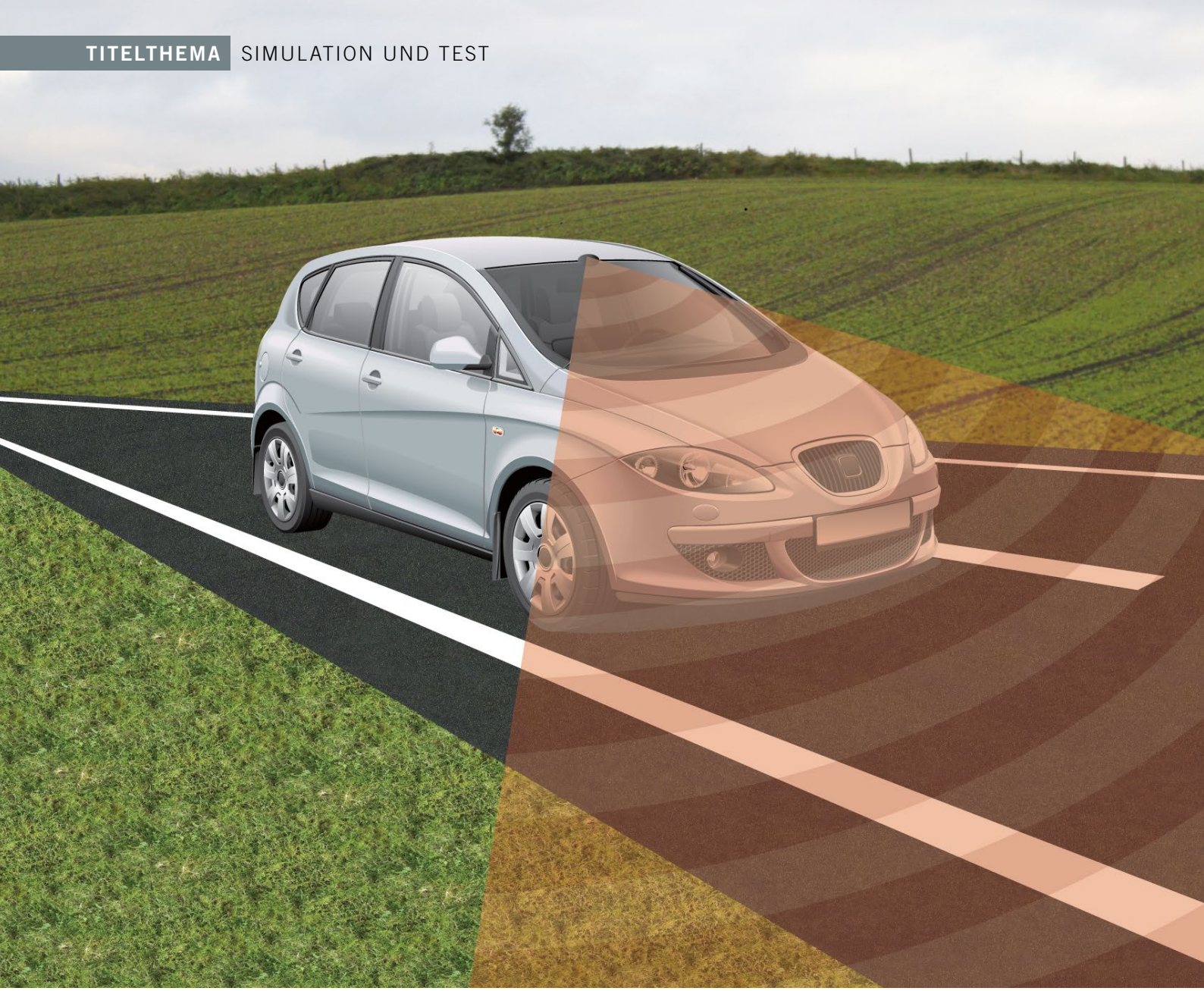


AUTOREN

Dr. Dieter Kreuer
ist Gesellschafter und Key-Account-Manager bei der Qosmotec GmbH in Aachen.

Mark Hakim
ist Geschäftsführer der Qosmotec GmbH in Aachen.

AUFGABENSTELLUNG

Die an Qosmotec herangetragene Aufgabenstellung bestand darin, für zwei Konfigurationen Front-/Heckantenne unterschiedlicher Richtcharakteristik und Montageposition sowie einer zusätzlich als Referenz betrachteten omnidirektionalen Dachantenne zu ermitteln, welche Konfiguration in ausgewählten, praxisrelevanten Szenarien voraussichtlich die größte Übertragungssicherheit bieten würde.

Zur Simulation der Antennencharakteristiken stellte der Kunde Antennendiagrammen zur Verfügung, die an den in einem Fahrzeug montierten Antennen im EMV-Labor gemessen worden waren. Konfiguration 1 zeigte eine eher rundstrahlende Charakteristik mit einem maximalen Gewinn von circa 3 dBi frontseitig/6 dBi heckseitig in Winkeln von circa 45° beiderseits der Fahrbahn, während in beziehungsweise gegen die Fahrtrichtung sogar negative Gewinne von -8 dBi beziehungsweise -5 dBi vorlagen. Die Annahme des Kunden war, dass die seitliche Ausleuchtung zum Beispiel im Falle einer Kreuzungssituation vorteilhaft sein könnte. Konfiguration 2 wies hingegen eine relativ starke, entlang der Fahrbahn orientierte Richtcharakteristik mit rund 9 dBi Gewinn front- und heckseitig auf. Beide Antennenkonfigurationen sollten hinter dem vorderen Stoßfänger sowie im Kofferraumdeckel des Fahrzeugs montiert werden, wobei Konfiguration 1 eine geringfügig höher montierte Heckantenne verwendete als Konfiguration 2. Die perfekt rundstrahlende (0 dBi) Referenzantenne sollte hin-

Car-to-X-Kommunikation
Flexible Integration von Antennensystemen

Für eine optimale Reichweite wäre es am sinnvollsten, Antennen für die Car-to-X-Kommunikation möglichst hoch auf dem Fahrzeugdach zu montieren. Was jedoch tun, wenn ein solches wie bei Cabriolets gar nicht vorhanden ist? Mit diesem Problem konfrontiert, wendete sich ein namhafter deutscher Automobilhersteller an die Firma Qosmotec. Das Unternehmen bietet mit dem Kanalsimulator QPER ein System an, das es Entwicklern ermöglicht, drahtlose Kommunikationssysteme per Simulation im Labor auf ihre Praxistauglichkeit zu prüfen. Können vor der Prototypenphase grundlegende Fragen durch Simulation beantwortet werden, so lässt sich der Bedarf an Testfahrten im Feld erheblich reduzieren, womit Zeit und Ressourcen gespart werden. Der Aachener Simulationsspezialist beschreibt beispielhaft Aufbau, Durchführung und Ergebnisse des oben genannten Projekts.

© Qosmotec

gegen zum Vergleich als Dachantenne in 1,3 m Höhe modelliert werden. Als Bewertungsgrundlage für den Vergleich sollte die Reichweite bestimmt werden, jenseits der die Verbindung eine Paketverlustrate von mehr als 10 % aufwies. Der Kunde schlug als Referenzszenarien sechs Verkehrssituationen aus einem White Paper des Car-to-Car-Communications-Consortiums [1] vor:

- Rural LOS (Line-of-Sight): Zwei kommunizierende Fahrzeuge mit direkter Sichtverbindung folgen einander auf einer geradlinigen Straße im offenen Gelände.
- Urban Approaching LOS: Zwei kommunizierende Fahrzeuge kommen sich in einer urbanen Umgebung mit Bebauung geradlinig entgegen.
- Urban Following NLOS: Zwei kommunizierende Fahrzeuge folgen sich in einer urbanen Umgebung mit einem dritten, die Sichtlinie blockierenden Fahrzeug zwischen den Kommunikationspartnern (in der Literatur auch als Obstructed Line-of-Sight bezeichnet).
- Urban Crossing NLOS: Zwei Fahrzeuge auf rechtwinklig kreuzenden Straßen begegnen sich an der Kreuzung; bei der Annäherung ist die Sichtlinie zwischen ihnen durch Gebäude verdeckt.
- Highway LOS: Zwei kommunizierende Fahrzeuge mit direkter Sichtverbindung folgen einander auf einer geradlinigen, mehrspurigen Schnellstraße mit Beschilderung, Brücken, Hügeln und anderen Fahrzeugen.
- Highway NLOS: Dieses Szenario entspricht Highway LOS, allerdings mit einem Lastkraftwagen auf der Sichtlinie zwischen den verschiedenen Kommunikationspartnern.

Qosmotec schlug zusätzlich ein Rural-Crossing-LOS-Szenario vor, bei dem sich die beiden Fahrzeuge einer rechtwinkligen Kreuzung nähern, jedoch mit ständigem Sichtkontakt.

KANALMODELLIERUNG

Zur generischen Modellierung der verschiedenen Szenarien wurden unterschiedliche Kanalmodelle recherchiert und in die Qosmotec-Plattform integriert:

- Zweiwegausbreitung mit Bodenreflexion [2]: Dieses Modell kombiniert Freiraumdämpfung, bei welcher der Signalpegel mit dem Quadrat der Entfernung (Pfadexponent -2) abnimmt,

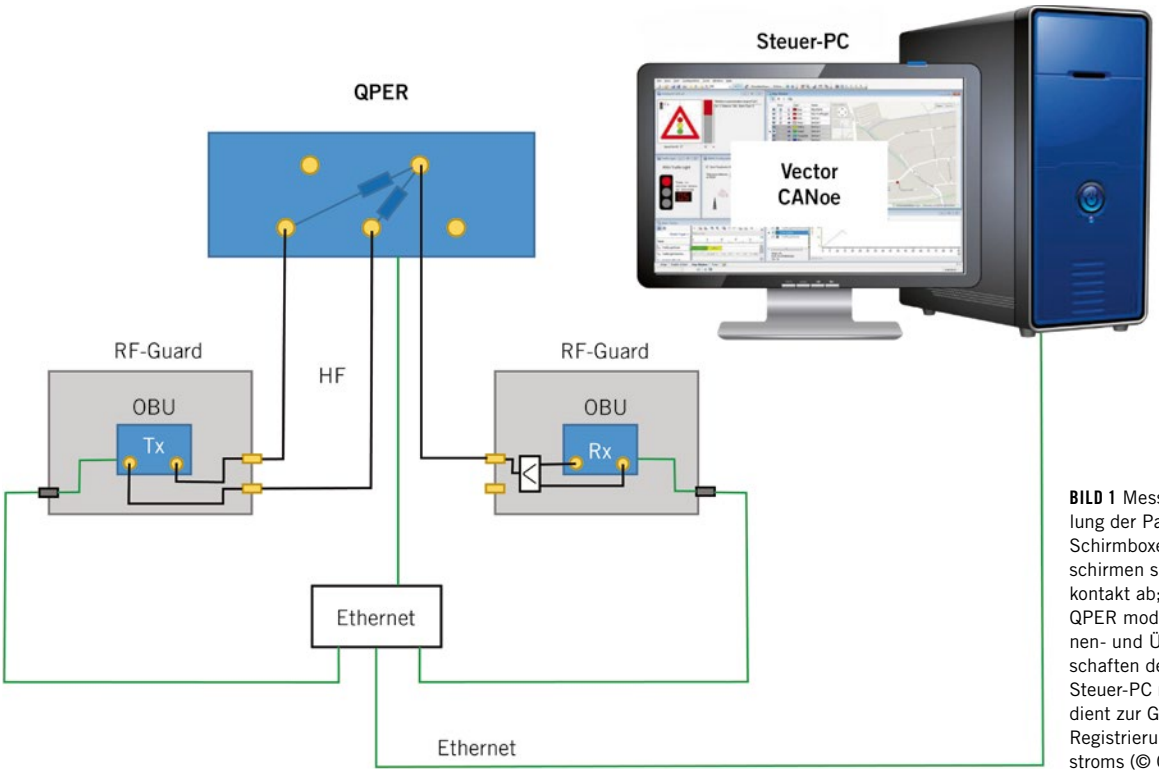


BILD 1 Messaufbau zur Ermittlung der Paketverlustraten: Schirmboxen um die OBUs schirmen sie gegen Funkkontakt ab; der Kanalsimulator QPER modelliert die Antennen- und Übertragungseigenschaften des Kanals; ein Steuer-PC mit Vector CANoe dient zur Generierung und Registrierung des Messdatenstroms (© Qosmotec)

mit einer Abnahme mit der vierten Potenz (Pfadexponent -4) oberhalb einer gewissen Breakpoint-Entfernung (typischerweise einige 100 m), die sich aus der Höhe der Antennen auf Sender- und Empfängerseite und der verwendeten Wellenlänge ergibt. Dieses recht gebräuchliche HF-Kanalmodell kann für die Rural-Szenarien verwendet werden, wobei optional eine schnelle Signalvariation (Rice-Fading) eingefügt werden kann.

– Shadow-fading-Modell nach Abbas et al. [3]: Auch dieses Modell geht von einer Änderung des Pfadexponenten jenseits einer Breakpoint-Entfernung aus, die von den Antennenhöhen und der Wellenlänge abhängt. Das Modell betrachtet zusätzlich Abschattungen durch Gebäude (Shadow fading) und simuliert diese mit einer Normalverteilung des Signalpegels in dB um den mittleren Wert herum. Die Pfadexponenten für kurze und weite Distanz sowie die Kenngrößen des Shadow fading wurden von den Autoren für verschiedene Umgebungen (highway, urban) und mit Sichtlinienverbindung (LOS) beziehungsweise durch ein Fahrzeug blockierter Sichtlinie (obstructed LOS, OLOS) in zahlreichen Messfahrten empirisch ermittelt. Dieses Modell eignet sich für alle Urban- und Highway-Szenarien, außer dem Urban-Crossing-NLOS-Szenario.

– NLOS-Modell für Kreuzungsbereiche nach Mangel et al. [4]: Das dritte Modell, das ebenfalls auf empirischen Messungen beruht, betrachtet gerade und ausschließlich die Situation einer innerstädtischen Kreuzung mit Bebauung, bei der die kommunizierenden Fahrzeuge außerhalb des unmittelbaren Kreuzungsbereichs keine Sichtlinienverbindung haben. Anstelle des sendenden Fahrzeugs wird eine virtuelle Signalquelle in der Mitte der Kreuzung modelliert. Der beim Empfänger registrierte Pegel dieser Quelle wird von der Signalstärke des sendenden Fahrzeugs, den Abständen der Fahrzeuge von der Kreuzungsmitte, den Antennenhöhen und den Straßenbreiten bestimmt. Zur Berücksichtigung der in der Originalarbeit nicht betrachteten Antennencharakteristik wurde der Antennengewinn des sendenden Fahrzeugs in Richtung der reflektierenden und beugenden Häuserkanten der Kreuzung bestimmt und dem Sendepegel zugeschlagen. Dem Signal wurde außerdem gemäß den Autoren des Modells ein schneller Fading-Prozess mit einer Standardabweichung der Signalamplitude von 4,1 dB überlagert.

DURCHFÜHRUNG DER MESSUNGEN

Der Messaufbau zur Ermittlung der Paketverlustraten, **BILD 1**, bestand aus zwei gebräuchlichen Cohda Wireless MK4a On-Board-Units (OBUs) für die Car-to-X-Kommunikation.

Die beiden OBUs wurden in Qosmotec RF-Guard-Schirmgehäusen voneinander isoliert und per Koaxialkabel mit dem Qosmotec Kanalsimulator QPER verbunden, der die Signale gemäß den oben beschriebenen Modellen manipulierte. Der Kanalsimulator beinhaltet eine Matrix aus HF-Abschwächern, die alle Anschlüsse der Box untereinander verbinden und deren Dämpfung per Software variiert werden kann. Somit kann beispielsweise simuliert werden, dass zwei an die Hardware angeschlossene OBUs sich einander annähern, sodass der Signalpegel ansteigt, und sich danach bei fallendem Pegel wieder voneinander entfernen, wobei diverse Entfernungsabhängigkeiten der Pfaddämpfung gemäß obigen Kanalmodellen simuliert werden können. Die elektronische Ansteuerung erlaubt es, rasch

variierende Signalpegel oder den von der Ausrichtung der Fahrzeuge zueinander abhängigen Antennengewinn gemäß einer bestimmten Antennencharakteristik zu modellieren.

Die Software des Kanalsimulators QPER bietet eine grafische Oberfläche, die eine simulierte Landschaft (Scenery) darstellt, die optional zur Orientierung mit einer Landkarte unterlegt werden kann. In der Scenery können kommunizierende Geräte (Radio Devices) platziert und bewegt werden, und der Kanalsimulator ermittelt aus der Entfernung, dem verwendeten Kanalmodell und den den Radio Devices zugeordneten Antennencharakteristiken die in der Hardware anzuwendende Signaldämpfung. Jedes Radio Device entspricht dabei einem physischen HF-Anschluss des Kanalsimulators, und jedem Paar von Radio Devices entspricht ein zugeordneter, mit HF-Abschwächer versehener Signalweg.

Die Bewegung der Radio Devices kann über vom Nutzer gezeichnete Pfade durch die Scenery vorgegeben werden. Einflüsse wie Abschattung, Fading oder unterschiedliche Kanalmodelle können durch rechteckige Areas in die Simulation eingebracht werden, die von den Radio Devices auf ihren Pfaden durchquert werden. **BILD 2** zeigt beispielsweise eine violett gefärbte Slow Fading Area, deren Parametrisierung im Kasten rechts unten eingesehen werden kann.

Zur Simulation der vorgegebenen Verkehrsszenarien brauchen nun lediglich für die beteiligten Fahrzeuge Pfade mit der gewünschten Geschwindigkeit, Länge und Richtung gezeichnet und diesen eine Area mit den gewünschten Kanaleigenschaften überlagert zu werden.

Zur Paketgenerierung und Paketverlustraten-Messung implementierte Qosmotec entsprechende Routinen für das Software-Paket CANoe von Vector Informatik, das auf einem Steuer-PC lief, an den die OBUs per Ethernet angeschlossen waren. Dieser übertrug 400 Pakete/s mit einer Länge von 106-140 bit und fortlaufender Paketnummer zwischen den OBUs und zurück zum Steuer-PC. Dort wurde anhand fehlender Paketnummern die Paketverlustrate ermittelt.

Zur Bestimmung der Abhängigkeit der Paketverlustrate von der Entfernung wurden die simulierten Positionen der Fahrzeuge permanent vom Kanalsimulator an die CANoe-Messroutinen übermittelt. Damit Ergebnisse für verschiedene Entfernungen und für Front- und Heckantenne gewonnen werden konnten, wurden die Verkehrsszenarien mit sich folgenden Fahrzeugen so modelliert, dass eines der Fahrzeuge das zweite überholte. Das überholende Fahrzeug war dabei der Sender, dem die zu untersuchende Kombination aus Front- und Heckantenne zugewiesen wurde, während das überholte, empfangende Fahrzeug mit einer omnidirektionalen Antenne in 1,3 m Höhe simuliert wurde. Die Simulationen wurden zur Ausmittelung des zufälligen Shadow und Rice Fadings jeweils zehnmal wiederholt und gemittelt.

ERGEBNISSE

BILD 3 zeigt exemplarisch den Pegel (Liniengraph) und die Paketverlustrate (Balkengraph) über der Entfernung aufgetragen für das Verkehrsszenario Urban Approaching LOS, wobei sich beide Fahrzeuge mit 50 km/h in entge-

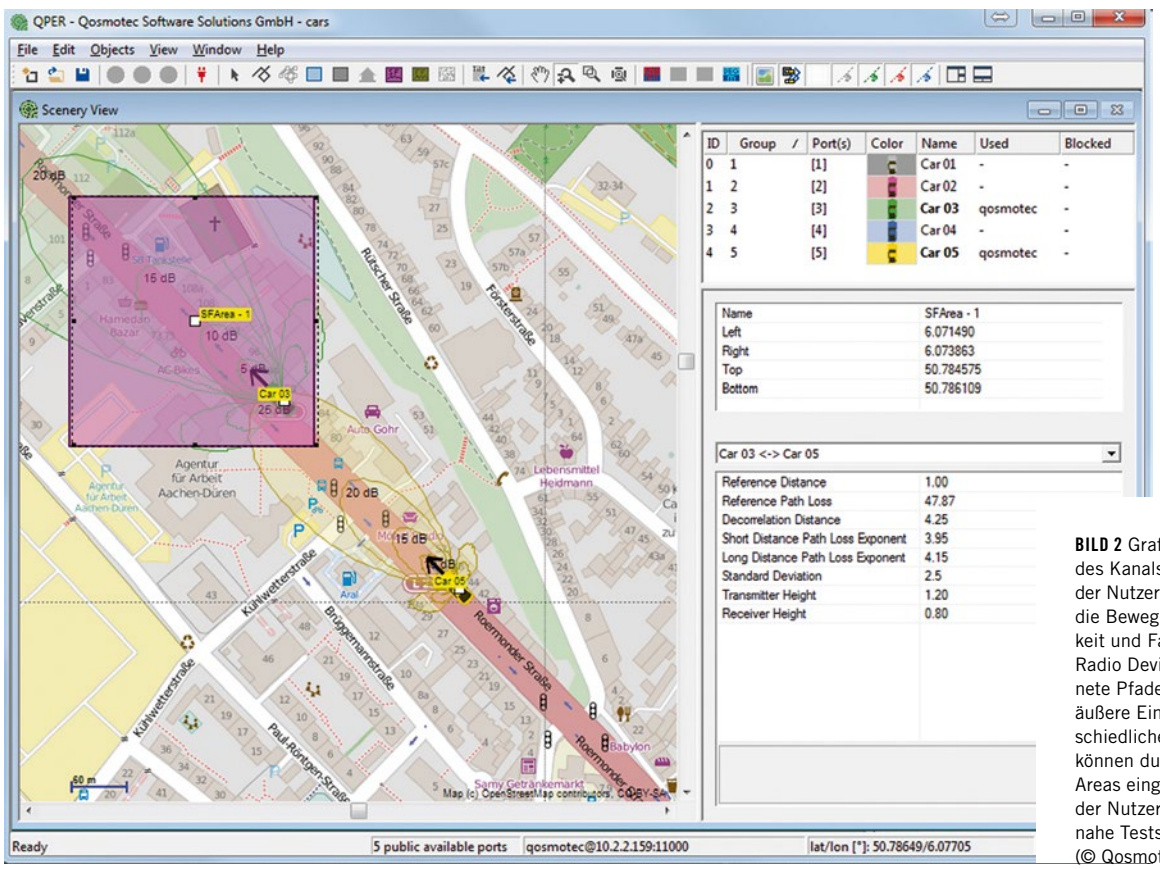


BILD 2 Grafische Oberfläche des Kanalsimulators QPER: der Nutzer hat die Möglichkeit, die Bewegung, Geschwindigkeit und Fahrtrichtung der Radio Devices durch gezeichnete Pfade vorzugeben; äußere Einflüsse oder unterschiedliche Kanalmodelle können durch rechteckige Areas eingefügt werden; der Nutzer kann so realitätsnahe Testszenarien erstellen (© Qosmotec)

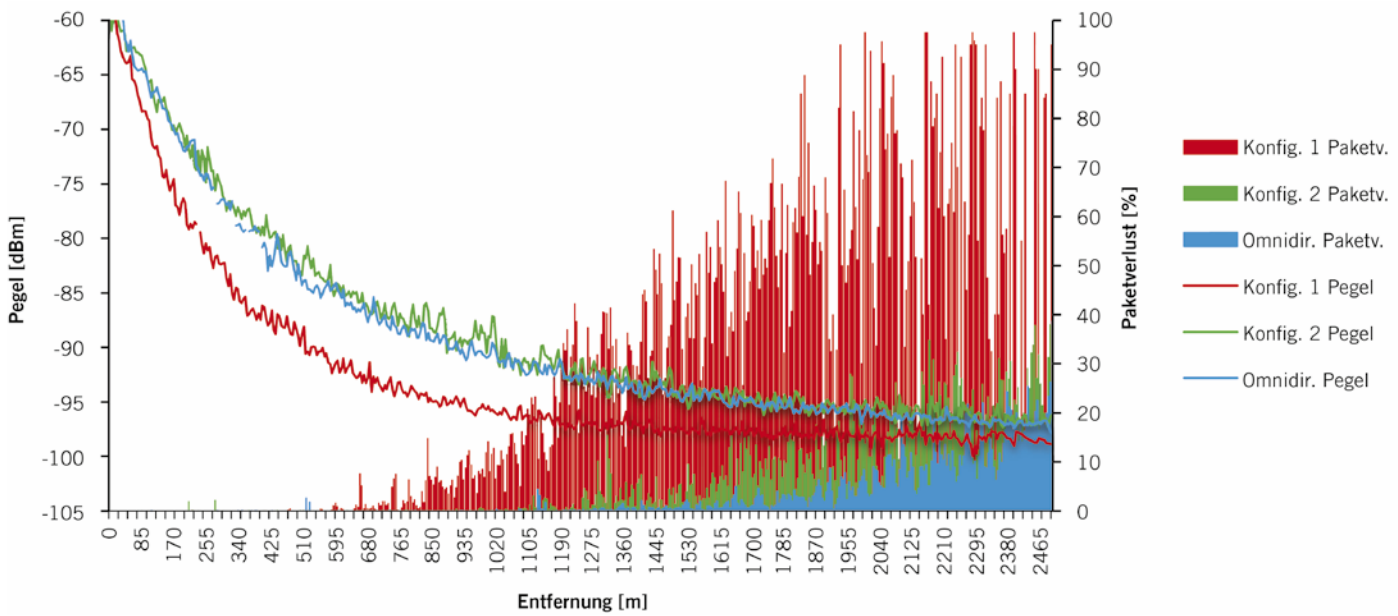
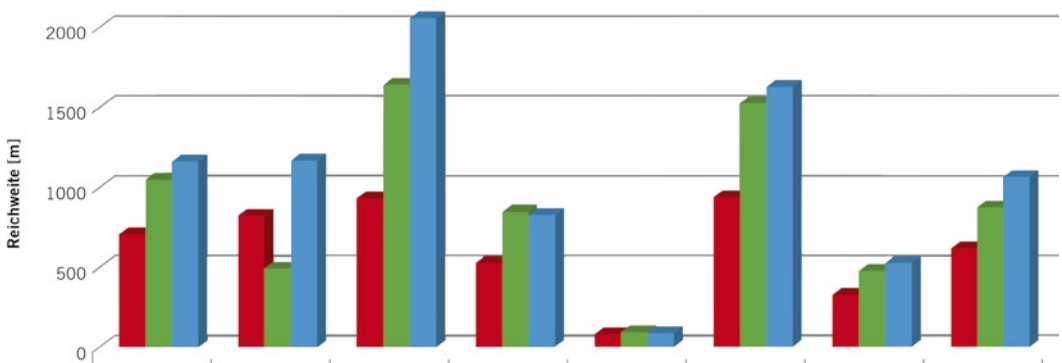


BILD 3 Paketverlustrate und Pegel in Abhängigkeit von der Entfernung für das Szenario Urban Approaching LOS; die eher richtend wirkende Antennenkonfiguration 2 (grün) erweist sich als guter Ersatz für eine omnidirektionale Dachantenne (© Qosmotec)

gengesetzte Richtungen fahrend passieren. Die roten Graphen beziehen sich auf Antennenkonfiguration 1 (eher rundstrahlend), die grünen Graphen auf Antennenkonfiguration 2 (eher gerichtet) und die blauen Graphen auf die theoretische Referenzantenne mit perfekt rundstrahlender Charakteristik und Dachmontage. Dies verdeutlicht, dass Konfiguration 2 annähernd die gleiche Reichweite wie die Referenzantenne zeigt, während Konfiguration 1 erheblich schlechter abschneidet. Konfiguration 2 erzielt sehr gute Reichweiten, da die Fahrzeuge sich einander frontal nähern und somit die Richtwirkung einen großen Vorteil bietet. Jedoch erreicht die omnidirektionale Referenzantenne sogar eine noch geringfügig größere Reichweite, denn sie ist höher montiert. Dies bedingt eine im Vergleich zu den beiden anderen Konfigurationen größere Breakpoint-Distanz, jenseits welcher der höhere Pfadexponent wirksam wird. Somit ergibt sich im Nahbereich ein geringerer Verlust, der den Nachteil des geringeren Antennengewinns gerade kompensiert. Dies konnte durch Simulationen mit höher montierten Konfigurationen 1 und 2 belegt werden.

Wie verhält es sich bei den übrigen Szenarien? **BILD 4** zeigt eine Übersicht der Reichweiten für 10 % Paketverlustrate über alle simulierten Szenarien. Die omnidirektionale Dachantenne wäre offenbar die beste Wahl, da sie jedoch für Cabriolets nicht infrage kommt, bietet die richtende Konfiguration 2 einen guten Ersatz. Nur in einem einzigen Szenario ist die eher rundstrahlende Konfiguration 1 überlegen, und dies ist



	Rural LOS	Rural crossing LOS	Urban approa-ching LOS	Urban following NLOS	Urban crossing NLOS	Highway LOS	Highway NLOS	Durch-schnitt
Konfi. 1	710	825	935	530	82	940	330	622
Konfi. 2	1050	495	1645	850	95	1530	480	878
Omnidir.	1165	1170	2060	830	88	1630	530	1068

BILD 4 Vergleich der Reichweiten bei 10 % Paketverlustrate über alle untersuchten Szenarien: die eher richtend wirkende Antennenkonfiguration 2 weist insgesamt deutlich bessere Werte auf als die eher rundstrahlende Konfiguration 1; der niedrigere Wert beim Szenario Rural Crossing mit direkter Sichtverbindung ist mehr als ausreichend (© Qosmotec)

das von Qosmotec zusätzlich betrachtete Szenario einer Kreuzung in ländlicher Umgebung (Rural Crossing LOS), bei der eine permanente Sichtlinienverbindung besteht. Hier ist die Reichweite der Konfiguration 2 mit fast 500 m jedoch völlig ausreichend und kein Ausschlusskriterium, angesichts der durchgehend besseren Leistung in allen anderen Szenarien.

FAZIT

Im vorliegenden Projekt konnte durch Simulation auf der Qosmotec Car-to-X-Plattform eine eindeutige Empfehlung für die zu verwendende Antennenkonfiguration gegeben werden. Der Reichweitenvorteil einer Richtantenne kann den Nachteil einer niedrigen Einbauhöhe kompensieren, und in den meisten verkehrsrelevanten Szenarien ist es vorteilhaft, das Signal in und gegen die Fahrtrichtung auszurichten. Neben dieser qualitativen Aussage konnten auch quantitative Angaben zur Reichweite der Antennenkonfigurationen gemacht werden. Somit konnten zeitaufwendige Testfahrten vermieden werden.

LITERATURHINWEISE

[1] Car-2-Car Communications Consortium, Task Force Antennae & Wireless Performance. Whitepaper Version 1.2, Kapitel 4.2.1 Scenarios

[2] Wikipedia-Artikel: Two-ray ground-reflection model. http://bit.ly/209PKDp

[3] Abbas, T.; Sjöberg, K; Karedal, J.; Tufvesson, F.: A Measurement Based Shadow Fading Model for Vehicle-to-Vehicle Network Simulations. In: International Journal of Antennas and Propagation Vol. 2015, 17. Februar 2015, http://bit.ly/1ntAao8

[4] Mangel, T.; Klemp, O.; Hartenstein, H.: 5.9 GHz inter-vehicle communication at intersections – a validated non-line-of-sight path-loss and fading model. In: Eurasip Journal on Wireless Commu-nications and Networking 2011, 2011:182, http://bit.ly/1JcP2RN

READ THE ENGLISH E-MAGAZINE
Test now for 30 days free of charge:
www.ATZelektronik-worldwide.com

Fahrerassistenzsysteme

Von der Assistenz zum automatisierten Fahren

2. Internationale ATZ-Fachtagung
13. und 14. April 2016 | Frankfurt/Main

SAFETY UND SECURITY
Technische Lösungen und unternehmenspolitische Hürden

MÄRKTE UND NUTZER
Geschäftsmodelle und Rahmenbedingungen

SIMULATION UND TEST
Absichern von Komponenten und vernetzten Systemen

ATZ live

Aktuelles Tagungsprogramm: www.ATZlive.de