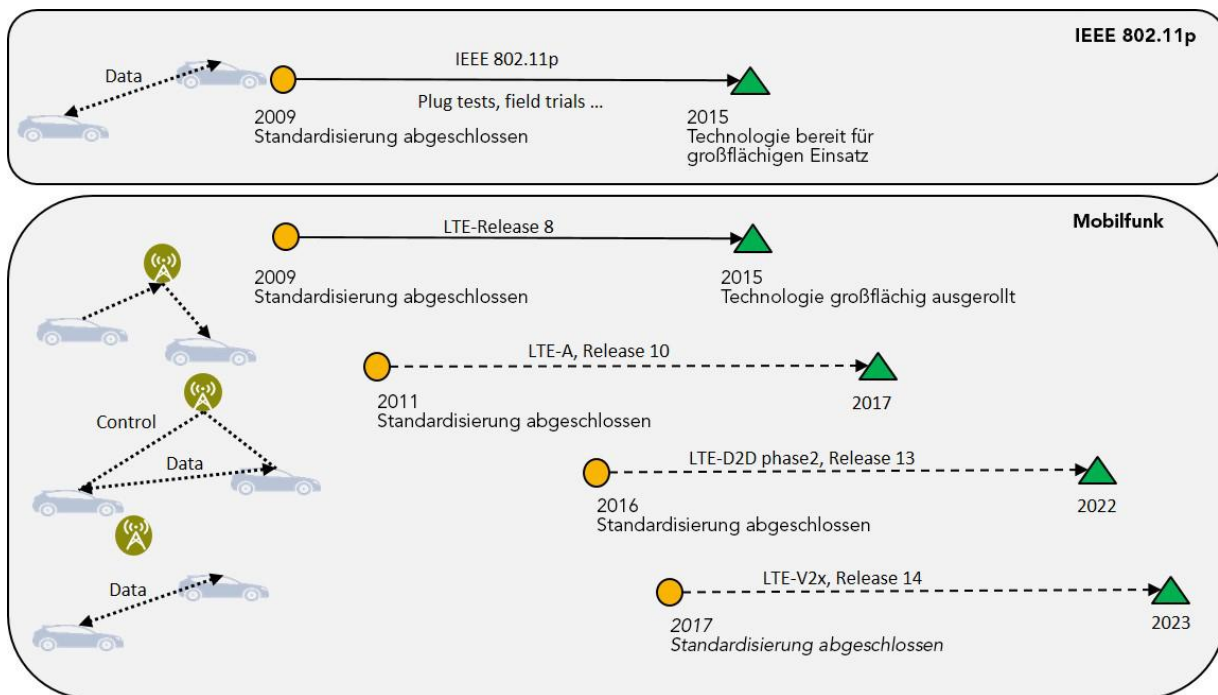


Abb. 5 Zeitachse zur Unterstützung der V2V-Anwendungsfälle: IEEE 802.11p vs. Mobilfunk. Aktuelle und zukünftige LTE-Versionen unterstützen V2V auf immer effizientere Weise. Allerdings ist lediglich LTE-V2x so konzipiert, dass es mit V2V-Anwendungsfällen ordnungsgemäß umgehen kann – für den großflächigen Einsatz wird es schätzungsweise um das Jahr 2023 bereit sein.

Erwartungsgemäß wird der 3GPP-Standard frühestens mit den Releases 14 und 15 (die bis Ende 2017 finalisiert werden) V2x-Anwendungsfälle unterstützen. Und dann wird es noch eine Zeit dauern – vielleicht auch mehr als ein paar Jahre –, bis die Technologie vollständig zur Anwendung kommen kann. In der Vergangenheit haben groß angelegte Infrastruktur-Upgrades, wie oben erwähnt, bis zu sechs Jahre gebraucht, bis sie abgeschlossen waren. Nimmt man hier einen ähnlichen Zeitrahmen an, werden

V2x-Dienste für LTE-A erst etwa 2023 zur Verfügung stehen, und das ist wahrscheinlich noch optimistisch gerechnet (Abb. 5).

Ein realistischeres Szenario ist, dass die V2x-Kommunikation ab Release 16 bzw. 5G enthalten sein wird (Abb. 6). Im Moment ist 5G noch ein sehr weit gefasstes Konzept. Einer seiner faszinierendsten Aspekte ist, dass es sehr heterogen sein wird, mit einer Dach-Technologie, die mehrere unterschiedliche Kommunikationskanäle miteinander verbindet. Wahrscheinlich wird die V2x-Kommunikation Teil des 5G-Ökosystems mit einer grundlegend neu gestalteten Hardware, die Änderungen an der Architektur unterstützt.



Abb. 6 5G-Roadmap
 Quelle: 5G Infrastructure Public Private Partnership (5G-PPP) 2015

Bis die Mobilfunk-Community in der Lage sein wird, alle V2x-Anwendungsfälle zu unterstützen, werden wohl bereits andere Technologien, nicht zuletzt 802.11p, längst auf dem Markt sein. Dadurch wird der Mobilfunk zum neuen Konkurrenten in einem Bereich, in dem sich andere Akteure bereits etabliert haben.

Man könnte durchaus dafür plädieren, auf Mobilfunk-basierte Technologien zu warten, da man so die bereits bestehenden Kommunikationskanäle der Autos nutzen könnte. Doch wie bereits erwähnt sind die Hardware-Anforderungen für die V2x-Kommunikation wahrscheinlich ohnehin ganz andere, so dass separate Lösungen erforderlich sein werden. Vielleicht werden V2x-Anwendungsfälle auch Teil des 3GPP-Systems werden, aber wahrscheinlich nicht Teil der für das Massengeschäft entwickelten Mobiltelefon-Technik.

3.4. Sicherheits- und Datenschutz-Überlegungen für die Mobiltechnologie

Ein weiterer Aspekt, den es zu berücksichtigen gilt, ist die Sicherheit. Die gängigen Mobilfunk-Systeme verwenden zur Netzwerkauthentifizierung eine SIM-Karte im Telefon. Das Netzwerk erkennt die SIM-Karte, und auf Basis dieser Erkennung stellt es eine sichere Verbindung her. Das SIM (Subscriber Identity Module) kann auch bei der netzgestützten V2x-Kommunikation funktionieren, aber für die Momente, in denen es kein Netzwerk gibt, muss eine andere Art von Sicherheitsmechanismus her. 802.11p definiert, welcher Art dieser Sicherheitsmechanismus sein muss; das 3GPP könnte einen ähnlichen Ansatz verfolgen, hat sich aber formell noch nicht weiter mit dieser Frage beschäftigt.

In den Vereinigten Staaten hat die National Highway Traffic Safety Administration (NHSTA) die Frage aufgeworfen, wie es dabei mit der Privatsphäre aussieht [17]. Bei einer netzwerkbasierter Lösung werden die Benutzerdaten über das Netzwerk in die Cloud geleitet. Die Betreiber müssen die entsprechenden Mechanismen schaffen, um Benutzerdaten in der Cloud zu schützen – und was vielleicht noch wichtiger ist: Die Nutzer müssen diese Mechanismen akzeptieren, und sie müssen ihnen vertrauen können. Der Datenschutz ist ein wachsendes Problem für jeden Einzelnen; schon von daher ist mit einigem Widerstand gegen Cloud-basierte Systeme zu rechnen. Bei einer IEEE-802.11p-basierten Lösung müssen Meldungen nicht in die Cloud gehen. So lassen sich Bedenken in puncto Datenschutz relativ einfach auszuräumen.

3.5. Was bedeutet das für die Mobilfunk-Infrastruktur?

Die Tatsache, dass auf der ganzen Welt bereits Mobilfunknetze installiert sind, wird oft als Grund dafür angeführt, für V2x-Lösungen die Mobilfunktechnologie zu verwenden. Das Hauptargument dabei ist, dass die Mobilfunk-Infrastruktur bereits vorhanden ist und somit keine neuen Investitionen getätigt werden müssen, wie es bei einer ganz neuen Infrastruktur für 802.11p der Fall wäre. Doch wie bereits erwähnt ist es leider nicht so einfach, wie es zunächst scheint, die vorhandene Mobilfunk-Infrastruktur für die V2x-Kommunikation zu nutzen: Die heutige Infrastruktur ist nicht dafür vorgesehen und auch gar nicht dazu ausgestattet, die vielen V2x-Anwendungsfälle zu unterstützen, die – vor allem in Situationen mit hohem Verkehrsaufkommen oder Staubildung – kurze Latenzzeiten erfordern.

Man muss festhalten, dass die 802.11p-basierte Technologie in einem großen Teil der bestehenden Straßeninfrastruktur in Form von RSUs (Kommunikationseinrichtung am Straßenrand) eingesetzt werden kann, u. a. bei Ampeln und Wechselverkehrsreihen. Anders als bei der Mobilfunk-Infrastruktur, für deren Erweiterung neue Basisstationen entstehen müssten, kann die 802.11p-Infrastruktur bereits bestehende Strukturen nutzen. Das bringt hinsichtlich des kurz- wie auch langfristigen Einsatzes erhebliche Kosteneinsparungen mit sich. RSUs an Straßenkreuzungen wären aus Sicht der Systemanforderungen ebenfalls sinnvoll. Ampelphasen- und dynamischen Verkehrs-Steuerungen sind mit der RSU verknüpft und ermöglichen die Verwendung zahlreicher Sicherheits-, Mobilitäts- und Verkehrseffizienz-Anwendungen. Gerade auf Straßenkreuzungen passieren die meisten Zwischenfälle.

Ein weiterer Aspekt, den es bei 802.11p im Auge zu behalten gilt, ist die Tatsache, dass das Spektrum für 802.11p-basierte V2x-Dienste bereits weltweit ratifiziert ist. Wie bereits erwähnt, enthält der 5,9-GHz-Bereich 75 MHz Bandbreite zur Verwendung 802.11p-basierter V2x-Dienste. Das ist einer der großen Vorteile von 802.11p. Länder, Bundesstaaten, Autohersteller und Infrastrukturanbieter müssen beweisen, dass sie die Normen einhalten, doch dann können sie ganz einfach im 5,9-GHz-Bereich operieren. Abonnements, Roaming-Vereinbarungen o. Ä. sind nicht nötig. Angesichts der wachsenden Verbraucheraktivitäten und der Erweiterung des IoT stehen die heutigen Mobilfunk-Anbieter bereits vor gewissen Herausforderungen, und mitunter haben sie Schwierigkeiten, den technischen und wirtschaftlichen Anforderungen der V2x-Kommunikation zu entsprechen.

4. Fazit

Auch wenn ein Teil der Fahrzeuge heute bereits über LTE Release 8 verfügt, wird es noch lange dauern, bevor die erforderlichen Mobilfunkstandards, nämlich LTE-A und 5G, alle sicherheitsrelevanten und nicht-sicherheitsrelevanten V2x-Anwendungsfälle komplett unterstützen – vielleicht acht Jahre oder mehr. Im Gegensatz dazu stehen bewährte, auf Compliance getestete Lösungen auf 802.11p-Basis schon jetzt zur Verfügung und können weltweit und jederzeit in großem Maßstab eingesetzt werden. Also kann man mit 802.11p die Vorteile der V2x-Anwendungsfälle schon viel früher genießen.

Wir als Experten bei NXP, Cohda Wireless und Siemens glauben, dass 802.11p für die Bereitstellung von V2x-Anwendungen die bessere Wahl darstellt und es schon heute einsatzbereit ist. Aber wir wissen auch, dass eine noch umfassendere Kompatibilität nötig ist. Wir arbeiten daran, 802.11p und LTE-A/5G kompatibler zu machen, und erwägen sogar die Möglichkeit, beides miteinander zu fusionieren, um so ein heterogenes Fahrzeug-Netzwerkssystem zu schaffen, das aus beiden Technologien das Beste nutzt – die Fähigkeit von 802.11p, sicherheitsbezogene Anwendungsfälle zu unterstützen, und die Fähigkeit von LTE-A/5G, nicht-sicherheitsrelevante Anwendungsfälle zu unterstützen.

Endnoten

- [1] *Global status report on road safety 2015*, World Health Organization (www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/en/)
- [2] *Status of the Dedicated Short-Range Communications Technology and Applications*, Bericht für den US-Kongress www.its.dot.gov/index.htm, Abschlussbericht Juli 2015, FHWA-JPO-15-218
- [3] ITS Cooperative Mobility Services Event 4, ETSI (www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/testing/22-services/news-events/events/846-plugtests-2015-itscms4)
- [4] http://www.its.dot.gov/safety_pilot/
- [5] <http://www.simtd.de/index.dhtml/enEN/index.html>
- [6] <http://www.drive-c2x.eu/project>
- [7] <https://project.inria.fr/scoref/en/>
- [8] <https://itscorridor.mett.nl/English/Project+details/default.aspx>
- [9] Intelligent Transportation Systems Joint Program Office, US Dept of Transportation (www.its.dot.gov)
- [10] J. Yoshida, „NXP Beats Qualcomm, Gets First V2V Design Win“, EETimes, September 2014 (www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1324052)
- [11] A. Vinel, „3GPP LTE Versus IEEE 802.11p/WAVE: Which Technology is Able to Support Cooperative Vehicular Safety Applications?“, in IEEE Wireless Communications Letters, Bd. 1, Nr. 2, April 2012
- [12] G. Araniti, C. Campolo, M. Condoluci, A. Iera, A. Molinaro, „LTE for Vehicular Networking: A Survey“, in IEEE Communications Magazine, Bd. 51, Nr. 5, S. 148–157, Mai 2013
- [13] Roger Lancot, „Why Cellular vs. DSRC for V2V: Why-Fi in a Car?“ StrategyAnalytics, November 2015 (www.strategyanalytics.com/access-services/automotive/infotainment-and-telematics/reports/report-detail/cellular-vs.-dsrc-for-v2v-why-fi-in-a-car#.Vot1qfkrLq4)
- [14] Anders Fagerholt, „Wireless Today“, ITS World Congress 2015
- [15] 3GPP R1-153956
- [16] 3GPP R1-153895
- [17] NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration), Vehicle-to-Vehicle Communications: Readiness of V2V Technology for Application; DOT HS 812 014, S. xviii

Siehe auch

Ericsson Mobility Report, November 2015 (www.ericsson.com/res/docs/2015/mobility-report/ericsson-mobility-report-nov-2015.pdf)

5G-Infrastruktur, öffentlich-private Partnerschaft: Broschüre 5G-Vision (<https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2015/02/5G-Vision-Brochure-v1.pdf>)

Anhang

Sicherheitsdienst	Anwendungsfall	Typ	Kommunikationsmodus	Minimale Frequenz	Maximale Latenz
Warnung: Fahrzeugzustand	Elektronische Notfall-Bremsleuchten	DEN/V2x	Zeitlich begrenztes, ereignisbasiertes periodisches Senden	10 Hz	100 ms
	Warnung: abnormer Zustand	DEN/V2x	Zeitlich begrenztes, ereignisbasiertes periodisches Senden	1 Hz	100 ms
Warnung: Fahrzeugtyp	Warnung: Einsatzfahrzeug	CAM/V2x	Periodisches Senden, abhängig vom Fahrzeugmodus	10 Hz	100 ms
	Warnung: langsames Fahrzeug	CAM/V2x	Periodisches Senden, abhängig vom Fahrzeugmodus	2 Hz	100 ms
	Warnung: Motorrad	CAM/V2x	Periodisches Senden	2 Hz	100 ms
	Warnung: ungeschützter Verkehrsteilnehmer	CAM/VRU2x	Periodisches Senden	1 Hz	100 ms
Warnung: Verkehrsgefährdung	Warnung: Geisterfahrer	DEN/V2x	Zeitlich begrenztes, ereignisbasiertes periodisches Senden	10 Hz	100 ms
	Warnung: stehendes Fahrzeug	DEN/x2x	Zeitlich begrenztes, ereignisbasiertes periodisches Senden	10 Hz	100 ms
	Warnung: Verkehrszustand	DEN/x2x	Zeitlich begrenztes, ereignisbasiertes periodisches Senden	1 Hz	100 ms
	Warnung: Verletzung von Warnsignalen	DEN/I2x	Zeitlich begrenztes, ereignisbasiertes periodisches Senden	10 Hz	100 ms
	Warnung: Baustelle	DEN/I2x	Zeitlich begrenztes, ereignisbasiertes periodisches Senden	2 Hz	100 ms
Warnung: dynamisches Fahrzeug	Warnung: überholendes Fahrzeug	DEN/V2x	Zeitlich begrenztes, ereignisbasiertes periodisches Senden	10 Hz	100 ms
	Spurwechselassistent	DEN/V2x	Zeitlich begrenztes, ereignisbasiertes periodisches Senden	10 Hz	100 ms
	Warnung: bevorstehender Zusammenstoß	DEN/V2x	Zeitlich begrenztes, ereignisbasiertes periodisches Senden	10 Hz	50 ms
	Kooperative Blendungsbegrenzung	DEN/V2x	Zeitlich begrenztes, ereignisbasiertes periodisches Senden	2 Hz	100 ms

Tabelle I. Sicherheitsrelevante Anwendungsfälle. DEN steht für Decentralized Environmental Notification (dezentrale Umgebungsbenachrichtigung), CAM für Cooperative Awareness Message (kooperative Aufmerksamkeit schaffende Benachrichtigung).

Nicht-Sicherheits-Dienste	Anwendungsfall	Typ	Kommunikationsmodus	Minimale Frequenz	Maximale Latenz
Verkehrsmanagement	Geschwindigkeitsbegrenzungen	I2V	periodisches Senden	1 Hz	
	Vorschlag für optimale Geschwindigkeit für Ampelphasen	I2V	periodisches Senden	2 Hz	100 ms
	Straßenkreuzungs-Management	I2V	periodisches Senden	1 Hz	100 ms
	Kooperativer flexibler Fahrspurwechsel	I2V	periodisches Senden	1 Hz	500 ms
	Elektronische Mauterhebung	I2V	periodisches Senden	1 Hz	500 ms
Infotainment	POI-Benachrichtigung	I2V	periodisches Senden	1 Hz	500 ms
	Lokaler elektronischer Handel	I2V, V2I	Duplex, Internetzugang	1 Hz	500 ms
	Mediendownload	I2V	Duplex, Internetzugang	1 Hz	500 ms
	Karten-Download und -Update	I2V	Duplex, Internetzugang	1 Hz	500 ms

Tabelle II. Nicht-sicherheitsrelevante Anwendungsfälle

Akronyme

3GPP	3rd Generation Partnership Project
4G	4. Generation
5G	5. Generation
ADAS	Advanced Driving Assistance System (Erweitertes Fahrerassistenzsystem)
ASIL	Automotive Safety Integrity Level (Automobil-Sicherheitsintegritäts-Level)
ASP	Application Service Providers (Anwendungsdienstleister)
BSM	Basic Safety Message (Basis-Sicherheitshinweis)
CAM	Cooperative Awareness Messages (kooperative Aufmerksamkeit schaffende Benachrichtigungen)
C-ITS	Cooperative Intelligent Traffic System (kooperativ-intelligentes Verkehrssystem)
DEN	Decentralized Environmental Notifications (dezentrale Umgebungsbenachrichtigungen)
DSRC	Dedicated Short Range Communications (direkte Kommunikation mit kurzer Reichweite)
eMBMS	Enhanced Multimedia Broadcast Multicast Services (erweiterte Multimedia-Sende-/Multicast-Dienste)
ETSI	European Telecommunications Standards Institute (Europäisches Institut für Telekommunikationsnormen)
FCC	Federal Communications Commission (US-Bundeszulassungsbehörde für Kommunikationsgeräte)
BIP	Bruttoinlandsprodukt
LTE	Long Term Evolution
LTE-A	Long Term Evolution- Advanced (erweitertes LTE)
MNO	Mobile Network Operator (Mobilfunk-Netzbetreiber)
NHTSA	National Highway Traffic Safety Agency (US-Bundesbehörde für Straßen- und Fahrzeugsicherheit)
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing (orthogonales Frequenzmultiplexverfahren)
RSU	Road Side Unit (Kommunikationseinrichtung am Straßenrand)
SC-FDM	Single Carrier Frequency Division Multiplexing (Frequenzteilungs-Mehrfachzugriff für einzelnen Carrier)



SIM	Subscriber Identification Module (Teilnehmer-Identitätsmodul)
V2I	Vehicle to Infrastructure (Fahrzeug zu Infrastruktur)
V2V	Vehicle to Vehicle (Fahrzeug zu Fahrzeug)
V2x	Vehicle to infrastructure and Vehicle to vehicle (Fahrzeug zu Infrastruktur und Fahrzeug zu Fahrzeug)
WAVE	Wireless Access in Vehicular Environments (drahtloser Zugriff für die Fahrzeugumgebung)
WHO	World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation)