2/3.2018 Februar € 9,00

Offizieller Medienpartner embeddedworld2018

elektronik-automotive.de

Elektronik automotive

Fachmedium für professionelle Automobilelektronik

Cyber-Sicherheit:

Authentische CAN-Kommunikation

>> Seite 22

Special: Bessere ADAS-Software in acht Schritten

>> Seite 30

DC-DC-Wandler für Hybrid Electric Vehicles

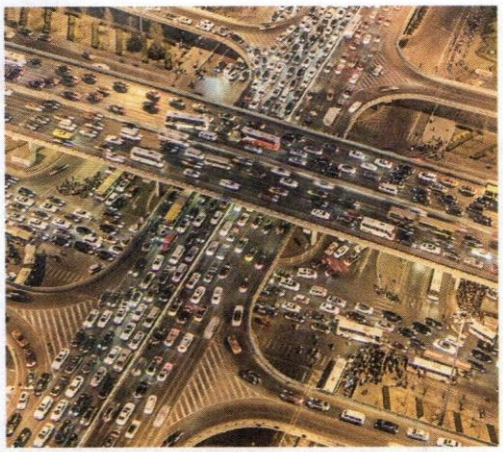
>> Seite 35

V2X-Vernetzung: Serienreif im Simulator

>> Seite 42

Digi-Key ELECTRONICS
Über 6,8 Millionen Produkte Online
DIGIKEY.DE

INHALT



Prüfstand für V2X-Kommunikation

Die Vernetzung von Fahrzeugen ist für das autonome Fahren essenziell. Bei hohem Verkehrsaufkommen in städtischen Umgebungen gilt es künftig, Paketfehlerraten und damit Datenverlust zu vermeiden. Der Congestion Simulator ermöglicht verschiedene Verkehrsszenarien und Umgebungen – am Prüfstand. >> **42**

Prüfstand für V2X-Kommunikation:

(Serien-)Reif im Simulator

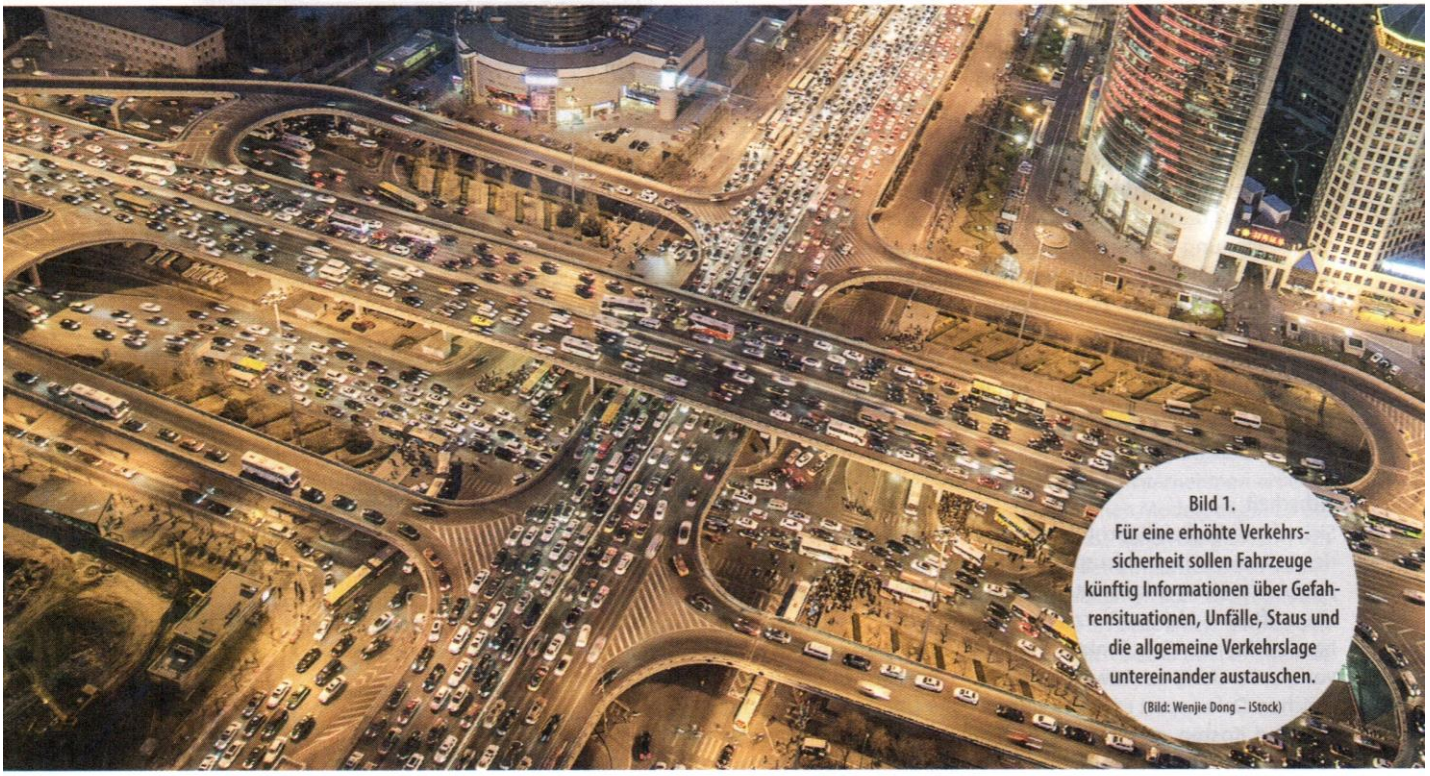


Bild 1. Für eine erhöhte Verkehrssicherheit sollen Fahrzeuge künftig Informationen über Gefahrensituationen, Unfälle, Staus und die allgemeine Verkehrslage untereinander austauschen. (Bild: Wenjie Dong – iStock)

Die Vernetzung von Fahrzeugen ist für das autonome Fahren essenziell. Bei hohem Verkehrsaufkommen in städtischen Umgebungen gilt es künftig, Paketfehlerraten und damit Datenverlust zu vermeiden. Der Congestion Simulator ermöglicht verschiedene Verkehrsszenarien und Umgebungen – am Prüfstand.

Von Mark Hakim und Dieter Kreuer

Die IEEE 802.11p-Norm bildet die Grundlage für die vernetzte V2X (Vehicle-to-Everything)-Kommunikation des künftigen Straßenverkehrs. Der Austausch verkehrsrelevanter Informationen erfolgt entweder zwischen Fahrzeugen in der V2V (Vehicle-to-Vehicle)-Kommunikation oder zwischen Fahrzeug und Verkehrsinfrastrukturelementen, wie Ampeln, Verkehrsschildern oder Notrufsäulen, durch die V2I (Vehicle-to-Infrastructure)-Kommunikation. Die Gesamtvernetzung soll die Verkehrssicherheit erhöhen und den Straßenverkehr (**Bild 1**) entlasten.

Für die vernetzte Kommunikation ist das Frequenzband von 5,850 bis 5,925 GHz vorgesehen und es werden maximal zehn Nachrichten pro Sekunde gesendet. Ein derartiges Broadcasting-Prinzip, bei dem alle Sender denselben Kanal verwenden, bringt unterschiedliche Herausforderungen mit sich: Sendet ein Auto beispielsweise Daten, können zu dem Zeitpunkt die anderen Kraftfahrzeuge keine Informationen versenden. Die Datenpakete würden miteinander kollidieren und verloren gehen.

Der so genannte Carrier-Sensing-Mechanismus verhindert den potenziellen Datenverlust. Demnach hört ein Sender zunächst den Kanal ab und überträgt erst dann die Informationen, wenn der Kanal frei ist.

Doch was passiert, wenn ein potenzieller Empfänger außer Reichweite ist, Gebäude in Stadtgebieten die Übertragung stören oder sich so zwei Sender gegenseitig nicht „sehen" können, sich ihre Reichweiten allerdings überlappen?

Hier kommt es zu einer sogenannten Hidden-Node-Problematik.

Wenn sich zwei Teilnehmer gegenseitig nicht wahrnehmen können, sind beide davon überzeugt, der Kanal sei frei, und übermitteln die Daten (unter Umständen) zur selben Zeit. Wenn sich der Sendezeitraum nur unwesentlich überschneidet, wird der Übertragungsversuch bereits nicht mehr erfolgreich verlaufen.

Mit Hilfe der Paketverlustrate lässt sich die Kommunikationsreichweite definieren. Bei einer gesicherten Kommunikation darf der Anteil an verlorenen Paketen einen definierten Schwell-

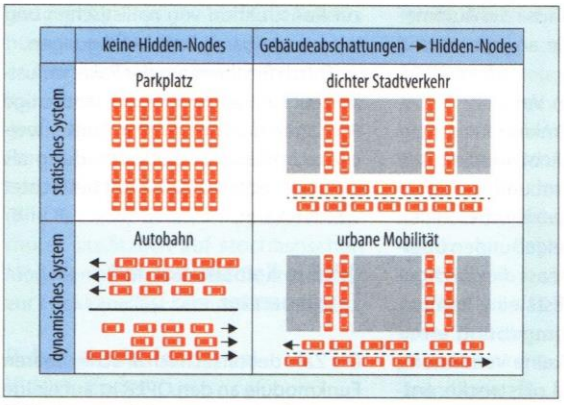


Bild 2. Die vier Validierungsszenarien für die Funklast des ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Der Feldstärkeemulator in Kombination mit dem Qosmotec Lastgenerator kann die Funkstärke für alle vier Verkehrsszenarien mit unterschiedlicher Parametrisierung realitätsnah abbilden – inklusive der Hidden-Nodes-Problematik. (Quelle: Qosmotec)

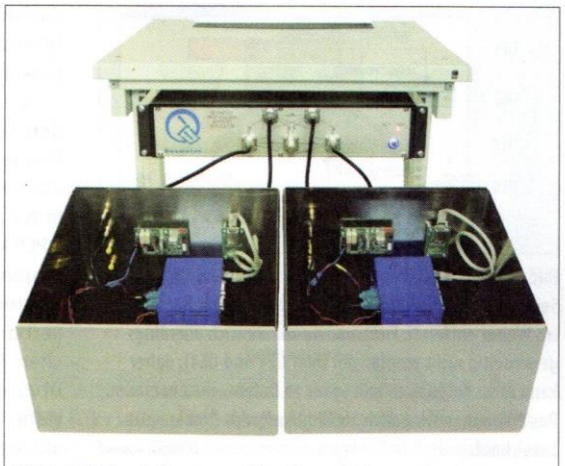


Bild 3. QPER ist ein System aus Dämpfungsgliedern zur Beeinflussung der Signalstärken bei der Funkübertragung. (Bild: Qosmotec)

wert nicht übersteigen. Bei Überschreitung wird automatisch angenommen, dass sich der Empfänger außerhalb der Reichweite befindet. Wie hoch dieser Schwellwert letztlich sein darf, ist aktuell noch nicht festgelegt. In anderen Fachgebieten gelten bei sicherheitsrelevanten Systemen, wie es auf die V2X-Kommunikation zutrifft, bereits Fehlerraten mit mehr als ein Prozent als kritisch.

Einflussfaktoren der Reichweite

Bei Funksystemen hängt die Reichweite von diversen Einflussfaktoren ab. Neben der Sendeleistung, der Empfindlichkeitsschwelle des Empfängers (abhängig vom Hersteller zwischen -90 und -100 dBm) und den Abstrahlcharakteristiken der Antennen zählt beispielsweise auch die Antennenposition zu den beeinflussenden Faktoren. In den meisten Fällen kommen die Antennen auf dem Fahrzeugdach zum Einsatz, wodurch sich eine durchschnittliche Montagehöhe von circa 1,3 m ergibt. Von dort kann die Antenne nahezu in jede Richtung ungehindert abstrahlen. Bei einem Cabriolet steht allerdings die Verbauposition auf dem Dach nicht zur Auswahl. Für die Antenne verbleibt daher nur die Installation in den Außenspiegeln, an der Front des Autos oder im Heckbereich, was immer zu anderen Abstrahlcharakteristiken führt.

Räumliche Abhängigkeiten

Auch die individuelle Verkehrssituation, in der sich das Kraftfahrzeug befindet, beeinflusst die Reichweite der Funksignale. Während in ländlichen Regionen Datenpakete problemlos über große Distanzen von bis zu 700 m gesendet und empfangen werden können, sind in städtischen Umgebungen mitunter maximal 100 m möglich.

In der Stadt kommt erschwerend noch der sogenannte Fast-Fading-Effekt hinzu: Durch Reflexionen an Gebäuden und parkenden Autos kommt es zu Überlagerungen, Auslöschungen und Störungen, die die Reichweite zusätzlich verkürzen.

Gerade bei hohen Fahrgeschwindigkeiten ist ein Verlust von Datenpaketen gefährlich, beispielsweise wenn die gesendeten Informationen vor einem Unfall oder einer Gefahrensituation warnen sollten. Der Effekt verstärkt sich, wenn die „Sicht" der Fahrzeuge eingeschränkt ist – etwa wenn sich ein LKW zwischen zwei Fahrzeugen befindet oder sich zwei Fahrzeuge an einer Kreuzung nähern. Möglichst realitätsnahe Verkehrsszenarien sollen dazu beitragen, plausible Ergebnisse über die Reichweite von Funksignalen zu erhalten. Das European Telecommunications Standards Institute (ETSI) hat hierzu bereits verschiedene Szenarien entwickelt (**Bild 2**).

Sie umfassen unterschiedliche Verkehrssituationen in städtischen und ländlichen Umgebungen auf Autobahnen, Kreuzungen sowie mit und ohne Sichtkontakt der Fahrzeuge. Anhand der Szenarien kann die Funkübertragung anhand verschiedener Aspekte berücksichtigt werden.

Feldtests sind aufwendig und kaum reproduzierbar

In der Theorie gestaltet sich die Festlegung von verschiedenen Validierungsszenarien einfach – in der Praxis war es in den vergangenen Jahren bisher jedoch sehr schwer, verlässliche Daten zur

Bild 4. Die Steuersoftware generiert die realistischen Übertragungseffekte, die im Gerät emuliert werden. (Bild: Qosmotec)

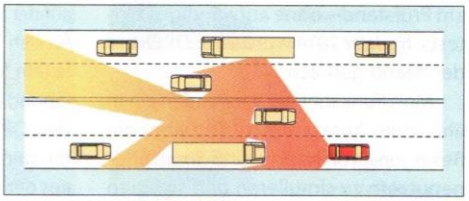


Bild 5. Auf Autobahnen können Lkw die Kommunikation behindern. Durch andere Einbaupositionen der Antennen im Fahrzeug kann sich die Reichweite ändern. So senden und empfangen tief eingebaute Antennen (beispielsweise in der Stoßstange) problemlos unter Lkw hindurch. (Quelle: Qosmotec)

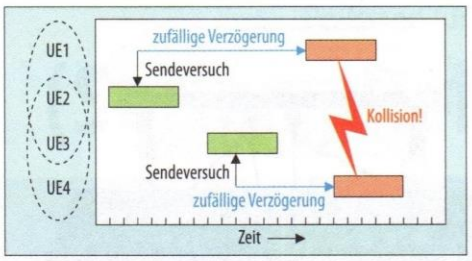


Bild 6. Ein User-Equipment (UE) überprüft beim Carrier-Sensing-Mechanismus vor dem Versand, ob der Kanal frei ist. Weiter entfernte Funkmodule können sich allerdings gegenseitig nicht empfangen (hier UE1 und UE4), daher kann es zu Kollisionen und somit zu Datenverlust kommen. Das Phänomen wird auch als Hidden-Nodes-Problematik bezeichnet. (Quelle: Qosmotec)

Funkübertragung unter verschiedenen Bedingungen zu erhalten. Um die Zuverlässigkeit in der Praxis sicherzustellen, wurden aus Mangel an Alternativen zahlreiche Projekte realisiert, bei denen umfangreiche Testfahrten auf Teststrecken und im Straßenverkehr durchgeführt wurden. Dies bedingt mitunter eine wochen- oder sogar monatelange Vorbereitung des Versuchs, was zu einem hohen finanziellen Aufwand führt.

Eine weitere Schwierigkeit bei den Feldtests stellen die äußeren Einflüsse dar, die nur schwer kalkulierbar sind, wie beispielsweise ungünstige Wetterbedingungen. Selbst wenn ein und derselbe Test mehrmals in derselben Fahrerkonstellation durchgeführt wird, sehen die Ergebnisse dennoch unterschiedlich aus. Äußere Bedingungen und die Fahrgeschwindigkeit lassen sich nie zu 100 Prozent nachstellen. Die Automobilhersteller fordern allerdings verlässliche und reproduzierbare Daten, um die Realität möglichst gut abzubilden.

Verkehrssituationen unter Prüfstandsbedingungen

Qosmotec entwickelte den Feldstärkeemulator Qosmotec Propagation Effects Replicator (QPER) (**Bild 3**) für Versuche am Prüfstand – ohne aufwändige Feldtests. Im Jahr 2014 wurde der QPER auf den Markt gebracht.

Mobilfunkanbieter verwenden einen ähnlichen Ansatz, um im Testlabor die Bewegung von Handy- und Smartphonenutzern zu simulieren und so einen reibungslosen Funkzellenübergang sicherzustellen. Die Simulations- und Testplattform wurde in Kooperation mit Forschern der Rheinisch-Westfälischen Hochschule Aachen (RWTH Aachen) auf die Bedürfnisse der Automobilindustrie angepasst und erweitert.

Bei den Versuchen werden die Funkmodule hochfrequenzdicht voneinander abgeschirmt und die Signale durch Koaxialkabel an den QPER kabelgebunden übertragen, sodass die durchgeführten Tests eine kontrollierbare Umgebung erreichen. Da keine Verbindung über die Luftstrecke entsteht, ist der Funkeffekt exakt reproduzierbar.

Die Hardware des Feldstärkesimulators besteht aus einer Matrix aus Dämpfungs- und Verzögerungselementen und dient dazu, den Funkverkehr zwischen angeschlossenen Geräten durch Abschwächung und Phasenverschiebung bedarfsgerecht auf jeder einzelnen Verbindung zu manipulieren. Mit der Vorrichtung sowie einer Software zur Modellierung und Ansteuerung des Feldstärkesimulators lässt sich reproduzieren, was bei der Signalübertragung in unterschiedlichen Umgebungen passiert (**Bild 4**).

Mit dem QPER lassen sich auch Szenarien wie Mehrwegausbreitung und der Fast-Fading-Effekt besser beleuchten und als Grundlage für weiterführende Forschungen nutzen.

Reichweitenanalyse ohne aufwendige Feldtests

Ein weiteres Einsatzgebiet für den QPER ist die Reichweitenanalyse. Für ein beliebiges Fahrzeugmodell lassen sich unterschiedliche Einbaupositionen der Funkantennen unter verschiedenen Verkehrsbedingungen testen und so die Vor- und Nachteile der diversen Verbaumöglichkeiten abwägen – ohne Testfahrten auf der Straße. Allerdings sind für den Test zwei Funkmodule (ein Sender und ein Empfänger) erforderlich, die über den QPER miteinander verbunden sind. Sowohl die sich aus der Einbauposition ergebende Antennencharakteristik als auch die Verkehrs- und Sichtverbindungssituation (**Bild 5**) werden in der Steuersoftware simuliert und führen zur Konstruktion von realistischen und reproduzierbaren Funkbedingungen.

Durch Bestimmung der Paketverlustrate auf Empfängerseite sind eindeutige Aussagen darüber möglich, unter welchen Umständen die Verbindung als gesichert oder als gefährdet betrachtet werden kann.

QPER in Kombination mit Lastgenerator

Die Zahl der tatsächlich anschließbaren Funkmodule an den QPER ist auf einige wenige beschränkt. Für die Simulation eines hohen Verkehrsaufkommens mit wenigen Sendern ist es notwendig, den Carrier-Sensing-Mechanismus des Funkmoduls zu unterdrücken. Das ermöglicht der Lastgenerator, eine spezifische Vorrichtung aus Zirkulatoren. Dadurch können zu beliebigen Zeiten Informationen gesendet werden, da andere Sendeversuche nicht registriert sind. Die Signalunterdrückung liegt hier bei circa 80 dB. Die Kombination aus Lastgenerator und QPER ermöglicht es daher, verschiedene Auswirkungen von Last auf einzelne angeschlossene Teilnehmer abzubilden. Einige Devices under Test (DUTs) nehmen eine hohe Funklast wahr, für andere ist der Lastgenerator nicht sichtbar und sorgen für eine hohe Anzahl an Hidden-Nodes (**Bild 6**). Die Folge: Unerwünschte Paketkollisionen.

Der Algorithmus des Congestion Simulators umfasst eine Vielzahl von Parametern und bezieht unter anderem eine unterschiedliche Anzahl an Fahrzeugen, verschiedene Positionen der Verkehrsteilnehmer und die Bewe-

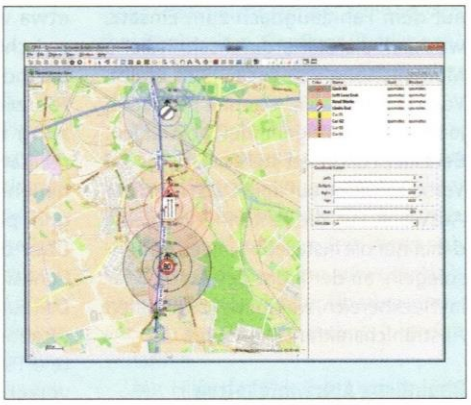


Bild 7. Die Software des Feldstärkeemulators bildet Verkehrssituationen ab und berechnet hieraus unter Berücksichtigung von Wellenausbreitungsmodellen und Antennencharakteristika die Signalstärke zwischen den Verkehrsteilnehmern. (Quelle: Qosmotec)

gungsgeschwindigkeiten in die Berechnungen mit ein (**Bild 7**).

Die Autos erzeugen zudem eine Kanallast, indem sie unterschiedlich große Nachrichten mit einer mittleren Frequenz, zwischen ein bis zehn Datenpaketen pro Sekunde, versenden (**Bild 8**). Da die Berechnungen von Qosmotec zusätzlich auf stochastischen Modellen aufbauen, sind die Ergebnisse zur Funkkanallast sehr realitätsnah.

Hohe Paketfehlerrate bei Hidden-Nodes

Durch ausgiebige Tests mit dem Lastgenerator (**Bild 9**) wurde analysiert, dass unter nachfolgenden Umständen bereits 25 Fahrzeuge den Kanal fast zur Hälfte auslasten:

- ➜ Große Nachrichten
- ➜ Hohe Sendeintensität
- ➜ Auf engem Raum

25 Fahrzeuge lasten im Mittel den Funkkanal zwar nur zu etwa acht bis zehn Prozent aus, bei 100 Fahrzeugen ergibt sich im Schnitt allerdings bereits ein Wert von circa 35 Prozent – und bei hoher Sendeintensität sind schnell 85 Prozent erreicht.

Die durchgeführten Tests lieferten außerdem Zahlen zum Einfluss von Hidden-Nodes auf die Paketfehlerrate. Eine relativ geringe Anzahl an Teilnehmern, die eine Kanallast von unter 10 Prozent erzeugen, kann bereits eine signifikante Anzahl an Paketkollisionen verursachen. Die durchschnittliche Rate an verlorenen Paketen lag in den Simulationen bei 10 bis 15 Prozent. Sind hingegen alle lasterzeugenden Teilnehmer für den Sender sichtbar, können, bei einer Kanallast von bis zu 60 Prozent, Paketfehlerraten nahezu vollständig vermieden werden – der Carrier-Sensing-Mechanismus arbeitet ungestört. Erst bei höherer Beanspruchung des Kanals gehen circa drei bis fünf Prozent der gesendeten Pakete verloren.

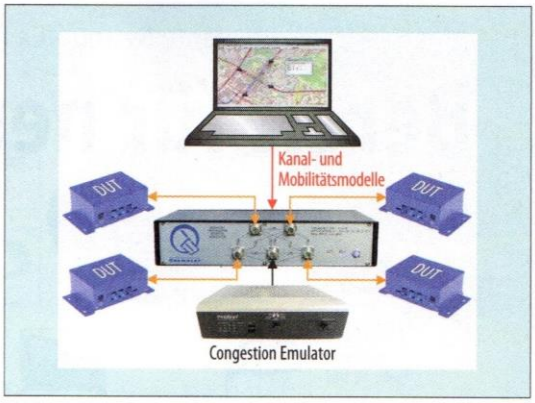


Bild 8. Der Lastgenerator (Congestion Simulator) wird an den QPER angeschlossen. Der Congestor sendet ungehindert Datenpakete und erzeugt so eine hohe Kanallast. Die Folge sind Paketfehler in der Übertragung. (Quelle: Qosmotec)

Simulation aller Validierungsszenarien

Der Lastgenerator allein ist bereits in der Lage, einen Großteil der im Verkehr möglichen statischen Szenarien, wie beispielsweise Staus oder Situationen auf Parkplätzen, realitätsnah abzubilden. Sollen zusätzlich dynamische Situationen, etwa auf Landstraßen, Autobahnen oder im fließenden Stadtverkehr, nachgebildet werden, ist eine Kombination mit dem QPER und der dafür entwickelten Software erforderlich.

Damit können alle vier Validierungsszenarien für Lasttests, die vom ETSI entwickelt wurden, ohne großen Aufwand nachgestellt werden. Hierbei wird zwischen statischen Systemen – Parkplatz und dichter Stadtverkehr – sowie dynamischen Systemen – Landstraßen, Autobahnen und urbaner Mobilität – unterschieden. Die städtischen Szenarien werden zusätzlich mit der Hidden-Node-Problematik konfrontiert.

Der Prüfstandsaufbau ermöglicht in einem Zeitraum von sechs bis acht Wochen die Durchführung von Verkehrsszenarien, die bei realen Feldtests zwei bis drei Jahre erfordern würden. *ap*

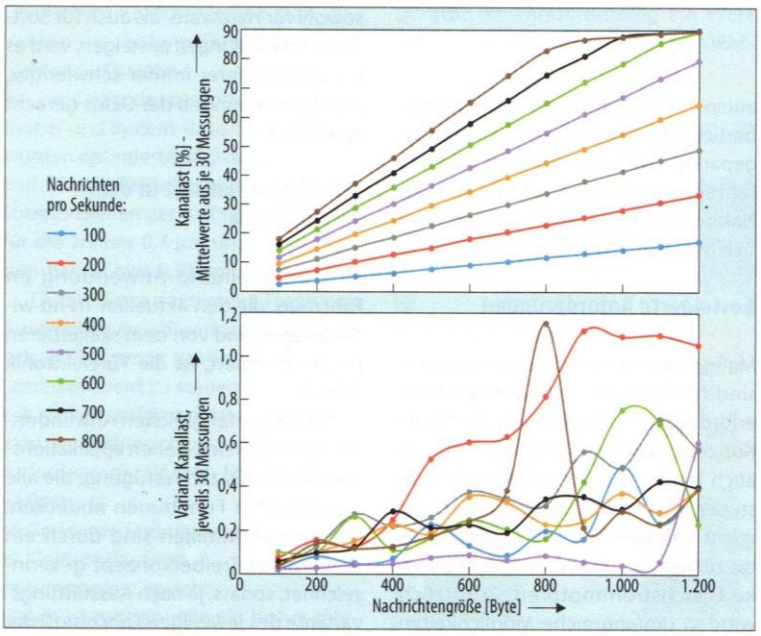
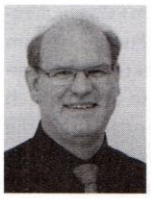


Bild 9. Messungen zeigen, dass die Kanallast im Mittel mit wachsender Anzahl an Nachrichten und zunehmender Nachrichtengröße linear ansteigt (oben). Je nach gewählter Nachrichtengröße ergeben sich jedoch unterschiedlich starke Abweichungen in den Einzelmessungen, was die Realitätsnähe der Modellierung widerspiegelt (unten). (Quelle: Qosmotec)

Mark Hakim
ist Diplom-Mathematiker und Geschäftsführer bei Qosmotec. Er ist verantwortlich für die Spezifikation und die Vermarktung neuer Produkte und Verfahren zur Validierung von Mobilfunktechniken.
hak@qosmotec.com



Dieter Kreuer
ist promovierter Informatiker und geschäftsführender Gesellschafter bei Qosmotec. Er ist für Produktmanagement und Software-Entwicklung verantwortlich.
dkr@qosmotec.com