



© ASFINAG

INTELLIGENTE VERKEHRSSYSTEME EFFIZIENT TESTEN

V2X-basierte Baustellenwarnanhänger auf dem Prüfstand

Auf den Autobahnen und Schnellstraßen Österreichs werden Warnanhänger der neuesten Generation eingesetzt, die herannahende Fahrzeuge mittels Infrastruktur-zu-Fahrzeug-Kommunikation (V2X) vor Baustellen und Gefahrenstellen warnen. Damit dies reibungslos funktioniert wird das System einem Abnahmetest unterzogen. Dieser stellt sicher, dass herstellerübergreifende Standards eingehalten werden und die Warnmeldungen in bereits ausgerüsteten und zukünftigen Fahrzeuggenerationen genutzt werden können.

Die Digitalisierung der Straßeninfrastruktur schreitet unaufhörlich voran. Ein anschauliches Beispiel dafür ist die Absicherung von Arbeitsstellen: Warnanhänger der neuesten Generation sind nicht mehr nur fahrbare Schilder, sondern mobile Plattformen, die mit Vollgrafik-Anzeigetafel, diversen Verkehrssensoren und Infrastruktur-zu-Fahrzeug-Kommunikation (V2X) ausgestattet sind. Aufgrund der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten hat

sich beim österreichischen Straßenbetreiber ASFINAG der Begriff „Intelligentes Mobiles Informationssystem“ (IMIS) etabliert. Solche Systeme bilden einen wichtigen Baustein in kooperativen intelligenten Verkehrssystemen und tragen dazu bei, den Verkehr auf Europas Straßen effizienter, umweltschonender und gleichzeitig sicherer zu machen. Kooperative intelligente Verkehrssysteme (Cooperative Intelligent Transport Systems, kurz „C-ITS“ ge-

nannt) betreffen nicht nur Baustellen, sondern umfassen weitere Dienste. Dazu gehören in einer ersten Phase (C-ITS Day-1) die Gefahrenwarnungen und In-Vehicle-Information, die von festen und auch mobilen V2X-Sträßeneinheiten ausgesendet werden (Bild 1). „Kooperativ“ heißt dabei, dass Fahrzeuge und Infrastruktureinrichtungen Nachrichten untereinander auf direktem Weg austauschen, ohne dass sie von einer zentralen Instanz abhängen.

IEEE-802.11p

In Österreich sind V2X-basierte Baustellenwarnanhänger heute schon Realität und ein Beispiel für die Einführung von C-ITS auf Europas Straßen. Fahrzeuge, die mit einem IEEE-802.11p-Funkempfänger ausgestattet sind, wie etwa der Golf 8 und die Elektromodelle ID.3 und ID.4 von Volkswagen, werden in Echtzeit über vorausliegende Bau- und Gefahrenstellen informiert. Die digitale Baustellenwarnung über C-ITS wird sowohl die Sicherheit des Verkehrs als auch des Streckenpersonals erheblich erhöhen.

Obwohl Absperranhänger heute eine mehrere Meter hohe Tafel mit Blitzleuchten besitzen, um optisch auf Gefahrenstellen aufmerksam zu machen, kommt es trotzdem immer wieder zu Kollisionen, häufig verursacht durch Ablenkung oder fehlende Aufmerksamkeit der anderen Verkehrsteilnehmer. C-ITS kann hier rechtzeitig und zielgerichtet informieren, bevor ein Risiko der Kollision mit mobilen und stationären Arbeitsstellen entsteht.

Auch ein Abschalten des Tempomats oder automatisches Verlangsamens bei drohender Kollision werden dadurch ermöglicht. Intelligente Warnanhänger sind heute schon in allen Regionen Österreichs verfügbar und senden C-ITS-Nachrichten basierend auf dem C-ROADS Roadside System Profile (Bild 2).

C-ITS-Dienste und -Nachrichten

Die Einführung von C-ITS bzw. V2X-basierten Systemen im Infrastrukturbereich bringt hierbei ihre eigenen Herausforderungen mit sich. Die Entwicklung basiert auf abgestimmten und harmonisierten Profilen von C-ROADS und des Car-to-Car Communication Consortium. Diese Profile basieren auf offenen Standards und enthalten unter anderem genaue Anforderungen zur Nutzung bestimmter Datenelemente.

Die Nutzung dieser Profile stellt sicher, dass die Kommunikationssysteme, die darauf aufbauenden C-ITS-Dienste und die damit verbundenen C-ITS-Nachrichten interoperabel sind, damit sie hersteller-

übergreifend verstanden werden. Bei der Abnahme der Systeme werden dementsprechend die Anforderungen aus den Profilen geprüft. Damit ist gewährleistet, dass die Nachrichteninhalte von allen Fahrzeugen herstellerübergreifend empfangen und verarbeitet werden.

Diese Tests sind deshalb so wichtig, da die vom Fahrzeug empfangenen Nachrichten bereits bei kleinen Abweichungen vom Standard verworfen und Warnungen somit nicht angezeigt werden.

Abnahmetests – Worauf kommt es an?

Um die Funktionalität und die Interoperabilität der Baustellenwarnanhänger sicherzustellen, sind spezifische Abnahmetests im stationären und mobilen Betrieb notwendig. Einteilen lassen sich diese in vier Kategorien:

- Testen der Auslösebedingungen von V2X-Nachrichten
- Testen der Nachrichteninhalte von V2X-Nachrichten
- Testen der Sendereichweite
- Testen der Security-Funktionen

TECHNOLOGY ON FULL DISPLAY







Der FULL DISPLAY MIRROR® — der erste und umfassendste digitale Rückspiegel. Das intelligente System kombiniert eine Kamera mit einem im Rückspiegel integrierten Display und ermöglicht somit einen freien Rückblick aus dem Fahrzeug.

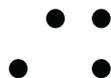
Besuchen Sie FullDisplayMirror.com für weitere Details.

Entwickelt, hergestellt und integriert von Gentex als Plattform für weitere Funktionen.

Erweiterte Funktionen

- + Integrierter Digitaler Videorecorder (DVR)
- + Trailer-Cam
- + Bild-in-Bild Darstellungen
- + Touchscreen-Schnittstelle
- + Rückfahrkamera-Anzeige
- + ADAS-Warnungen & Benachrichtigungen
- + Integration weiterer Kameras





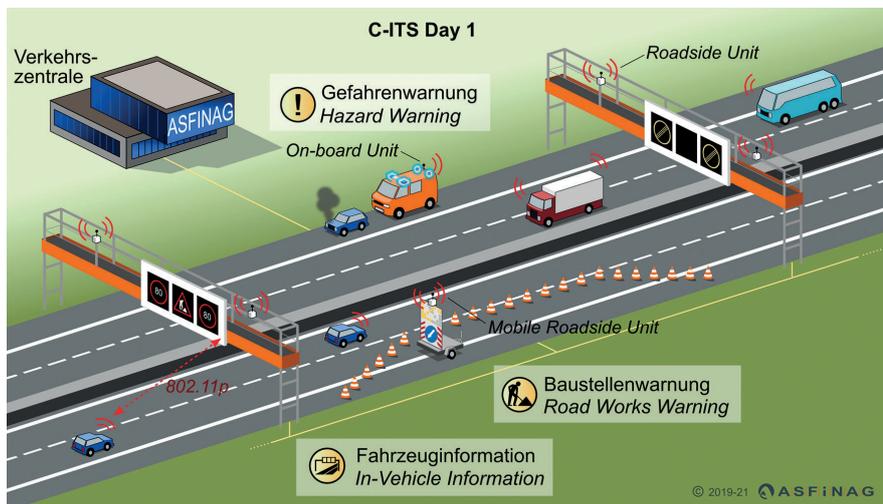


Bild 1: C-ITS-Day-1-Dienste. © ASFINAG

Stationäre Tests haben einen einfachen Testaufbau und dienen dazu, die Übereinstimmung der V2X-Nachrichten mit der Anzeigeeinformation auf dem LED-Matrix-Display bei stehendem Anhänger zu überprüfen. Dazu sind die gängigen Verkehrszeichen sowie Symbole und Grafiken zur Verkehrslenkung in der Bedieneinheit des Trailers hinterlegt. Beim Durchschalten der Symbole auf der Anzeige wird automatisch die zugehörige V2X-Nachricht ausgelöst und kann mittels Testwerkzeug geprüft werden.

Da Warnanhänger nicht nur für den stationären, sondern auch für den mobilen Einsatz, beispielsweise zur Absicherung von Mäharbeiten, konzipiert sind, muss dieses Szenario separat untersucht werden. Dies geschieht, indem der Trailer von einem Zugfahrzeug bewegt wird, während ein Testwerkzeug gleichzeitig die generierten V2X-Nachrichten überwacht.

Nicht zu vernachlässigen ist außerdem ein Test der Sendereichweite. Hier existieren Richt- und Vergleichswerte darüber, mit welchen Signalstärken bei korrekter Installation in einer gewissen Entfernung zu rechnen ist. Abweichungen von diesen Vorgaben lassen auf Fehler, wie beispielsweise eine schadhafte Antenne oder fehlerhafte Verkabelung, schließen. Zum Testumfang gehört ebenfalls das Verifizieren der Security-Funktionen. Zielsetzung hierbei: sicherstellen, dass die in der V2X-Nachricht vorhandene digitale Signatur auf Basis der zugehörigen Public-Key-Infrastruktur (PKI) erstellt wurde. (Tabelle 1)



Bild 2: Baustellenwarnung über V2X-Kommunikation. © ASFINAG

Wie wird konkret getestet?

Um den Anforderungen von V2X-Applikationstests gerecht zu werden, muss ein Testwerkzeug den geeigneten Funktionsumfang mitbringen. Dazu gehört die Unterstützung der entsprechenden Kommunikationsprotokolle, der verwendeten Security-Mechanismen und der darüberliegenden C-ITS-Nachrichten. Ein solches Werkzeug ist CANoe.Car2x von Vector zusammen mit dem 802.11p/CAN (FD)/GNSS Interface VN4610.

In einem ersten Schritt der Abnahmetests wird geprüft, ob der Baustellenwarnanhänger Nachrichten sendet, ob diese semantisch korrekt sind und ob die erwartete Sendereichweite erreicht wird. Dieses Vorgehen stellt zweierlei sicher: zum einen die korrekte Anbindung des V2X-Steuergerätes an die Antennen, zum anderen das Senden dekodier-

barer Funknachrichten. Gemessen wird dies unter anderem über die Empfangssignalstärke, die für jeden IEEE-802.11p-Funkframe vom Empfänger (VN4610) mitgeliefert wird. Zudem werden eingehende Nachrichten wie CAM (Cooperative Awareness Message), DENM (Decentralized Environmental Notification Message) und IVIM (In-Vehicle Information Message) dekodiert, interpretiert und in einem Trace-Fenster gelistet. Die C-ITS-Nachrichtenformate sind hierbei in einer Datenbank hinterlegt, was es ermöglicht, ohne ein Update des Testwerkzeugs weitere Nachrichtenformate hinzuzufügen.

Im nächsten Schritt wird die Interpretation und geografische Einordnung der baustellenspezifischen Dateninhalte in der Event-Nachricht (DENM) überprüft. Hierbei werden die Positionsinformationen in einem Kartenfenster visualisiert. Ob die mit der DENM übertragene Koordinaten des Warnanhängers und dessen gefahrene Wegstrecke (path history) mit der des realen Trailers übereinstimmt, lässt sich somit sofort erkennen. Weitere Dateninhalte, zum Beispiel die Anzeigen auf der Warntafel, können dagegen mit dem entsprechenden Piktogramm in einem speziellen Fenster (Panel) angezeigt werden (Bild 3). Ein solches Panel kann individuell für den jeweiligen Anwendungsfall in einem im Tool enthaltenen Panel Editor konfiguriert werden. Der Anwender erkennt sofort, was vom Warnanhänger gesendet wird, ohne die komplexen Datenstrukturen durchsuchen zu müssen.

Zur nachträglichen Prüfung der einzelnen Datenelemente kann bei jedem Test die Kommunikation aufgezeichnet werden, um sie später im Detail mit Vorgaben aus den betreffenden Standards und Profilen zu vergleichen. Zur Detailprüfung eignet sich ein Trace-Fenster mit seiner detaillierten Darstellung der Nachrichten und den enthaltenen Datenstrukturen. Sehr hilfreich ist dabei, wenn die einzelnen Datenelemente nicht nur als Bitfolge, sondern auch als physikalische Werte bzw. symbolisch in Textform angezeigt werden. Ein Protokoll-Analyser weist zudem auf

Testkategorien	Prüfkriterien
Korrekte Auslösebedingungen (Triggering Conditions)	>Erstmaliges Auslösen von V2X-Nachrichten, z.B. nach Beschaltung der Anzeigetafel des Warnanhängers >Wiederholungen der V2X-Nachrichten >Aktualisierungen der Anzeigetafel
Korrekte Nachrichteninhalte	>Generelle Dekodierbarkeit von IEEE-802.11p-Funkframes und deren Inhalt >Detailprüfung der Datenelemente (korrekte Inhalte) >Korrektheit der Verortung (GNSS) >Korrektheit von Zeitstempeln und Gültigkeitsdauer >Piktogramm-Codes für Verkehrszeichen (ISO14823)
Korrechter Anschluss und Antennenausrichtung	>Empfangsqualität und Feldstärke
Security	>Korrektheit von Signaturen >Korrektheit von Zertifikaten und der Berechtigungen zum Aussenden von Nachrichten (SSP).

Tabelle 1: Testkategorien und Prüfkriterien. © Vector Informatik

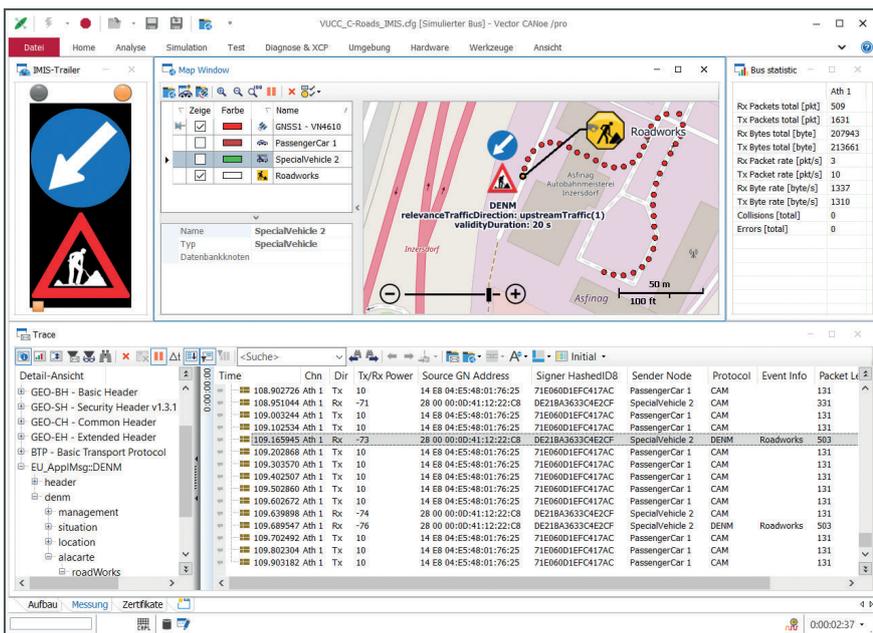


Bild 3: Mobiler Test: Das Testwerkzeug CANoe.Car2x listet die C-ITS-Nachrichten in einem Trace-Fenster und visualisiert die Positionsinformationen im Karten-Fenster sowie weitere Inhalte im Panel. © Vector Informatik

grundlegende Protokollfehler oder ungültige Werte hin. Bei den durchgeführten Tests wurde mit der CANoe internen Programmiersprache CAPL ein kleines Auswertungsprogramm geschrieben, das in einem Panel für die verschiedenen C-ITS-Nachrichten die zu überprüfenden Werte ausgibt.

Zum Validieren der Signaturen und der verwendeten Zertifikatsketten wird das zugehörige Root-Zertifikat vorab in das Testwerkzeug importiert und als vertrauenswürdig gekennzeichnet. Dadurch prüft der Protokoll-Analyser sowohl die Signaturen der einzelnen C-ITS-Nachrichten als auch die Durchgängigkeit der Zertifikatsketten über die gesamte Hierarchie bis hoch zum Root-Zertifikat. Zur genauen Analyse der

empfangenen Zertifikate werden diese in einem Explorer-Fenster aufgelistet und interpretiert. Gültigkeitszeiträume sowie Berechtigungen zur Übertragung von Infrastrukturinformationen lassen sich somit kontrollieren.

Fazit und Ausblick

Für die ASFINAG ist der Roll-Out der intelligenten Baustellenwarnanhänger nur der erste Schritt bei der Ausrüstung der Straßeninfrastruktur mit C-ITS-Diensten. Des Weiteren hat die Ausstattung der österreichischen Autobahnen und Schnellstraßen mit fest installierten C-ITS-Funkeinheiten (Roadside Units) bereits 2020 begonnen. Im Endausbau werden es bis zu 525 Funkeinheiten

sein. Darüber hinaus wird auch eine Ausstattung der Blaulichtfahrzeuge der ASFINAG vorbereitet.

Für die Kommunikation der Infrastruktur mit Fahrzeugen ist es notwendig, dass alle V2X-Systeme die gleiche Sprache sprechen, und zwar akzentfrei. Die Standards und Profile hierfür sind vorhanden, aber nur umfangreiches Testen kann sicherstellen, dass die Funktionen richtig umgesetzt sind und somit der gewünschte Mehrwert erreicht werden kann. Die Tests bei der Abnahme der Baustellenwarnanhänger wurden noch weitgehend manuell durchgeführt. Durch die steigende Komplexität und Anzahl der V2X-Systeme ist es zukünftig geplant, Tests verstärkt zu automatisieren, um sie vor der Inbetriebnahme und im Rahmen von Wartungen einfacher und effizienter durchzuführen. ■ (oe)

<https://c-its-deployment-group.eu/>
<https://www.vector.com>



Dr. Stefan Rührup ist IT-Experte bei der ASFINAG Maut Service GmbH im Themengebiet C-ITS und begleitet das IMIS-Projekt bereits seit dessen Beginn.



Dr. Yannick Wimmer ist IT-Experte bei der ASFINAG Maut Service GmbH und im Bereich vernetztes automatisiertes Fahren und digitale Infrastruktur tätig.



Dipl.-Ing. (FH) Thomas Löffler ist Teamleiter bei der Vector Informatik GmbH im Bereich „Networks and Distributed Systems“ sowie Produktmanager für die CANoe Option Car2x.