223/2020

NEUES

ROHDE&SCHWARZ
Make ideas real

MESSEN IN DER CLOUD

Aufwendige Messungen ohne direkten Gerätezugang? Nicht nur in Homeoffice-Zeiten eine verlockende Aussicht für Ingenieure. Eine Messtechnik-Cloud macht es möglich.

Künstliche Intelligenz bei der Qualitätsbewertung von Mobilfunknetzen

Neuer Algorithmus zur Jitter-Zerlegung

Sichere WLAN-Ausstattung für Schulen

IMPRESSUM

Herausgeber:
Rohde&Schwarz GmbH&Co. KG
www.rohde-schwarz.com
Mühldorfstraße 15 · 81671 München
Postfach 801469 · 81614 München
Support-Center: Tel. +49 89 4129 12345

Anfragen zu Produkten: **customersupport@rohde-schwarz.com**
E-Mails an die Redaktion: **newsmagazine@rohde-schwarz.com**

Chefredaktion: Volker Bach, Rohde&Schwarz
Redaktion und Layout: Redaktion Drexl&Knobloch GmbH (München)
Fotos: Rohde&Schwarz
Printed in Germany (G. Peschke Druckerei GmbH, Parsdorf bei München)

Auflage ca. 45000 (deutsch, englisch und japanisch)

60. Jahrgang
Ausgabe 1/2020, Nr. 223

Erscheinungsweise: zweimal pro Jahr
ISSN 0548-3093
Bezug kostenlos über die Rohde&Schwarz-Vertretungen
Nachdruck mit Quellenangabe und gegen Beleg gern gestattet.

PD 3609.2930.71

R&S® ist eingetragenes Warenzeichen der Rohde&Schwarz GmbH&Co. KG. Eigennamen sind Warenzeichen der jeweiligen Eigentümer. CDMA2000® ist eingetragenes Warenzeichen der Telecommunications Industry Association (TIA-USA). Die Bluetooth®-Wortmarke und -Logos sind eingetragene Warenzeichen und Eigentum von Bluetooth SIG, Inc., ihre Verwendung ist für Rohde&Schwarz lizenziert. Alle anderen Warenzeichen sind Eigentum der jeweiligen Besitzer.

TITELTHEMA

Zu den Berufsgruppen, die ihrer Arbeit in Corona-Zeiten oder auch sonst nicht im heimischen Wohnzimmer nachgehen können, gehört der Hardware-Ingenieur. Ohne die technischen Ressourcen eines Elektroniklabors sind seinem Tatendrang enge Grenzen gesetzt. Speziell der HF-Entwickler braucht häufig Zugriff auf eine Reihe von Messgeräten, die aus einem gemeinschaftlich genutzten Labor nicht eben mal für länger entliehen werden können. Wie praktisch wäre da die Möglichkeit, Messungen durchzuführen, ohne ein reales Messgerät auf dem Tisch stehen zu haben. Genau dieses Szenario bildet Rohde & Schwarz mit einer neuen Cloud-Lösung ab. R&S®Cloud4Testing erlaubt die detaillierte Analyse von Messdaten aus der Ferne. Nach dem Hochladen kann der Anwender mächtige Werkzeuge nutzen, um seine Mobilfunk-, Radar- oder sonstigen Signaldaten auf interessierende Parameter hin zu untersuchen. Sollen auch die Messdaten fernbedient generiert werden, kann Rohde & Schwarz bei der Implementierung einer eigenen Cloud behilflich sein, die den Fernzugriff auf Messgeräte des Kunden ermöglicht. Die Nutzungen einer solchen Cloud reichen vom kollaborativen Arbeiten an Entwicklungsprojekten über Schulungen und Demonstrationen bis zur Auslastungsoptimierung von Ressourcen oder dem Anbieten eigener messtechnischer Cloud-Dienste für Dritte. Näheres beschreibt der Artikel auf Seite 28.

ÜBERBLICK
NEUES 223/2020

TITELTHEMA

Messen in der Cloud

Fernzugriff auf Messgeräte
Das Messlabor ins Homeoffice holen **28**

WIRELESS

6G im Blick
Kanalmessungen für die zukünftige Mobilfunkkommunikation **12**

KI sieht etwas, was du nicht siehst!
Methoden der künstlichen Intelligenz helfen bei der Qualitätsbewertung von Mobilfunknetzen **16**

AUTOMOTIVE

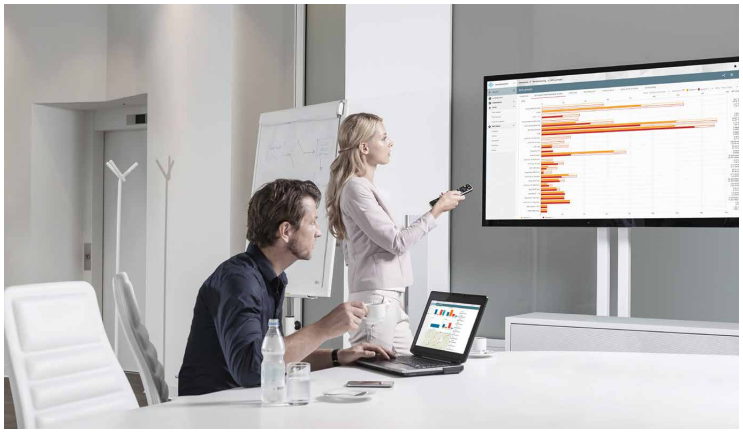
Sicher durchs Gedränge
Fahrzeuge sehen die Welt durch Sensoren. Ein neues Testsystem schärft ihren Blick..... **20**

Bandbreitenhungrig
FMCW-Radar: einfaches Prinzip, fordernde Messtechnik..... **25**

Ein kompaktes Testsystem aus geschirmter Messkammer und Radarzielsimulator kalibriert selbst komplexe Automotive-Radar-Sensoren neuester Generation in weniger als einer Minute (Seite 20).

Vier Best-Practice-Beispiele von Kunden der LANCOM Systems zeigen, welche Ansätze sich für ein Schul-WLAN bewährt haben (Seite 50).

Zur Qualitätsbewertung von Mobilfunknetzen müssen unzählige Daten ausgewertet werden. Methoden der künstlichen Intelligenz helfen dabei (Seite 16).



Auch im Zeitalter von Glasfaser-, Satelliten- und Mobilfunkverbindungen gibt es Bedarf für Kurzwellenfunk. Neue Antennen und Anpassgeräte machen den Aufbau leistungsfähiger Anlagen leichter denn je (Seite 52).

ALLGEMEINE MESSTECHNIK

Verwandlungskünstler
Economy-Vektorsignalgenerator für vielfältige Aufgaben **32**

Quellenpflege
Test von Batteriemanagementsystemen mit den Netzgeräten R&S®NGL200 und R&S®NGM200 ..... **34**

Effizienzschub für jedes Labor
DC-Netzgeräteserie R&S®NGP800 versorgt bis zu vier Prüfobjekte gleichzeitig **36**

Es lebe der König!
Ultrabreitbandige Signalanalyse **38**

Vektorielle Mischermessungen im Terahertz-Bereich
Netzwerkanalysator R&S®ZNA charakterisiert Frequenzumsetzer und Mischer **40**

Jitter Splitter
Umfassende Jitter-Analyse auf Knopfdruck **42**

Schneller Schalten
Externe Trigger steuern Schaltvorgänge in der Schalt- und Steuerplattform R&S®OSP **48**

NETZWERKE

Best Practice: Wie Schulen ihr WLAN erfolgreich managen
Ein Blick in die Praxis **50**

SICHERE KOMMUNIKATION

Langstrecke braucht Kurzwelle
Neue Antennen und Anpassgeräte für den Kurzwellenfunk **52**

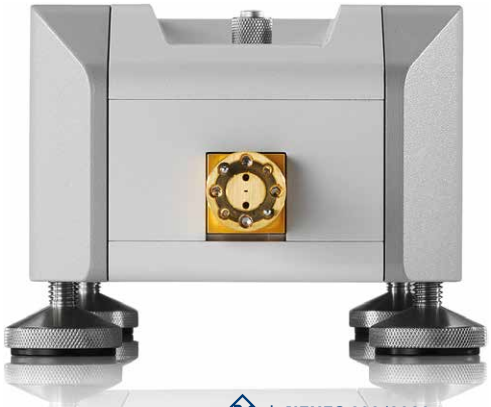
WEITERE RUBRIKEN

Impressum **2**

NEUES kompakt **6**

Eine neue DC-Netzgeräteserie für den vielseitigen Einsatz in Forschung und Entwicklung, im Prüf- und Produktionsumfeld, in der Qualitätssicherung, im Service sowie in der Ausbildung (Seite 36).

Mit einem neuen Messverfahren charakterisiert der Netzwerkanalysator R&S®ZNA erstmals Frequenzumsetzer und Mischer bis in den Terahertz-Bereich vollständig vektoriell (Seite 40).



NEUES KOMPAKT

DIGITALER KOMPAKTEMPFÄNGER FÜR DIE FUNKERFASSUNG

Eine der vielen Einsatzmöglichkeiten des R&S®EM200 ist der Master-Slave-Betrieb zusammen mit einem schnellen Suchempfänger wie dem R&S®ESME.

Regulierungsbehörden wollen zu jeder Zeit wissen, was im Spektrum los ist, ob Störungen auftreten und jeder Sender die Lizenzbedingungen einhält. Die immer intensivere Nutzung aller infrage kommenden Frequenzen durch eine Vielzahl von Funktechnologien erschwert die Aufgabe zunehmend. Der neue digitale Kompaktempfänger R&S®EM200 hilft dabei, die Übersicht zu behalten – als Stand-alone-Gerät für den stationären oder (fahrzeug-) mobilen Einsatz, vor allem aber als Baustein großer Erfassungs- und Peilsysteme. Das nur ½19" breite Gerät scannt mit bis zu 40 GHz/s den Bereich zwischen 8 kHz und 8 GHz. Innerhalb der 40-MHz-Echtzeitbandbreite entgeht dem Empfänger kein spektrales Vorkommnis. Dieser Fokusbereich, in dem auch Zeitbereichsanalysen möglich sind, kann über die optionale 10-Gbit-Schnittstelle als I/Q-Datenstrom ausgegeben, auf einem angeschlossenen PC mit der Software R&S®CA100 online analysiert oder für eine spätere Auswertung aufgezeichnet werden, etwa mit dem I/Q-Rekorder R&S®DWR100.

Eine typische Einsatzart des R&S®EM200 ist der Master-Slave-Betrieb zusammen mit einem schnellen Breitband-Suchempfänger wie dem R&S®ESME (Bild). Dieser kann, etwa bei Detektion einer interessierenden Aussendung, den betreffenden Frequenzbereich einem angeschlossenen R&S®EM200 zur permanenten Überwachung und genaueren Analyse übergeben.

Wie jeder Funkerfassungsempfänger von Rohde&Schwarz lässt sich auch der R&S®EM200 für Peilaufgaben einsetzen, sei es als Einkanalpeiler in Verbindung mit einer Fahrzeugdachantenne oder als Komponente in einem großflächigen Funkortungssystem. Das kann nach dem Angle-of-Arrival-Verfahren (AoA), der Time-Difference-of-Arrival-Methode (TDoA) oder einem Hybrid-Ansatz arbeiten.

Entsprechend seiner Bestimmung als Systemgerät ist der R&S®EM200 für die einfache Integration in Empfangsnetzwerke vorbereitet, die etwa über die Softwaresuiten R&S®RAMON oder R&S®ARGUS verwaltet werden. Exakte Zeitstempel zu jedem Datenpaket erleichtern die Korrelation mit den Daten anderer Empfänger im Netz.

Der R&S®EM200 kommt mit einer komfortablen Bedien- und Analysesoftware für den Stand-alone-Betrieb. In erster Linie wird man ihn aber fernbedient in großen Systemen einsetzen.

PRODUKTIONS-TESTLÖSUNG FÜR 5G-FR2-PRODUKTE

Eine der Neuerungen des 5G-Mobilfunks ist die Nutzung von Millimeterwellen. Der entsprechende 5G-Frequenzbereich 2 (FR2) umfasst gemäß 3GPP-Standard aktuell zwei Blöcke zwischen 26,5 GHz und 29,5 GHz bzw. 37 GHz und 43,5 GHz. Welche Bänder in einem Land konkret zum Einsatz kommen, entscheiden die nationalen Regulierer. Anders als im Sub-6-GHz-Frequenzbereich (FR1), in dem kabelgebundene Tests möglich sind, werden für die Untersuchung von FR2-Produkten OTA-Testeinrichtungen benötigt. Für Non-Signaling-Tests können Entwickler und Hersteller dafür jetzt auf das Testsystem R&S®CMPQ zurückgreifen. Es besteht aus der Schirmkammer R&S®CMQ200, dem Tester R&S®CMP200 und einem Frequenzkonverter (remote radio head) R&S®CMPHEAD30. Haupteinsatzgebiet ist die Massenproduktion von 5G-Produkten, aber natürlich sind auch vorgelagerte Messungen, etwa im Entwicklungslabor, damit möglich, zumal das System sehr flexibel konfiguriert werden kann. Der R&S®CMP200, gesteuert von der produktübergreifenden

5G-Testsoftware R&S®CMsquares, generiert und analysiert standardkonforme Signale bis 20 GHz. Für höhere Frequenzen übernehmen die Radio Heads (24,25 GHz bis 31,8 GHz bzw. 37 GHz bis 43,5 GHz), von denen sich bis zu drei parallel betreiben lassen. Ein R&S®CMP200 kann somit mehrere Schirmkammern simultan abfertigen – eine willkommene Eigenschaft in der Produktion. Die Kammern sind übrigens nicht auf den 5G-Einsatz beschränkt, sondern für alle Technologien bis 77 GHz geeignet.

Das Testsystem R&S®CMPQ besteht aus Schirmkammer R&S®CMQ200, Tester R&S®CMP200 und Frequenzkonverter R&S®CMPHEAD30. Haupteinsatzgebiet ist die Massenproduktion von 5G-Produkten, aber auch Messungen im Entwicklungslabor sind damit durchführbar.

TESTAUTOMAT FÜR AUTOMOTIVE-RADOME

Radarsensoren sind als Datenlieferanten für Fahrerassistenzsysteme längst etabliert und werden in Zukunft noch wichtiger, wenn die nächsten Entwicklungsstufen hin zur Fahrzeugautonomie anstehen (siehe auch den Beitrag auf Seite 20). Da falsche Ortungsdaten sicherheitskritisch sein können, müssen sowohl die Sensoren selbst als auch ihre Abdeckungen (Radome) definierte Performance-Werte einhalten. Ob dem so ist, lässt sich nur durch Tests herausfinden. Für die Kontrolle der Radome hat Rohde&Schwarz mit dem R&S®QAR den ersten Tester am Markt entwickelt, der diese Prüflinge schnell und vollflächig testen kann. Er ist allerdings in erster Linie für Labortests und entwicklungsbegleitende Messungen gedacht. Um ihn für Volumentests am Fließband einsetzen zu können, hat die Firma Löhnert Elektronik einen Testautomaten um ihn herum entwickelt.

Der End-of-Line-Prüfstand der Firma Löhnert Elektronik nutzt den Tester R&S®QAR, um Radarabdeckungen am Auto – typischerweise das Markenemblem – auf ihre Verwendbarkeit zu untersuchen.

Die Rundtaktmaschine enthält verschiedene typspezifische Aufnahmen für die Prüflinge (Teilenester) und zwei Prüfplätze zur Messung von Transmission und Reflexion der Radome. Angesteuert wird sie über die PC-basierte Mess- und Automatisierungssoftware Löhnert instant scripting RunTime (LisRT) in Verbindung mit einer SPS von Siemens. Die Radome können manuell oder per Roboter in die Prüfaufnahmen gelegt werden. Das System identifiziert sie dann per Barcode oder Data Matrix Code (DMC).

Die Anpassung des Automaten an geänderte Betriebsbedingungen, etwa neue Radom-Typen, ist ohne großen Zeitaufwand direkt in der Linie möglich. Dazu tauscht Löhnert Elektronik nur die Teilenester aus und passt die Auswertemaske in der Software an.

Mit dem Automaten sind äußerst zuverlässige und schnelle End-of-Line-Messungen an Automotive-Radomen bis etwa 200 mm Durchmesser möglich. Details zu der Testlösung unter www.loehnert-elektronik.de bzw. www.rohde-schwarz.com/qar.

USA VERSCHÄRFEN ANFORDERUNGEN AN DIE POSITIONSGENAUIGKEIT VON WARN- UND NOTRUFDIENSTEN

911-Notrufsystem wird um Höheninformation erweitert

Die USA nehmen schon länger eine Vorreiterrolle bei der Umsetzung ortsgenauer Notrufdienste ein. So musste ein per Mobilfunk getätigter Anruf über die landesweite Notrufnummer 911 schon bisher GPS-genaue Ortsinformationen mitliefern, um Rettungsdienst und Polizei zielgenau zum Ort des Geschehens zu führen. Ende letzten Jahres hat die US-Regulierungsbehörde FCC die Anforderungen weiter verschärft. Demnach soll das 911-System bis April 2021 in die Lage versetzt werden, zusätzlich zu den 2D-Koordinaten auch eine Höheninformation zu übermitteln. Damit könnte man bei Notrufen aus Hochhäusern heraus schnell das betreffende Stockwerk identifizieren. Damit das zuverlässig gelingt, fordert das FCC-Papier (FCC-CIRC1911-02) eine Höhengenauigkeit von 3 m ein. Aus den GPS-Daten lässt sich diese Information nicht gewinnen. Die FCC-Vorgabe ist technologieneutral formuliert, doch es zeichnet sich ab, dass man auf den barometrischen Drucksensor im Smartphone zurückgreifen wird. Zwischen Luftdruck und Höhe besteht ein funktionaler Zusammenhang, der allerdings außerdem von der Temperatur, der Luftfeuchte und der Wetterlage (Hoch oder Tief) vor Ort abhängt. Temperatur- und Feuchtesensoren werden in den Endgeräten derzeit aber nicht verbaut, und auch Drucksensoren findet man nur in Oberklassemodellen. Das Ziel ist also ambitioniert und nur über Umwege erreichbar.

Aktuelle Informationen über Temperatur, Feuchtigkeit und Referenzdruck am Boden wird man von externen Quellen beziehen müssen. Fein gerasterte Messnetze sind in den US-Großstädten vorhanden. Das Smartphone wird sich die für seinen Standort gültigen Werte von einem Server holen und so seine Höhe ermitteln können – vorausgesetzt, sein Drucksensor ist kalibriert. Hierbei kann eine neue Rohde&Schwarz-Lösung weiterhelfen. Im Zusammenspiel mit einem Mobilfunktester R&S®CMW500 und einem optionalen GNSS-Simulator R&S®SMBV100B dient eine kleine Druckkammer dazu, das Testobjekt definierten Drücken auszusetzen. Der Test bringt ans Licht, ob ein Smartphone die eingestellten Werte mit der nötigen Genauigkeit (ca. 35 Pascal) messen und spezifikationsgemäß an die Notrufzentrale (PSAP) durchgeben kann.

Zielgenauere Adressierung öffentlicher Warnmeldungen

Das seit 2012 in den USA betriebene öffentliche Warnsystem WEA (Wireless Emergency Alerts) soll in Zukunft zielgenauere Alarmierungen ermöglichen. WEA nutzt die Mobilfunknetze, um die Bevölkerung per Rundruf auf drohende Gefahren für die öffentliche Sicherheit, etwa einen heranziehenden Hurrikan, hinzuweisen. Auch dringende Botschaften des Präsidenten und Personensuchmeldungen lassen sich darüber verbreiten. Ende 2019 hat die Federal Communications Commission (FCC) die Spezifikationen für die nächste Entwicklungsstufe des Systems, WEA 3.0, veröffentlicht. Demnach muss eine Meldung 100 % eines vorgegebenen Zielgebiets abdecken, das entweder über Mittelpunkt und Radius oder einen Polygonzug vorgegeben wird. Anspruchsvoll wird das Ganze durch die zusätzliche Forderung, dass die Grenze des Gebiets bis auf eine Zehntelmeile Genauigkeit einzuhalten ist. Das soll eine unnötige Beunruhigung nicht betroffener Bürger vermeiden.

Die US-Netzbetreiber begegnen den Vorgaben mit individuellen Lösungen, die in den Teilnehmergeräten für ihre Netze zukünftig implementiert sein müssen. Verifizieren lässt sich das mit einer Testlösung aus den Komponenten R&S®CMW500, R&S®SMBV100B und der Software R&S®CONTEST. Aktuell werden die Testpläne der Provider Verizon, AT&T, TMO und US Cellular unterstützt.

Für den Themenkomplex Location Based Services bietet Rohde&Schwarz eine Vielzahl von Testlösungen unter dem Produktnamen R&S®TS-LBS an, aus denen der Kunde je nach Applikation wählen kann. Für die hier beschriebenen Testfälle wird maximal eine Kombination aus Mobilfunktester R&S®CMW500, GNSS-Simulator R&S®SMBV100B, Druckkammer und Software R&S®CONTEST benötigt.

ERSTE WI-FI 6 ACCESS POINTS

Mit den Modellen LX-6400, LX-6402 und LW-600 bringt die Rohde&Schwarz-Tochter LANCOM Systems ihre ersten Access Points nach dem Standard Wi-Fi 6 (IEEE 802.11ax) auf den Markt. Deutlich reduzierte Latenzzeiten und bis zu 25 % mehr Durchsatz pro Client machen sie zur zukunftssicheren Basis für Hochleistungs-WLANs und Netze mit hoher Endgeräte-Dichte. Während die LX-640x-Serie auf den Einsatz an Orten mit hohem Nutzeraufkommen wie Schulen, Universitäten, Einkaufszentren, Krankenhäusern oder Arenen abzielt, adressiert der LW-600 Szenarien mit einer kleinen bis mittleren Anzahl an Nutzern, etwa in der Hotellerie, kleinen Büros oder Praxen.

Alle drei Modelle sind ab sofort lieferbar. Bis zum Jahresende wird das Portfolio um weitere Modelle für die Indoor- und Outdoor-Nutzung ausgebaut.

LANCOM LX-640x: für hohes Nutzeraufkommen

Die Access Points verfügen über je zwei IEEE 802.11ax-Funkmodule für den Parallelbetrieb im 2,4- und 5-GHz-Band und bieten 4×4 Multi-User MIMO (MU-MIMO) im Up- und Downlink für die gleichzeitige Ansteuerung einer hohen Zahl von Clients. Die Geräte beherrschen Kanalbandbreiten von 20, 40 und 80 MHz (mit 4 Streams) sowie 160 MHz (mit 2 Streams). Endgeräte mit zwei Antennen, die mit 160 MHz breiten Kanälen umgehen können, profitieren von Datenraten bis zu 2400 Mbit/s im 5-GHz-Band. Dank der parallel nutzbaren 1150 Mbit/s im 2,4-GHz-Band (unterstützte Kanalbandbreiten 20 und 40 MHz mit 4 Streams) ergibt sich ein Gesamtdurchsatz von bis zu 3550 Mbit/s.

Die Modelle unterscheiden sich im Antennendesign. Der LX-6400 funkt über acht dezent ins Gehäuse integrierte 180-Grad-Sektorantennen, während der LX-6402 vier externe Dual-Band-Rundstrahlantennen nutzt. Die lassen sich nach Bedarf gegen Sektorantennen austauschen. Beide Modelle verfügen über einen 2,5-Gigabit-Ethernet-PoE (IEEE 802.3at bis 30 W) sowie einen Gigabit-Ethernet-Port.

Für State-of-the-Art-Sicherheit sorgen WPA3-Personal und IEEE 802.1X (WPA3-Enterprise), wobei auch die Vorgänger-Varianten WPA2-Personal und WPA2-Enterprise weiterhin konfigurierbar sind. Zudem werden Virtualisierungsfunktionen wie Multi-SSID und VLAN unterstützt. Die Stromversorgung erfolgt wahlweise über PoE (IEEE 802.3at) oder ein Netzteil.

Wie alle aktuellen Access Points von LANCOM bieten auch die neuen Wi-Fi-6-Modelle größtmögliche Flexibilität im Betrieb: Sie können autark per Web-GUI konfiguriert oder zentral über einen WLAN-Controller bzw. per Zero-Touch-Deployment über die LANCOM Management Cloud verwaltet werden.

Beide LX-640x-Modelle kosten 699 Euro (zzgl. MwSt.).

LANCOM LW-600: professioneller Einstieg in die Wi-Fi-6-Technik

Der LANCOM LW-600 kann gleichzeitig Clients im 2,4-GHz- und im 5-GHz-Band versorgen und erzielt dabei eine Summen-Durchsatzrate von bis zu 1775 Mbit/s (1200 Mbit/s bei 5 GHz plus 575 Mbit/s bei 2,4 GHz).

Beim Stand-alone-Betrieb bietet die intuitiv zu bedienende Weboberfläche beste Übersicht für ein umfassendes Management und Monitoring. Dashboards zeigen den aktuellen WLAN-Status an und ermöglichen die einfache Inbetriebnahme und Pflege des Netzes. Für Netze mit mehreren Access Points empfiehlt sich die Verwaltung über einen WLAN-Controller oder die LANCOM Management Cloud. Letztere repräsentiert den letzten Stand des Software-defined Networking und entlastet den Betreiber völlig von der Technik. Einrichtung und Wartung des Netzes erfolgen dann automatisch übers Internet.

Der LANCOM LX-6402 funkt über vier externe Rundstrahlantennen. Wer es dezenter mag, greift zum LX-6400 mit integrierten Sektorantennen.

Durch sein Rauchmelderdesign lässt sich der LW-600 unauffällig an Decken oder Wänden anbringen.

Der LW-600 kann über Power over Ethernet an jedem PoE-gespeisten Ethernet-Port betrieben werden. Alternativ erfolgt die Versorgung über das mitgelieferte Netzteil. Sicherheitstechnisch ist das Gerät, das zu einem Nettolistenpreis von 399 Euro gehandelt wird, mit WPA3 (Personal oder Enterprise) auf dem letzten Stand.

ATC NEWS

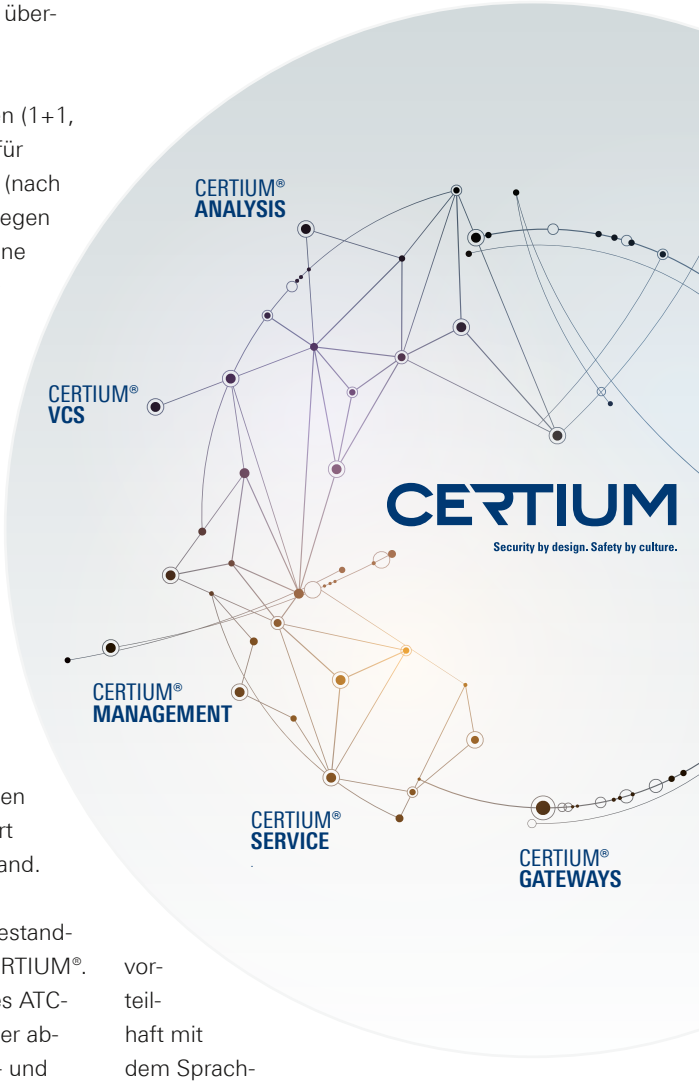
NEUE FUNKGERÄTEGENERATION ERGÄNZT ERFOLGSBAUREIHE

Die ATC-Funkgeräte der R&S®Series 4200 haben eine beispiellose Erfolgsgeschichte geschrieben. Viele Tausend Exemplare verbinden die Fluglotsen auf Flughäfen und Flugsicherungsleitstellen in aller Welt mit den Flugzeugen. Herausragende funktechnische Eigenschaften und hohe Zuverlässigkeit waren schlagende Argumente, um Flughafenbetreiber und Air Navigation Service Provider (ANSP) von dieser Produktlinie zu überzeugen. Die neue Modellreihe R&S®Series 5200 knüpft an diese Qualitäten an – und geht in punkto Konnektivität, Servicefreundlichkeit, Betriebssicherheit und Total Cost of Ownership noch einen großen Schritt darüber hinaus.

Die Netzwerkfähigkeiten standen von Anfang an im Vordergrund. Ein R&S®Series 5200-Funkgerät dient in einem ATC-Kommunikationsnetz als Air Gateway zwischen Bodenstelle und Maschine, das sowohl die analogen Sprechverbindungen als auch die in der Zivilluftfahrt üblichen ACARS- und VDL2-Datenlinks bedienen kann. Jedes Gerät lässt sich gleichzeitig in drei unabhängige Netze der ATC-Bodeninfrastruktur einbinden, z. B. in das Haupt- und Backup-Sprachnetz sowie ein Monitoring-Netz. Hard- und Softwarearchitektur sind entsprechend den Cybersicherheitsanforderungen einer kritischen Infrastruktur gehärtet, sodass Sicherheitsprobleme in einem der verbundenen Netze geräteintern nicht auf ein anderes übergreifen können.

Die üblichen Redundanz-Strategien (1+1, m+n) sind elegant umsetzbar. Dafür sorgt die virtuelle IP-Adressierung (nach IPv4 oder IPv6); muss ein Gerät wegen einer Störung seine Aufgabe an eine Backup-Einheit übergeben, so geschieht das verzugslos ohne Einfluss auf das Netz.

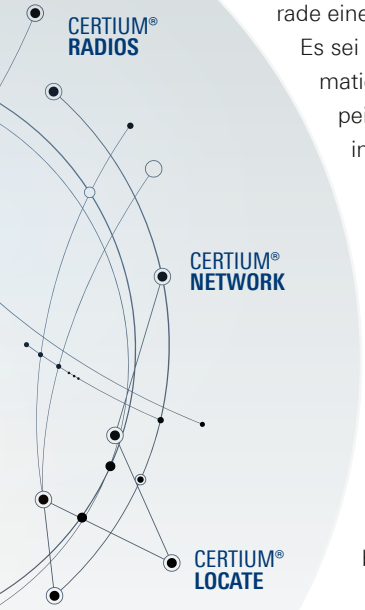
Ein installiertes Funkgerät muss in der Regel nicht mehr angefasst werden. Dafür sorgen sowohl die Autokalibrierung des Oszillators wie auch die Fernwartungsmöglichkeiten inklusive Software-Update übers Netz. Sollte dennoch ein Gerätetausch erforderlich werden, steckt der Servicetechniker einfach die leicht entnehmbare Radio Identity Card des zu ersetzenden Geräts in das neue und konfiguriert dieses damit ohne weiteren Aufwand.



Die R&S®Series 5200 ist ein Kernbestandteil des ATC-Lösungsportfolios CERTIUM®. CERTIUM® steht für ein komplettes ATC-Ökosystem aus optimal aufeinander abgestimmten Hardware-, Software- und Dienstleistungskomponenten. Entscheidet sich ein ANSP für eine Funkausstattung auf R&S®Series 5200-Basis, ergänzt er sie vorteilhaft mit dem Sprachkommunikationssystem CERTIUM® VCS und der Softwareumgebung CERTIUM® MANAGEMENT.

Die R&S®Series 5200-Funkgeräte (links der Transceiver, rechts der Receiver) verbinden als „Air Gateways" die Flugzeuge mit den ATC-Kommunikationsnetzen am Boden. R&S®Series 5200 gehört zur ATC-Suite CERTIUM®, die alle Kommunikations-Komponenten umfasst, die ein Air Navigation Service Provider zur Erfüllung seiner Aufgaben braucht.

HUNGAROCONTROL ERHÖHT FLUGSICHERHEIT MIT FUNKPEILERN VON ROHDE&SCHWARZ



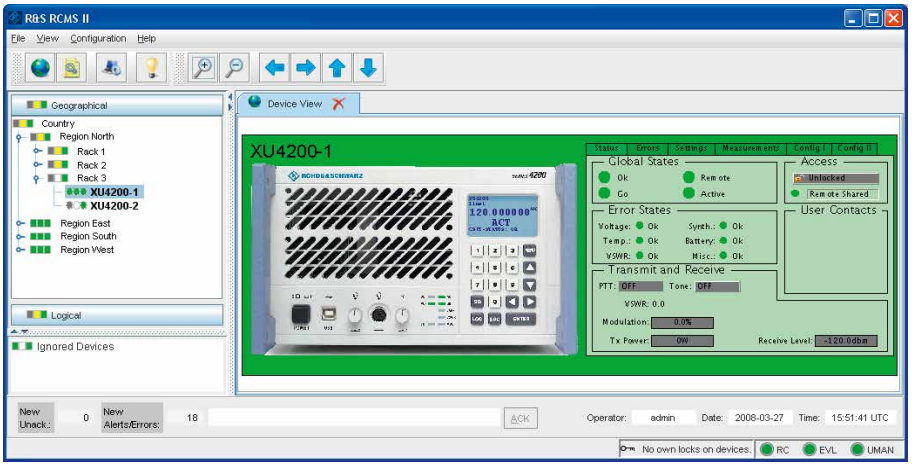
Fluglotsen haben an ihrem Radarschirm zwar einen kompletten Überblick über die Flugbewegungen in ihrem Luftraum, aber keine optische Rückmeldung darüber, welche Maschine gerade einen Funkruf absetzt. Es sei denn, diese Information wird von Funkpeilern zugeliefert und ins Radarbild eingeblendet. Das verhindert Verwechslungen und beugt Missverständnissen vor – besonders dann, wenn der Luftraum voll ist und unzählige Symbole den Radarschirm füllen. Aber auch bei sich ähnelnden Rufzeichen sorgen Peiler für Eindeutigkeit und Klarheit. Überzeugt von diesem Extra an Sicherheit, investiert auch der ungarische Air Navigation Service Provider HungaroControl in ein Funkpeilnetz und beschafft CERTIUM® LOCATE, eine Ortungslösung mit vernetzten ATC-Peilern.

Durch Funkpeilung lässt sich ein rufendes Flugzeug identifizieren und im Radarbild markieren.

HungaroControl betreut den ungarischen Luftraum sowie im Auftrag der NATO auch den oberen kosovarischen. Und ist mit rund einer dreiviertel Million zu überwachenden Flugbewegungen pro Jahr so gut ausgelastet, dass man gern auf jede technische Hilfe zurückgreift, die Entlastung verspricht. An sieben Standorten werden daher Peiler vom Typ R&S®DF-ATC-S aufgestellt und über einen ebenfalls von Rohde&Schwarz gelieferten Ortungs-Server vernetzt, der aus den Peildaten Flugzeugpositionen errechnet. Die übergibt er dem Air-Traffic-Management-System MATIAS von HungaroControl, das die Informationen mit denen vom Radar und anderen Systemen zusammenführt. Das System soll Ende 2021 betriebsfertig installiert sein.

DEUTSCHE FLUGSICHERUNG KONTROLLIERT IHR NETZ MIT CERTIUM® MANAGEMENT

Die Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS), das für den deutschen Luftraum zuständige Flugsicherungsunternehmen, betreibt ein flächendeckendes Netz aus rund 100 Funkstationen mit mehr als 4000 Rohde&Schwarz-Funkgeräten für den Lotsensprechfunk. Dieser Funkgerätepark konnte schon in der Vergangenheit zentral verwaltet werden, allerdings mit eingeschränkter Funktionalität, die den gewachsenen Anforderungen der DFS nicht mehr gerecht wurde. Bei der Entscheidung für eine neue Fernsteuerungs- und Überwachungslösung war es naheliegend, CERTIUM® MANAGEMENT ins Auge zu fassen, deren Software-Kern R&S®RCMS II nicht nur die Funkgeräte und das Sprachkommunikationssystem von Rohde&Schwarz optimal integriert, sondern auch mit allen Fremdgeräten, z. B. Netzwerk-Switches, umgehen kann, die das Simple Network Management Protocol (SNMP) unterstützen. Mit dem inzwischen komplett ausgerollten Management-Tool hat die DFS ihre Systemkomponenten nun komfortabel im Griff.



Jedes Funkgerät der DFS in Deutschland – zum Beispiel ein R&S®Series 4200-Transceiver wie im Bild – lässt sich mit der Software R&S®RCMS II zentral überwachen und konfigurieren.

© Olivier Le Moal / Shutterstock.com

6G IM BLICK

Kanalmessungen für die zukünftige Mobilfunkkommunikation

Das Verständnis der Ausbreitungseigenschaften der elektromagnetischen Wellen in einem Millimeterwellen-Funkkanal ist für die Entwicklung zukünftiger Standards wie 6G von grundlegender Bedeutung. Deshalb wurde zusammen mit zwei Fraunhofer-Instituten ein Zeitbereichs-Channel-Sounder für das 300-GHz-Band entwickelt und in ersten Forschungsprojekten bereits eingesetzt.

Von 5G zu 6G

Der Aufbau flächendeckender 5G-Netze und die sukzessive Bereitstellung aller vorgesehenen Optionen in den FR1- und FR2-Frequenzbändern wird die Industrie noch auf Jahre hinaus beschäftigen. Unterdessen widmet sich die Forschung bereits den Grundlagen für die Nachfolgegeneration 6G [1] [2].

Einige der Technologiekandidaten dafür (z. B. neue Wellenformen als Alternative zu OFDM oder der Full-Duplex-Betrieb) wurden bereits für 5G diskutiert, aber nicht in den Standard übernommen. Weitere Forschungsschwerpunkte im Bereich 6G sind neue Netzwerktopologien, ultra-massive MIMO, visible light communication (VLC), Quantenkommunikation (für intrinsisch abhörsichere Kommunikation) oder die Anwendung von Machine Learning für die Netzwerksteuerung und -optimierung.

Unterwegs zum Terahertz-Spektrum

Setzt man in 5G erstmals Millimeterwellenfrequenzen mit großen Bandbreiten ein, um die für anspruchsvolle Echtzeitanwendungen wie die drahtlose Fabrikautomation nötigen Übertragungsraten zu ermöglichen, werden mit der in Umrissen erkennbaren

6G-Technologie noch einmal deutlich höhere Übertragungsraten und geringere Latenzzeiten angepeilt.

Große zusammenhängende Frequenzbereiche mit Bandbreiten von mehreren GHz findet man aber nur im Sub-THz- und THz-Bereich, also oberhalb von 100 GHz (Bild 1). Bisher waren dort schon weite Teile des D-Bands (110 GHz bis 170 GHz) für künftige Kommunikationsdienste vorgesehen. Auf der World Radio Conference (WRC-19) der ITU im letzten Jahr kamen weitere Bänder zwischen 275 GHz und 450 GHz hinzu. Fürs Erste konzentrieren sich die Forschungsarbeiten für 6G aber auf das D- und H-Band (Bild 1).

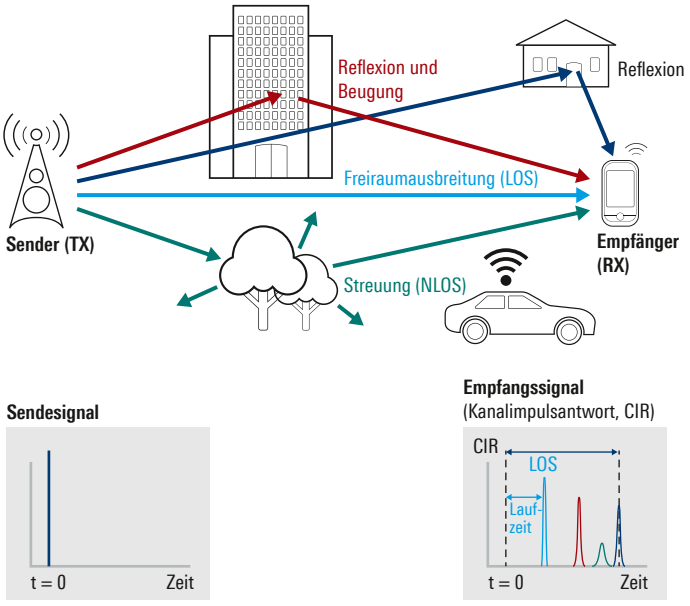


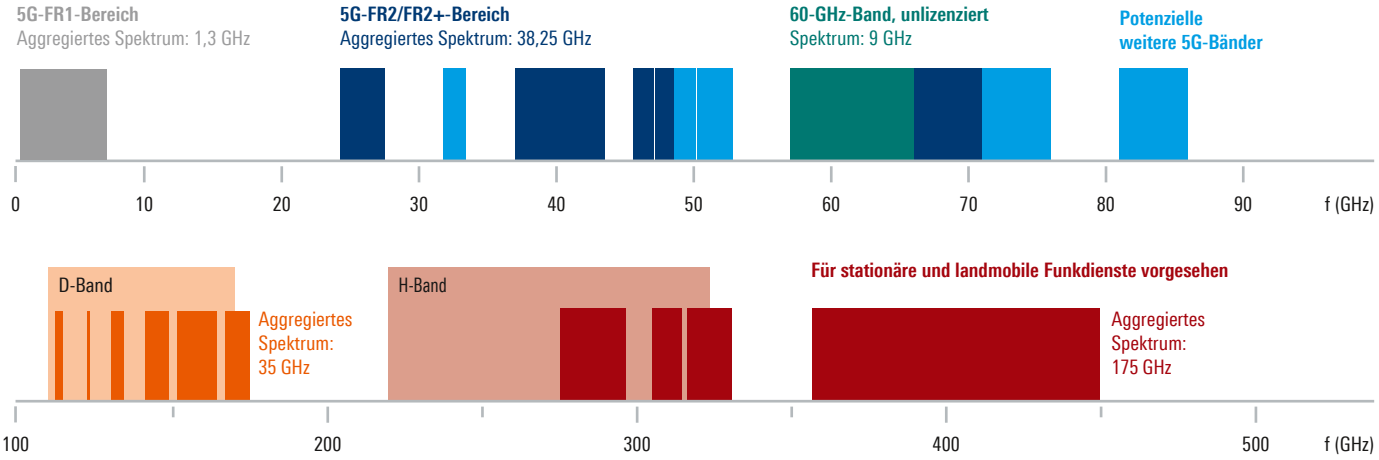
Bild 2: Prinzip des Channel Sounding. Zur Aufnahme der Kanalimpulsantwort (CIR) wird ein elektromagnetischer „Ping" auf der interessierenden Frequenz gesendet und es werden alle rücklaufenden Signalanteile erfasst.

Kanalmodelle als Fundament für die Nutzung neuer Frequenzbereiche

Bevor ein neuer Kommunikationsstandard entwickelt werden kann, müssen die Ausbreitungseigenschaften im geplanten Frequenzband verstanden und charakterisiert sein. Dann lassen sich Kanalmodelle ableiten, die Link-Level- und System-Level-Simulationen des neuen Standards erlauben. Dafür müssen die zugrunde liegenden Messdaten die untersuchten Umgebungen korrekt abbilden. Geometrie-basierte stochastische Kanalmodelle (GSCM) wie 3GPP TR 38.901 [3], gültig bis 100 GHz, basieren auf einer großen Zahl solcher Kanalmessungen in verschiedenen Umgebungsszenarien.

Die Entwicklung der Kanalmodelle einschließlich ihrer Spezifizierung durch 3GPP hat sich bis hin zu 4G auf den Frequenzbereich unterhalb von 6 GHz und quasi-statische Umgebungen beschränkt. Mit 5G wurden dynamische und andersartige Umgebungsszenarien entsprechend neuer Anwendungsfälle relevant (Automotive, Hochgeschwindigkeitszüge, Industrieumgebungen, etc.) und der Frequenzbereich in den Millimeterwellenbereich erweitert. Die hierfür gewonnenen Kanalmodelle lassen sich aber nicht ohne Weiteres auf den Bereich jenseits von 100 GHz übertragen, wo 6G operieren soll. Mehr noch als im Millimeterwellenbereich wird in diesem Frequenzbereich die Ausbreitung durch den menschlichen Körper, Fahrzeuge oder Umweltbedingungen wie Regen stark beeinflusst.

Bild 1: Spektrum der für Mobilkommunikation nutzbaren Frequenzbänder. Die 5G-Bänder verteilen sich auf den Bereich unterhalb von 100 GHz. Die 6G-Forschung konzentriert sich auf das D- und das H-Band.



Über Channel Sounding zum Kanalmodell

Kanalmessungen durch Channel Sounding liefern ein Bild der Ausbreitungseigenschaften von elektromagnetischen Wellen bei einer betrachteten Frequenz. Der Begriff Channel Sounding ist eine Anleihe aus der Sonartechnik: Von einem Schiff oder U-Boot sendet man einen kurzen akustischen Puls aus und zeichnet die Reflexionen im Zeitbereich auf. Sie ergeben ein brauchbares Abbild der Umgebung. Während beim Sonar Sender und Empfänger räumlich zusammenfallen, sind beim Channel Sounding im elektromagnetischen Fall Sender und Empfänger räumlich getrennt. Ein kurzes moduliertes Signal mit exzellenten Autokorrelationseigenschaften übernimmt die Rolle des „Ping", dessen Impuls-Antwort aufgenommen wird. Die Messung ist also eine Laufzeitmessung. Sie erfasst sowohl die direkte Ausbreitungskomponente (line of sight, LOS) als auch alle Reflexionen und Streuungen (non line of sight, NLOS) von Objekten der Umgebung (Bild 2). Aus den Ergebnissen lassen sich die Modellparameter für den Kanal ableiten und deren Werte bestimmen.

Allgemein gilt, dass Objekte dann für elektromagnetische Wellen „physikalisch sichtbar" sind und als Reflektor oder Streuobjekt wirken, wenn sie mindestens so groß sind wie die Wellenlänge der einfallenden Welle. Bei höheren Frequenzen, z. B. 30 GHz, reflektieren daher bereits Objekte im Zentimeterbereich.

Vereint forschen

Rohde & Schwarz sammelt schon seit einigen Jahren Erfahrungen in Channel-Sounding-Projekten. So untersuchte man zusammen mit dem japanischen Netzbetreiber NTT DOCOMO den Bereich bis 150 GHz und präsentierte die Ergebnisse Ende 2018. Im Jahr 2019 lag ein 3GPP-Forschungsschwerpunkt zur Entwicklung neuer 5G-Kanalmodelle auf Industrie-Szenarien, etwa Produktionsumgebungen. Zur 3GPP-Unterstützung führte Rohde & Schwarz Messungen in seinen Werken Memmingen und Teisnach durch, und zwar sowohl in den Millimeterwellen-Frequenzbändern bei 28 GHz und 66 GHz als auch in dem für private Campus-Netze designierten Band bei 3,7 GHz [4]. Zusammen mit dem Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut (HHI) und NTT DOCOMO wurden die Ergebnisse für das 3GPP-Meeting in Xian (China) im zweiten Quartal 2019 eingereicht.

Aktuell geht es um Kanäle bei noch deutlich höheren Frequenzen. Neben dem Fraunhofer HHI gehört mit dem Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF inzwischen ein weiteres Forschungsschwergewicht aus dem Fraunhofer-Kosmos zum Team. Zusammen hat man einen Forschungsaufbau entwickelt, der Signalgenerierung und -analyse im Bereich von 270 GHz bis 320 GHz mit einer Bandbreite von 2 GHz ermöglicht [5]. Das Signal kann zur Durchführung von Kanalmessungen und für Übertragungsexperimente mit neuartigen Wellenformen beaufschlagt werden.

Das HHI arbeitet an der Signalverarbeitung, der Synchronisierung von Sender und Empfänger und an der

Versuchsaufbau

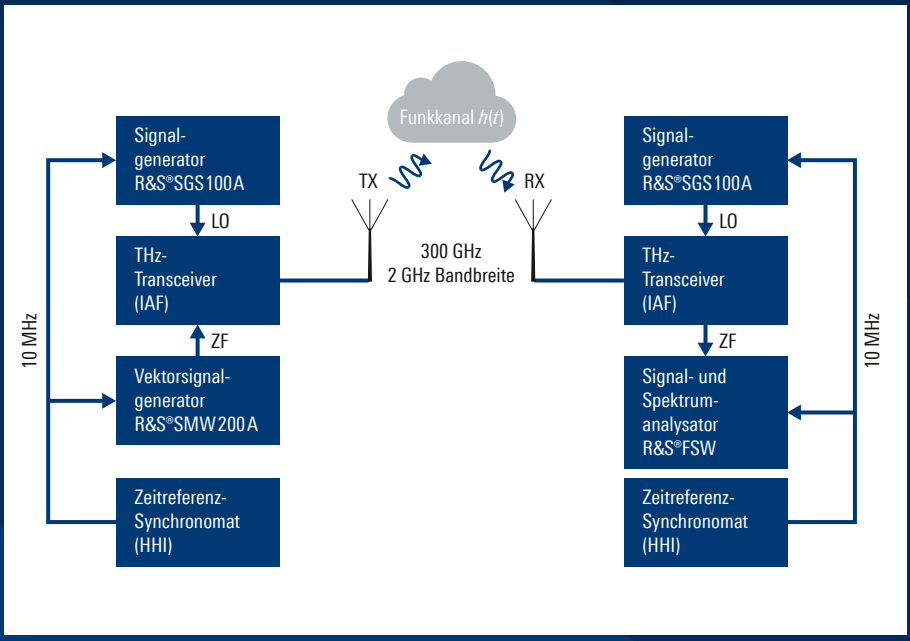


Bild 3: Schematischer Aufbau des 300-GHz-Channel-Sounding-Systems. Sendeseitig wird eine 2 GHz breite „Ping-Sequenz" (geeignet für Autokorrelation) von einem Signalgenerator R&S®SMW200A auf einer Zwischenfrequenz erzeugt. Der THz-Transceiver des Fraunhofer IAF hebt es in die Sendefrequenzlage, wobei ein R&S®SGS100A als Lokaloszillator fungiert. Empfangsseitig erfolgt die Signalverarbeitung spiegelbildlich, nur dass ein Analysator R&S®FSW die Kette abschließt. Details in [5].

Systemintegration. Vom IAF stammen die Millimeterwellen-Sende- und -Empfangsmodule. Rohde&Schwarz steuert sein Know-how in Mess- und Funktechnik bei und stellt die nötigen Messgeräte zur Signalerzeugung und -auswertung. Die Bilder 3 und 4 zeigen den Versuchsaufbau.

Die ersten Messungen bei 300 GHz belegen die für diesen Frequenzbereich beispiellose Dynamik des Messsystems (Bild 5). Zusammen mit dem Fraunhofer HHI und NTT DOCOMO sind weitere Messungen in verschiedenen Umgebungsszenarien in Vorbereitung, um diesen Sub-THz-Bereich systematisch zu charakterisieren.

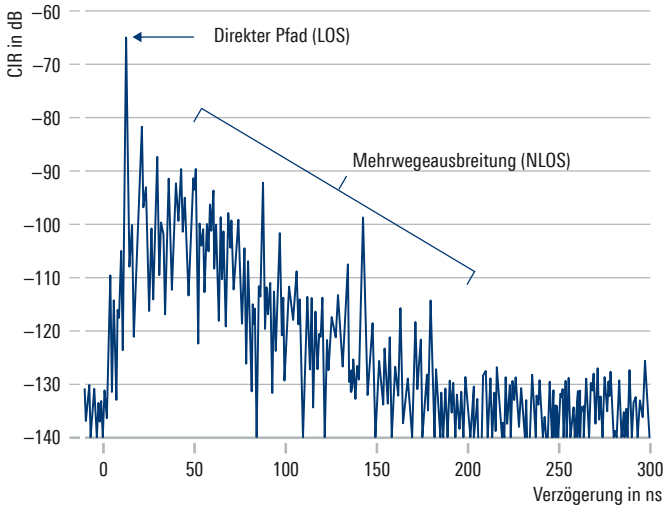


Bild 5: Kanal-Impuls-Antwort (Channel Impulse Response, CIR) bei 300 GHz in einer Indoor-Umgebung mit Vielfachreflexion. Die Distanz zwischen Sender und Empfänger betrug etwa 4 m. Typisch für eine Indoor-Umgebung ist die ausgeprägte Schulter mit vielen Reflexionen. Eine elektromagnetische Welle legt in 1 ns ca. 30 cm zurück.

Fazit

Der Mobilfunk der sechsten Generation wird zwar voraussichtlich erst in acht bis zehn Jahren eingeführt, seine Grundlagen sind jedoch längst Gegenstand der Forschung. Die Entwicklung der Sub-THz-Kommunikation, die für 6G ins Auge gefasst wird, setzt ein gutes Verständnis der Wellenausbreitungseigenschaften in diesem bisher nicht hinreichend erforschten Frequenzbereich voraus. Rohde&Schwarz kooperiert mit Forschungsorganisationen und Industriepartnern im Rahmen von Projekten, die diese Wissenslücke schließen sollen. Und gewinnt dabei nicht zuletzt wertvolle Erkenntnisse über die Anforderungen an die Messtechnik, die in einigen Jahren von der Mobilfunkindustrie benötigt werden.

Dr. Taro Eichler

Referenzen

[1] „5G Evolution and 6G", NTT DOCOMO, Inc., White Paper, January 2020.

[2] „Key drivers and research challenges for 6G ubiquitous wireless intelligence (white paper)", 6G flagship research program, University of Oulu, Finland, 2019.

[3] 3rd Generation Partnership Project (3GPP), „3GPP TR 38.901 (V16.0.0): Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz," Oct. 2019.

[4] „Measurement and Characterization of an Indoor Industrial Environment at 3.7 and 28 GHz", to be published at EuCAP2020, https://arxiv.org/abs/2004.11561.

[5] „THz Channel Sounding: Design and Validation of a High Performance Channel Sounder at 300 GHz", to be published at IEEE WCNC2020, https://arxiv.org/abs/2001.06703

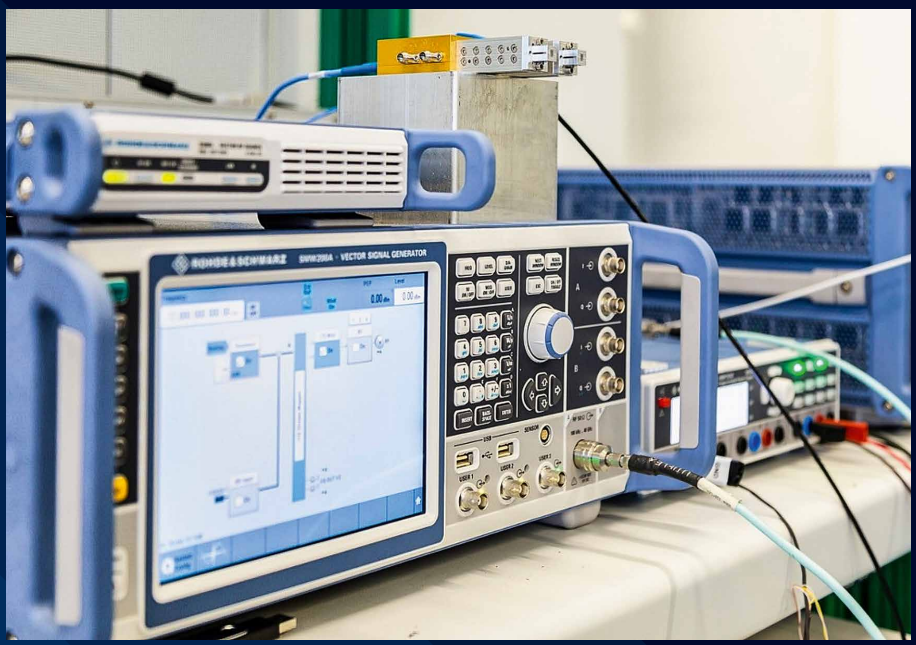


Bild 4: Messaufbau für Kanalmessungen bei 300 GHz mit Vektorsignalgenerator R&S®SMW200A und Signalgenerator R&S®SGS100A sowie dem Signal- und Spektrumanalysator R&S®FSW43. Am oberen Bildrand ein Transceiver mit integrierten Hornantennen. Neben dem Channel Sounding zur Kanalcharakterisierung erlaubt der Aufbau auch Übertragungsexperimente mit neuartigen Wellenformen.

KI SIEHT ETWAS, WAS DU NICHT SIEHST!

© Quardia / Shutterstock.com

Um Mobilfunknutzern stabile und leistungsstarke Netze anbieten zu können, müssen diese eingehend getestet werden. Die Unmengen an Daten, die dabei anfallen, sind aber kaum noch manuell analysierbar. Methoden der künstlichen Intelligenz helfen weiter.

Netzwerktest in der 5G-Ära

Die Einführung der fünften Generation des Mobilfunks konfrontiert die Netzwerktester mit einer neuartigen Situation. Die vielen Facetten von 5G – diverse Frequenzbereiche, unterschiedliche Roll-out-Programme der Netzbetreiber, die Breite der Anwendungen wie IoT, klassischer Mobilfunk, Verkehrsvernetzung etc. – führen zu sehr heterogenen Netzen und Testdaten. Wenn diese in den gewöhnlichen aggregierten Formen analysiert werden, kommt es schnell zu verzerrten Resultaten und Fehlinterpretationen. Hier bietet sich der Einsatz künstlicher Intelligenz an. Algorithmus-basierte Methoden bilden nur bestimmte Theorien ab, die nicht optimal sein müssen. Aber die Daten selbst sind verlässlich. KI-Methoden wie Mustererkennung sind in der Lage, Datenbestände unvoreingenommen auszuwerten und Zusammenhänge aufzudecken, die einem menschlichen Analytiker verborgen bleiben müssen.

Big Data braucht KI

In den letzten Jahren wurde der Begriff der künstlichen Intelligenz reichlich strapaziert, oft aber ohne klarzustellen, was genau damit gemeint ist. Man differenziert nicht zwischen Systemen, die in der Lage sind, selbst zu lernen – ein KI-Kennzeichen – und solchen, die lediglich auf komplexen algorithmischen Lösungen beruhen. Beim maschinellen Lernen wird es um einiges konkreter: Hier ist das Ziel, aus einer großen Datenmenge automatisch allgemeine Regeln abzuleiten. Nach beendetem Lernprozess können beispielsweise Positiv/Negativ-Entscheidungen anhand mehrdimensionaler Abhängigkeiten oder Merkmale getroffen werden. Die Regeln dafür werden durch Approximation zwischen echten Datenpunkten gelernt und nicht durch einen menschlichen Experten formuliert. Das Verfahren setzt große Datenmengen und eine intensive Trainingsphase voraus, ist in der Anwendungsphase dann aber in der Lage, quasi spontan die neuen Messdaten richtig zu interpretieren.

Überwachtes und unüberwachtes Lernen

Die Methoden des maschinellen Lernens lassen sich grob in zwei Kategorien einteilen: überwachtes und unüberwachtes Lernen.

Bei Ersterem will man den statistischen Zusammenhang zwischen den Daten und einem Ergebnis bzw. einem vorgegebenen Etikett finden, um für unbekannte Eingaben Prognosen generieren zu können. Eine weit verbreitete Anwendung ist die Objekterkennung, bei der durch eine mehrstufige Interpretation von Mustern (Kanten, Farbflächen etc.) das Vorhandensein und die Position eines bestimmten Gegenstands in einem Bild ermittelt wird („Bild enthält eine/keine Katze“). Zum Training setzt man der Lernsoftware von Menschen etikettierte Bilder vor, anhand derer sie die Charakteristika herausarbeitet, die eine Entscheidung ermöglichen. Nur sind diese Regeln nicht algorithmisch greifbar, sondern implizit im neuronalen Netz der KI verborgen. Ein Beispiel für Mustererkennung in einem nicht visuellen Fall ist die Ermittlung des Call Stability Score beim Netzwerktest, siehe unten.

Beim unüberwachten Lernen sind keine Etiketten vorhanden. Die Algorithmen müssen eigenständig Muster oder mehrdimensionale Datenkonglomerate erkennen, um zweckdienliche Schlussfolgerungen daraus zu ziehen, etwa mit dem Ziel, Abweichungen zwischen neuen und bekannten Datenpunkten zu messen. Eine typische Aufgabenstellung für unüberwachtes Lernen ist die Anomalieerkennung, die ohne Unterstützung von Fachexperten ungewöhnliche Daten ausfindig macht.

Rohde&Schwarz setzt auf KI-Methoden

Bei Rohde&Schwarz werden KI-Methoden unter anderem dafür genutzt, um die Optimierung von Mobilfunknetzen zu vereinfachen und qualitative Unterschiede zwischen den Anbietern besser beurteilen zu können. 2018 wurde das Data Intelligence Lab gegründet, das sich solcher Fragestellungen annimmt und die Rohde&Schwarz-Entwicklungsabteilungen mit datenbasierten Analysemethoden unterstützt.

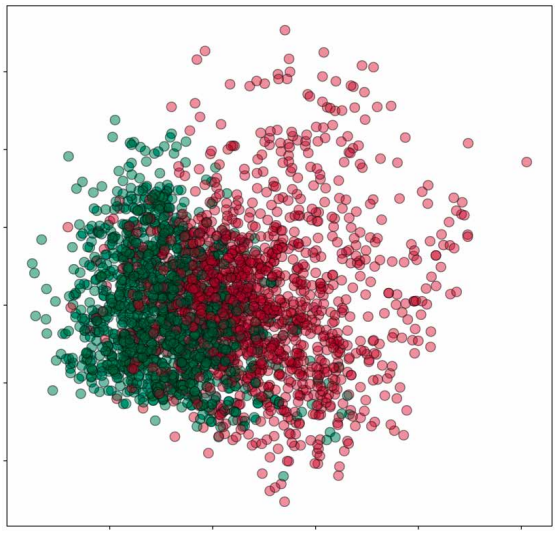


Bild 1: Zweidimensionale Projektion der mehrdimensionalen Funkbedingungen. Grüne (rote) Punkte entsprechen erfolgreich beendeten (abgebrochenen) Anrufen.

Solche Ansätze sind gerade auch beim Testen von Mobilfunknetzen sehr vielversprechend, wo besonders viele Daten anfallen und manuelle Analysen und Regelformulierungen an ihre Grenzen stoßen. Maschinelles Lernen ermöglicht es, die verborgenen Informationen in großen Datenbeständen zu nutzen, etwa um neue Bewertungsmetriken abzuleiten. Ein Beispiel ist der Call Stability Score.

Call Stability Score – eine neue Bewertungsmetrik für zuverlässige Kommunikation

Ein plötzlich verlorenes oder abgebrochenes Gespräch ist eine der negativsten Erfahrungen beim Telefonieren. Deshalb testen Mobilfunknetzbetreiber seit Jahren Anrufe auf Sprachqualität und Verbindungsstabilität. Die populärste Statistik ist die Call Drop Rate (CDR), die die Quote der abgebrochenen Anrufe erfasst. Allerdings muss in ausgereiften Netzen eine hohe Zahl an Anrufen getätigt werden, um einen statistisch signifikanten Wert zu erhalten, da der Anteil der abgebrochenen Anrufe sehr gering ist. Entsprechend lang und teuer fallen die Messfahrten aus.

Deshalb nutzt Rohde&Schwarz ein Verfahren, das den binären Call-Status – entweder erfolgreich beendet oder abgebrochen – durch einen

Analyseplattform R&S®SmartAnalytics

Bild 3: Darstellung eines Netzoptimierungsszenarios anhand des Call Stability Score, verfügbar in der Analysesoftware R&S®SmartAnalytics. Oben links werden CSS-Durchschnittswerte gebietsweise angezeigt. Oben rechts sind besonders niedrige Werte zur weiteren Analyse markiert. Die Tabelle listet die genauen Werte mit ergänzenden Informationen (Beispielsresultate für Demonstrationszwecke). ▷

Bild 2: Datenanalyse leicht gemacht. R&S®SmartAnalytics ermöglicht Anbietervergleiche und Netzoptimierungen, u. a. durch KI-generierte Prognosen.

fein abgestuften analogen Wert ersetzt. Dazu wird ein statistisches, KI-generiertes Modell erzeugt, das die Funkbedingungen mit dem Call-Status verknüpft.

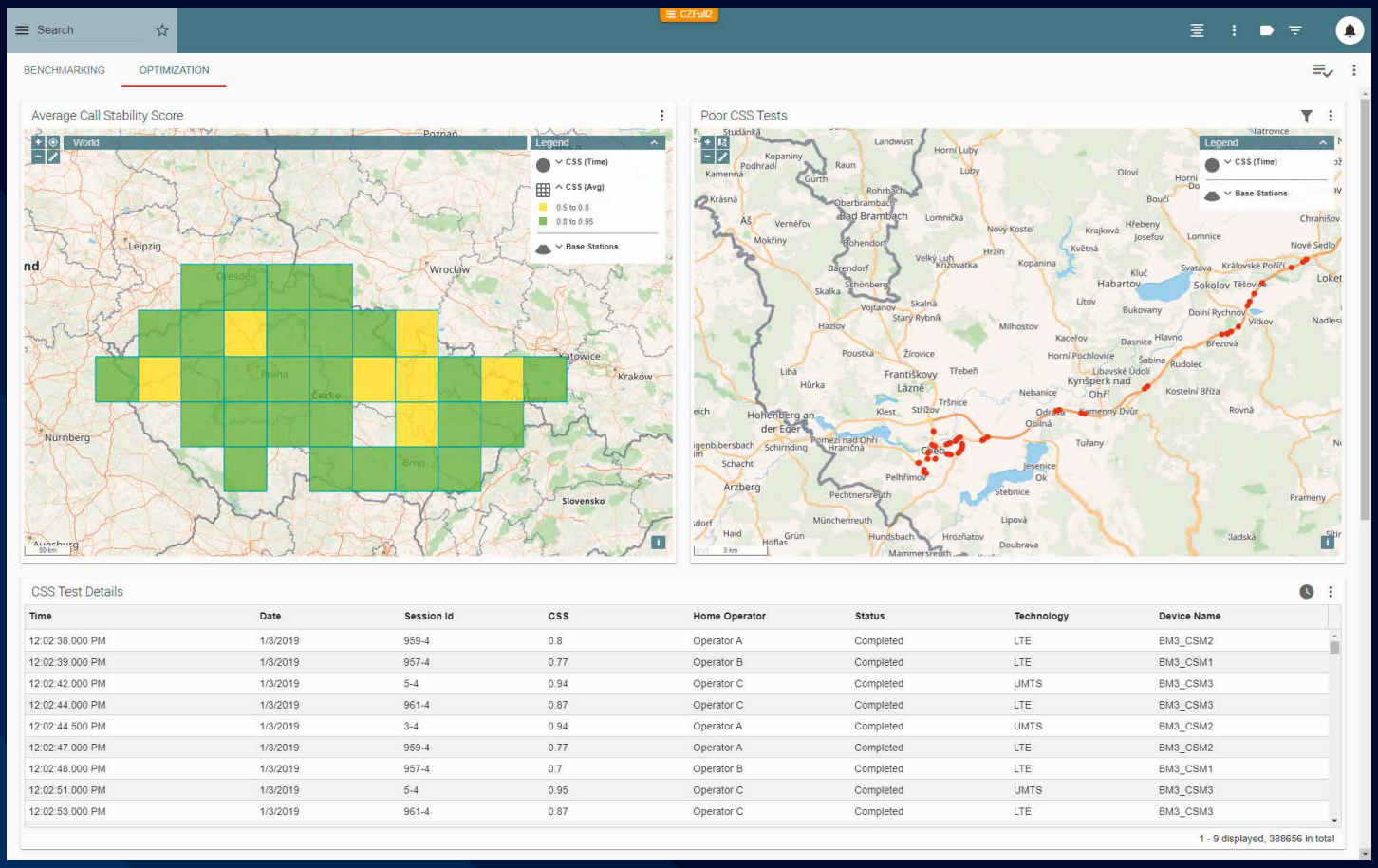
Der daraus zu errechnende Call Stability Score (CSS) ermöglicht es, die Zuverlässigkeit der Funkverbindung über die gesamte Gesprächsdauer hinweg zu messen und auf einer Qualitätsskala einzuordnen (Bild 1). Auch instabile Anrufe, die zwar erfolgreich beendet wurden, aber ausweislich der Daten nicht weit von einem Abbruch entfernt waren, gehen in die Diagnostik ein. In einer herkömmlichen Call-Drop-Rate-Statistik würden sie als erfolgreiche Anrufe auf der Habenseite verbucht und damit die Netzqualität nicht korrekt wiedergeben.

Der CSS-Wert stützt sich auf die Erfahrungen aus Millionen von Testgesprächen, die während des Lernprozesses in die Modellbildung eingeflossen sind. Schon ab dem ersten Anruf ist die Bewertung stichhaltig. Die Netzqualität in puncto Telefonie wird damit wesentlich genauer erfasst, und das bei geringerem Testaufwand.

In der Praxis verfährt man so, dass alle neun Sekunden eines Gesprächs dem statistischen Modell die Messdaten als Zeitreihe übergeben werden. Das Modell beurteilt sie anhand der gelernten Gesetzmäßigkeiten und liefert eine Zahl zwischen 0 und 1. Je höher dieser Wert ist, desto unwahrscheinlicher war der Anrufabbruch in den betreffenden neun Sekunden.

Die CSS-Messung ist Bestandteil der Analyseplattform R&S®SmartAnalytics (siehe Kasten). Eine weitere KI-getriebene Funktion dieser Software-Suite ist die auf unüberwachtem Lernen basierende Anomalieerkennung. In beiden Fällen führt der Einsatz künstlicher Intelligenz zu Ergebnissen, die auf herkömmlichem Weg nicht zu erhalten sind. Man wird daher in Zukunft verstärkt auf KI-Methoden setzen, um den Informationsgehalt von Messdaten möglichst vollständig auszuschöpfen.

Dr. Alexandros Andre Chaaraoui



Time	Date	Session Id	CSS	Home Operator	Status	Technology	Device Name
12:02:38.000 PM	1/3/2019	959-4	0.8	Operator A	Completed	LTE	BM3_CSM2
12:02:39.000 PM	1/3/2019	957-4	0.77	Operator B	Completed	LTE	BM3_CSM1
12:02:42.000 PM	1/3/2019	5-4	0.94	Operator C	Completed	UMTS	BM3_CSM3
12:02:44.000 PM	1/3/2019	961-4	0.87	Operator C	Completed	LTE	BM3_CSM3
12:02:44.500 PM	1/3/2019	3-4	0.94	Operator A	Completed	UMTS	BM3_CSM2
12:02:47.000 PM	1/3/2019	959-4	0.77	Operator A	Completed	LTE	BM3_CSM2
12:02:48.000 PM	1/3/2019	957-4	0.7	Operator B	Completed	LTE	BM3_CSM1
12:02:51.000 PM	1/3/2019	5-4	0.95	Operator C	Completed	UMTS	BM3_CSM3
12:02:53.000 PM	1/3/2019	961-4	0.87	Operator C	Completed	LTE	BM3_CSM3

SICHER DURCHS GEDRÄNGE

Fahrzeuge sehen die Welt durch Sensoren. Ein neues Testsystem schärft ihren Blick.

Ohne hoch entwickelte Sensorik bleibt autonomes Fahren eine Vision. Doch die Sensorentwicklung macht stürmische Fortschritte. Radarsensoren liefern mittlerweile bildähnliche Auflösungen, doch nur, wenn sie kalibriert werden. Ein Testsystem von Rohde & Schwarz erledigt das auf kleinstem Raum und in kürzester Zeit.

Mehr Verkehrssicherheit durch ADAS

Die EU kann eine vergleichsweise gute Verkehrssicherheitsbilanz vorweisen. Dennoch kommen nach einer Veröffentlichung des Europäische Parlaments in jedem Jahr noch mehr als 25 000 Personen auf den Straßen der EU ums Leben, während weitere 135 000 schwer verletzt werden. Allein die sozioökonomischen Folgen schätzt man auf 120 Milliarden Euro jährlich.

Bessere Sicherheitssysteme in den Autos sollen die Zahlen weiter nach unten bringen. Fahrerassistenzsysteme (Advanced Driving Assistance Systems, ADAS) wie Totwinkel-Warner und Bremsassistenten sind seit Jahren Stand der Technik. Im Februar 2019 haben sich vierzig Länder unter Führung Japans und der Europäischen Union darauf geeinigt, ab dem Jahr 2022 die Ausrüstung neuer Pkw und leichter Nutzfahrzeuge mit automatischen Notbremssystemen (AEB) vorzuschreiben. Darüber hinaus bewertet das European New Car Assessment Programme (NCAP) Fahrzeuge auf der Grundlage von Sicherheitsmerkmalen, um die Verbraucher besser zu informieren und die Autohersteller zum forcierten Einsatz von ADAS zu ermutigen.

Keine Autonomie ohne Radare

Die ADAS-Entwicklung wird aber auch ohne legislative Vorgaben mit Nachdruck vorangetrieben, da das autonome Fahrzeug als Fernziel aller Entwicklungsanstrengungen gar nicht anders realisierbar ist. Insbesondere das sensorische Frontend, das die Augen und Ohren des Fahrers ersetzen muss, macht rasche Fortschritte. Fahrzeuge der Autonomiestufen 4 und 5 werden vermutlich auf ein reichhaltiges Sensorik-Set aus Kameras, Ultraschall-, Lidar- und Radarsensoren zurückgreifen. Neben funktionalen Gesichtspunkten entscheiden auch die Kosten dieser Komponenten über ihre Verwendung. Die auf der Lasertechnik basierenden Lidarsensoren hinken der Radarentwicklung etwas hinterher und sind noch vergleichsweise teuer. Sie zeichnen sich durch ein höheres räumliches Auflösungsvermögen aus, sind aber mit dem Handycap jedes optischen Systems geschlagen, der Sichtbeeinträchtigung bei schlechten Wetterbedingungen. Damit haben Radare kein Problem, und da die Sensoren in den letzten Jahren große Performance-Sprünge gemacht haben und relativ preiswert sind, bilden sie das Rückgrat aktueller ADAS.

Im Vergleich zu herkömmlichen 24-GHz-Radarsensoren mit 200 MHz Bandbreite verfügen die neuesten 77/79-GHz-Sensoren über eine Bandbreite von bis zu 4 GHz. Das neue Daten-Setup lässt die Antennen schrumpfen, während Auflösungsvermögen und Genauigkeit signifikant zulegen. Dazu trägt auch die zunehmende Hochintegration der Sensoren bei. Das Radar-on-Chip (RoC) der Firma Uhnder (Bild 4), das alle analogen und digitalen Front- und Backendkomponenten auf einem Chip zusammenfasst, zeigt, wo die Entwicklung hingeht.

Knifflige Testbedingungen

Forschung und Entwicklung, Optimierung, Validierung und Kalibrierung von Kfz-Radarsensoren werden notwendigerweise von akkuraten Tests begleitet, da die Verkehrssicherheit hier unmittelbar von der Präzision abhängt. Neben der Messung der HF-Parameter gilt es durch Zielsimulation zu evaluieren, ob ein Sensor die Orte und Geschwindigkeiten der Objekte in seinem Erfassungsbereich innerhalb der geforderten Toleranzen ermittelt.

Der hohe Frequenzbereich und die Notwendigkeit, die Messungen unter Fernfeldbedingungen vorzunehmen, um genaue Ergebnisse zu erzielen, macht die Aufgabe anspruchsvoll. Nach der Fraunhofer-Formel erfordert die Messung eines 77-GHz-Radars mit 15 cm Apertur einen Abstand von mindestens 11,5 Metern zum Ziel (Bild 1); erst ab hier weist das elektromagnetische Feld die nötige Homogenität auf (Quiet Zone, Bild 2). Da die Industrie immer höhere Winkelauflösungen anstrebt, werden in Zukunft tendenziell mehr Antennen pro Modul integriert, was einen Flächenzuwachs beim Antennen-Array mit sich bringt. Aperturen von mehr als 20 cm, vor allem in der Prototypphase, sind daher nichts Ungewöhnliches. Fernfeld-Testkammern für solche Verhältnisse sind nicht

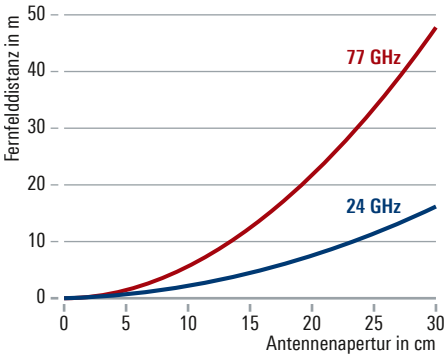


Bild 1: Die große Fernfelddistanz eines 77-GHz-Automotive-Radars zwingt die Messtechnikhersteller zu findigen Lösungen, um die Messeinrichtungen kompakt zu halten.

praktikabel, deshalb nutzt man Methoden zur Nahfeld-Fernfeld-Transformation. Sie führen zu Compact Antenna Test Ranges (CATR) von so geringer Größe, dass man sie auch in kleineren Laboren ohne Weiteres unterbringen kann, erst recht in einer Produktionsumgebung (Bild 3).

Radarsensoren gehören zu den Kfz-Komponenten, die eine 100-%-Kontrolle erfordern, zum einen aus Sicherheitsgründen, zum andern, weil die Datenstreuung beim HF-Frontend eine individuelle Kalibrierung notwendig macht. Dazu simuliert man ein Ziel mit bekannter Position, Größe und Geschwindigkeit. Für dieses Ziel werden Gewinn, Phase und Kopplung jedes Antennenzweigs kalibriert, d. h. mit Korrekturdaten versehen, die man im Modul speichert.

Bild 2: Der parabolische Präzisionsreflektor der Testkammer transformiert die sphärischen Nahfeldwellen von der Feed-Antenne in ebene Fernfeldwellen, wodurch sich am Ort des Positionierers eine 30 cm durchmessende „ruhige Zone“ (Quiet Zone) ausbildet, in der das zu testende Radar platziert wird.

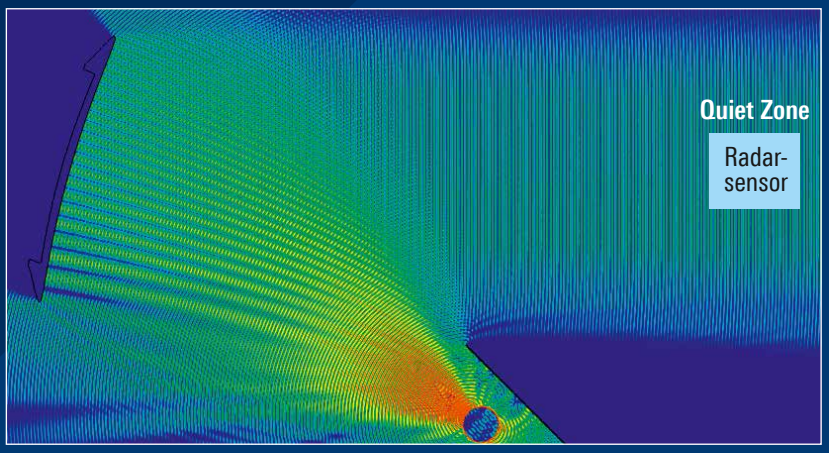
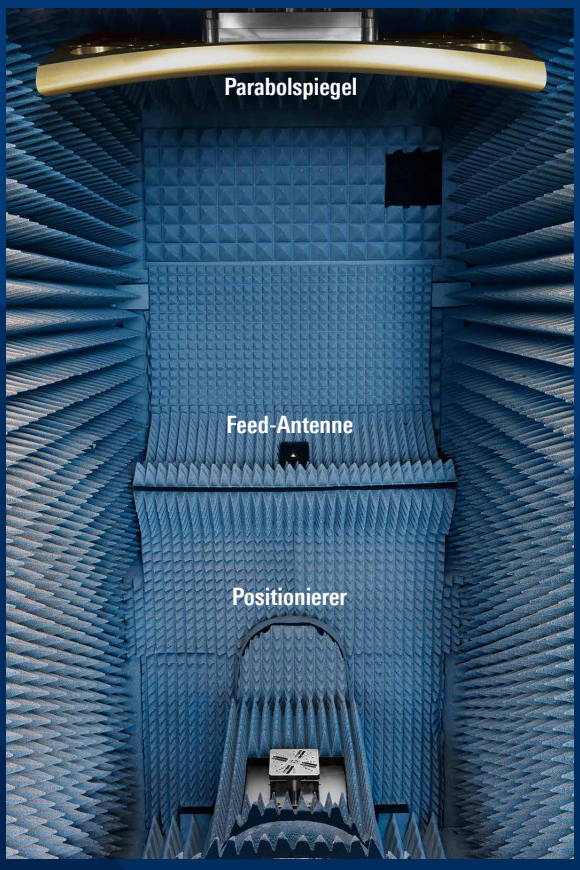


Bild 3: Testlösung für Automotive-Radarsensoren, bestehend aus geschirmter Testkammer R&S®ATS1500C und Radarechogenerator R&S®AREG100A. Zum Betrieb wird der fernbediente Echogenerator an der Kammerrückseite montiert.



Wenngleich die Industrie von sich aus bestrebt ist, alles Notwendige zu tun, um verlässliche Radare in Verkehr zu bringen, nehmen sich inzwischen auch die zuständigen Normungsgremien des Themas an. So hat das Europäische Institut für Telekommunikationsnormen (ETSI) Kfz-Radar-Normen für den Geltungsbereich der EU herausgegeben, die Messungen unter Fernfeldbedingungen vorschreiben. Angesichts der Bedeutung der Radare für den zukünftigen Verkehr ist mit vergleichbaren Normen für andere Regionen zu rechnen.

Präzise Tests auf kleinstem Raum

Rohde&Schwarz hat als erstes Unternehmen eine Komplettlösung für den Test von Automotive-Radarsensoren entwickelt. Sie besteht aus der Messkammer R&S®ATS1500C mit einer Grundfläche von nur 1,3 m^2 und dem Radarechogenerator R&S®AREG100A (Bild 3).

Der Echogenerator simuliert bis zu vier Ziele mit kundenspezifischer Entfernung, Geschwindigkeit und Größe. Die automatische Variation des Einfallswinkels in Azimut und Elevation, unter dem das Echo auf den Sensor trifft, übernimmt mit hoher Stellgeschwindigkeit und einer Winkelauflösung von 0,03° der speziell für Radaranwendungen entwickelte 3D-Positionierer der Kammer. Er kann die Polarisationsrichtung zwischen Radar und Messsystem konstant halten. Dadurch werden bewegungsabhängige Fehler, die bei einfachen Positioniersystemen auftreten, vermieden.

Wie alle Geräte, die Signale senden und empfangen, sind auch Radarsensoren gemäß den gesetzlichen Bestimmungen über die Störsicherheit zu zertifizieren. In Europa geben die Funkzulassungsrichtlinie RED und die mit ihr assoziierten ETSI-Normen die Grenzwerte vor. Vergleichbare Normen hat die FCC für die USA in Kraft gesetzt. Der R&S®AREG100A bietet die Möglichkeit, Messgeräte wie Signalgeneratoren und -analysatoren am ZF-Eingang anzuschließen, um die einschlägigen Testfälle abzuarbeiten. Darüber hinaus lassen sich gleichzeitig Schlüsselparameter wie die belegte Bandbreite, die Chirp-Linearität oder die Chirp-Dauer messen.

Eine neue Generation von Automotive-Radaren

Uhnder Inc., ein Hochtechnologie-Start-up mit Sitz in Austin, Texas, hat ein revolutionäres Imaging-Radarsystem entwickelt und zu einem fingernagelgroßen Radar-on-Chip (RoC) integriert (Bild 4). Anders als konventionelle Automotive-Radare arbeitet das Uhnder-RoC nicht mit analog modulierten FMCW-Chirps (siehe Seite 25), sondern mit code-modulierten Digitalsignalen (Digital Code Modulation, DCM).

Bild 4: Kaum zu glauben, aber dieser Chip ist, abgesehen von den fehlenden Antennen, ein komplettes, vielkanaliges Radar samt Auswerteelektronik.

Das RoC ist auch deswegen einzigartig, weil es erstmalig das analoge Frontend, die Basisbandverarbeitung, das digitale Frontend, das digitale Backend sowie Speicher und Schnittstellen auf einem einzigen CMOS-Chip vereint. Zwei CPUs und zwei DSPs kümmern sich um die digitale Signalverarbeitung. Allein die Basisbandsektion verfügt über eine Rechenleistung von 20 Tera-Ops. Lediglich ein Antennenarray aus 12 Sende- und 16 Empfangsantennen ist mit dem Chip zu verbinden, um das Radar zu komplettieren. Unter Ausnutzung der Code-Diversität der Signale macht das RoC 192 virtuelle Transceiver daraus. Aus all dem resultieren diverse Vorteile wie extreme Kompaktheit, ein sehr geringer Stromverbrauch, hohe Verarbeitungsleistung und eine bis dahin nicht erzielbare räumliche Trennschärfe.

Das Uhnder-RoC ist ein sogenanntes 4D-Radar, weil es zu jedem Ziel die Werte für Azimut, Elevation, Entfernung und Geschwindigkeit liefert. Durch die hohe räumliche Auflösung lässt sich mit einem auf dem RoC basierenden Sensor ein detailliertes Umweltmodell gewinnen, das einem mit optischen Mitteln gewonnenen kaum noch nachsteht (Bild 5).

Win-win-Kooperation

Damit ein Sensor mit Uhnder-RoC sein Potenzial entfalten kann, muss er penibel kalibriert werden – eine Aufgabe, an der sich die Rohde&Schwarz-Testlösung beweisen kann. Zur Optimierung ihrer Produkte arbeiten die Unternehmen deshalb seit geraumer Zeit eng zusammen. Uhnder konnte dadurch nicht nur die Empfindlichkeit und Genauigkeit seiner Sensoren verbessern, sondern auch einen serienreifen schnellen Kalibrieralgorithmus entwickeln, der seinen Kunden, den Sensor-Herstellern, bei der Verifizierung

am Ende der Produktionslinie hilft. Rohde&Schwarz hat Erkenntnisse darüber gewonnen, wie seine Kammer weiter zu verbessern ist. In einer gemeinsamen Demonstration auf der CES 2020 in Las Vegas zeigten die Partner, wie ein Uhnder-RoC-basierter Radarsensor in weniger als einer Minute kalibriert werden kann. Bild 6 illustriert den Ablauf.

Fazit

Radarsensoren sind die wichtigsten Quellen für Informationen über das Umfeld eines Fahrzeugs. Moderne quasi-bildgebende Sensoren (4D imaging radars) lösen die Umgebung bereits so fein auf, dass sich komplexe Umweltmodelle aus den Daten gewinnen lassen, auf deren Basis autonome Fahrzeugentscheidungen getroffen werden können. Die Sensoren, die auf immer größere Antennen-Arrays und eine Vielzahl von MIMO-Transceivern zurückgreifen, erbringen ihre Leistung nur nach exakter Kalibrierung, die für jedes Exemplar in der Fertigungslinie erfolgen muss. Mit dem von Rohde&Schwarz dafür entwickelten kompakten Testsystem aus geschirmter Messkammer und Radarzielsimulator lassen sich selbst komplexe Sensoren neuester Generation in weniger als einer Minute kalibrieren. Die 30 cm durchmessende Quiet Zone der Kammer, in der Fernfeldverhältnisse herrschen, bietet selbst großflächigen Sensoren genügend Raum, sodass für kommende Sensorgenerationen vorgesorgt ist.

Rong Chen Leng; Ralf Reuter

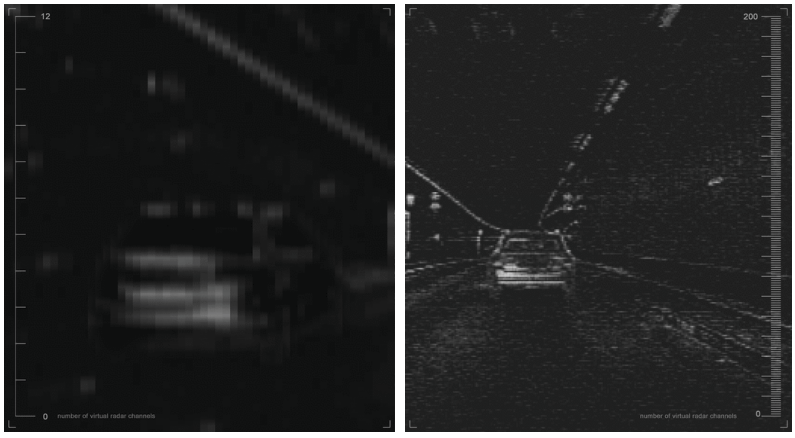


Bild 5: Das Bild (Simulation) gibt einen Eindruck davon, wie sich die Leistung eines bildgebenden Radars (imaging radar) von der eines herkömmlichen Autoradars unterscheidet. Seine Auflösung ist so hoch, dass es eng benachbarte Objekte, etwa ein Fußgänger neben einem Radfahrer, getrennt auffassen und mit jeweils eigenen 4D-Koordinaten verarbeiten kann.

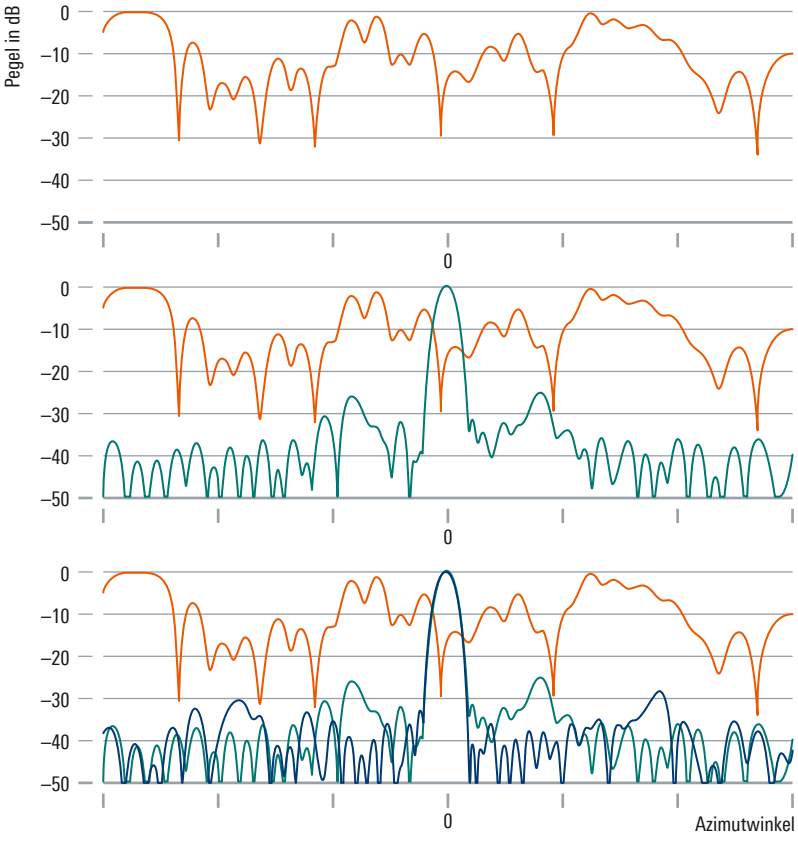


Bild 6: Kalibrierung eines Sensors auf Uhnder-RoC-Basis in der Messkammer R&S®ATS1500C mit dem Radarechogenerator R&S®AREG100A.

Teilbild oben: Mit dem unkalibrierten Sensor wird das Ziel nicht erkannt.

Teilbild Mitte: Der erste Kalibrierschritt erfolgt mit fest stehendem Sensor in Frontalstellung (Mittelachse auf das Ziel ausgerichtet). Diese Kalibrierung kompensiert die Unterschiede der einzelnen Antennen in Bezug auf Phase und Amplitude aufgrund unterschiedlicher Weglängen. Das Ziel zeichnet sich jetzt mit einem Peak-to-Side-Lobe-Verhältnis (PSLR) von 25 dB deutlich ab. Die Nebenkeulen werden durch Kreuzkopplung der Antennen verursacht.

Teilbild unten: Im zweiten Schritt wird der Azimutwinkel zwischen Sensormittelachse und Ziel durch schrittweise Drehung des Positionierers von –45° bis 45° variiert. So lässt sich die Kreuzkopplung korrigieren, was sich in einem um 10 dB besseren PSLR niederschlägt. Die Zeit für diese Sweepkalibrierung beträgt weniger als 25 s. Anschließend ist der Sensor kalibriert.

BANDBREITENHUNGRIG

FMCW-Radar: einfaches Prinzip, fordernde Messtechnik

FMCW-Radare sind auf der analogen Sende- und Empfangsseite extrem breitbandig ausgelegt. Die zu ihrer Validierung nötigen Analysebandbreiten von bis zu 4 GHz waren bis vor kurzem nur in Oszilloskopen verfügbar – doch jetzt auch im Signal- und Spektrumanalysator R&S®FSW.

Anders als das im Artikel ab Seite 20 beschriebene Uhnder-RoC, das als erstes Auto-Radar mit digital modulierten Signalen arbeitet, sind frequenzmodulierte Dauerstrichradare (Frequency Modulated Continuous Wave, FMCW) der Stand der Technik. Hier wird lediglich die Trägerfrequenz in unterbrechungsfreien typischerweise sägezahn- oder dreiecksförmigen Sweeps variiert. Eine Sweepperiode wird als Chirp bezeichnet. Abhängig von der aktuellen Anforderung können einzelne Rampen mit unterschiedlichen Frequenzänderungsraten (Chirpraten) hintereinander abgespielt werden. Damit sind Optimierungen nach Entfernungsauflösung, Geschwindigkeitsauflösung oder nutzbarem Entfernungsbereich möglich. Zur Signalerzeugung wird ein VCO moduliert und das Ausgangssignal mit Vervielfältigern und Frequenzumsetzern auf die gewünschte Bandbreite und ins gewünschte Band gebracht (Bild 1).

Das vom Sensor empfangene Signal weist einen der Zielentfernung proportionalen Frequenzversatz zur momentanen Sendefrequenz auf, die sich während der Signallaufzeit auf der Sweep-Rampe ja ein Stück nach oben bewegt hat. Bei unterschiedlichen Relativgeschwindigkeiten von Sender und Empfänger kommt eine Dopplerverschiebung hinzu (Bild 2). Sende- und Empfangssignal werden zu einer relativ niedrigen Zwischenfrequenz gemischt, die man direkt abtasten kann.

Der Vorteil dieses Verfahrens sind die sehr günstigen Komponenten. Es werden keine breitbandigen ADCs oder DACs gebraucht, und auch die Anforderungen an die digitale Signalverarbeitung sind dank der recht geringen Datenraten überschaubar – diejenigen an die analogen Komponenten auf der Sendeseite aber umso höher. Abweichungen von der Linearität der FM-Rampen führen unmittelbar zu einem schlechteren Signal-Rausch-Verhältnis, wodurch Objekte übersehen werden können, oder zu Geistersignalen, also dem Vorspiegeln von Objekten, die in Wirklichkeit nicht da sind.

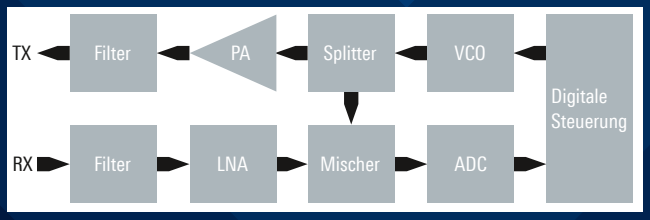


Bild 1: Vereinfachter Aufbau eines FMCW-Radars. Das empfangene Signal wird mit dem aktuellen Sendesignal gemischt. Lediglich die resultierende, relativ schmalbandige „Beat Frequency" wird digitalisiert und ausgewertet.

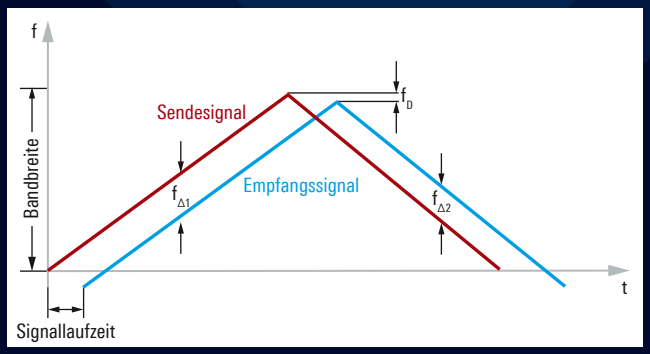


Bild 2: FMCW-Signal mit dreiecksförmiger Modulation. Zur reinen Entfernungsbestimmung würde eine entweder steigende oder fallende Flanke genügen (Sägezahn); die Zielentfernung ist in beiden Fällen proportional zur Differenzfrequenz f_Δ, allerdings verfälscht um die Dopplerfrequenz f_D, wenn sich Radar und Ziel relativ zueinander bewegen. Die Grafik zeigt den Fall eines sich entfernenden Objekts. Will man die Relativgeschwindigkeit anhand der Dopplerfrequenz ebenfalls ermitteln und außerdem den Doppler-Entfernungsfehler eliminieren, braucht man beide Flanken. Die Dopplerfrequenz ergibt sich dann als halbe Differenz der Differenzfrequenzen $f_{\Delta 1}$ und $f_{\Delta 2}$. Um die gewünschte Präzision zu erzielen, werden hohe Anforderungen an die Linearität der Flanken gestellt – und damit an die bei der Radarentwicklung eingesetzte Messtechnik.

Breitbandige Signalanalyse gefragt

FMCW-Radare werden auf der analogen Sende- und Empfangsseite möglichst breitbandig ausgelegt, da höhere Bandbreiten mit einer höheren Entfernungsauflösung einhergehen. Im E-Band (76 GHz bis 77 GHz bzw. 77 GHz bis 81 GHz) stehen bis zu 4 GHz zusammenhängendes Spektrum zur Verfügung, woraus eine Entfernungsauflösung von rund 7 cm resultiert. In Forschung und Entwicklung, aber auch in der Validierung muss das komplette Signal über die gesamte Modulationsbandbreite bekannt sein. Die dazu nötigen Analysebandbreiten von bis zu 4 GHz waren bis vor kurzem nur in Oszilloskopen verfügbar.

Zur Validierung der Konformität nach ETSI, FCC, etc. sind neben der Signalanalyse auch spektrale Messungen mit einem Spektrumanalysator erforderlich, um Nebenaussendungen zu erkennen und die belegte Bandbreite zu messen. Der Signal- und Spektrumanalysator R&S®FSW vereint beide Funktionen.

Die neuen Bandbreitenoptionen R&S®FSW-B4001, -B6001 bzw. -B8001 statten das Gerät mit Analysebandbreiten von 4,4 GHz, 6,4 GHz bzw. 8,3 GHz aus, die in der Signal- und Spektrumanalyse einzigartig sind. Der Vorteil gegenüber einer Kombilösung mit Oszilloskop (für die breitbandige ZF-Abtastung) ist offensichtlich: Ein Gerät analysiert sämtliche interessierenden Frequenzbereiche und digitalisiert sie mit hoher Dynamik. Das gilt für Signale, die auf einer Zwischenfrequenz moduliert werden, für das Sendesignal im E-Band und für das niederfrequente, mit dem Sendesignal gemischte Empfangssignal. Mit dem Topmodell FSW®FSW85 steht darüber hinaus ein sehr hochwertiger Spektrumanalysator mit interner Eichleitung, Vorselektion und Spiegelunterdrückung zur Verfügung, der den Bereich von 2 Hz bis 85 GHz in einem einzigen Sweep abdeckt (Bild 3).

Maßgeschneiderte Messapplikation

Die breitbandig aufgenommenen Signaldaten liegen geräteintern zunächst in einem digitalen Format vor. Innerhalb der Analysebandbreite, Aufnahmedauer und Dynamik ist die vollständige Signalinformation enthalten, also Pegel und Phase bzw. Frequenz.

Für deren Analyse stellt Rohde&Schwarz unterschiedliche Messapplikationen zur Verfügung. Speziell für die im Automobilradar eingesetzten FMCW-Signale ist das die Option Transientenanalyse R&S®FSW-K60 mit der Erweiterung Chirpanalyse R&S®FSW-K60c. Die Software sucht im Aufnahmespeicher gezielt

Bild 3: Der R&S®FSW85 erfasst das gesamte Spektrum in einem Sweep mit Vorselektion von 2 Hz bis 85 GHz. Deutlich erkennt man das 4 GHz breite Radarsignal im E-Band bei 79 GHz.

ID	Chirp No.	State Index	Chirp Begin (ms)	Chirp Length (ms)	Chirp Rate (kHz/µs)	Chirp State Deviation (kHz/µs)	Avg Frequency (kHz)	Bandwidth (kHz)	FM Set Poir (ms
1	1	0	0.321	0.054	69951.358	95.543	12592.300	3811709.547	
2	2	0	0.807	0.055	69951.542	95.727	49986.280	3873349.642	
3	3	0	1.293	0.054	69951.268	95.453	-1538.421	3782613.257	
4	4	0	1.779	0.055	69951.502	95.687	47007.298	3879285.591	

Bild 4: Die Software-Option Transientenanalyse R&S®FSW-K60, erweitert um die Chirpanalyse R&S®FSW-K60c, liefert in einem Bild alle wichtigen Parameter eines FMCW-Signals.

nach FM-Transienten, erkennt und katalogisiert diese und stellt sie mit ihren wichtigsten Parametern in einer Tabelle dar (Bild 4). Einzelne Chirps im Aufnahmespeicher können gezielt ausgesucht und analysiert werden. Statistische Untersuchungen über viele Aufnahmen hinweg sind ebenfalls möglich.

Wichtige Parameter sind die Chirpdauer und die Chirprate, aber auch die Dauer des Einschwingvorgangs. Nichtlinearitäten in der Frequenzmodulation, also im Zeitbereich, sowie Frequenzabweichungen von der idealen Frequenz werden ebenfalls berechnet, grafisch dargestellt und statistisch ausgewertet.

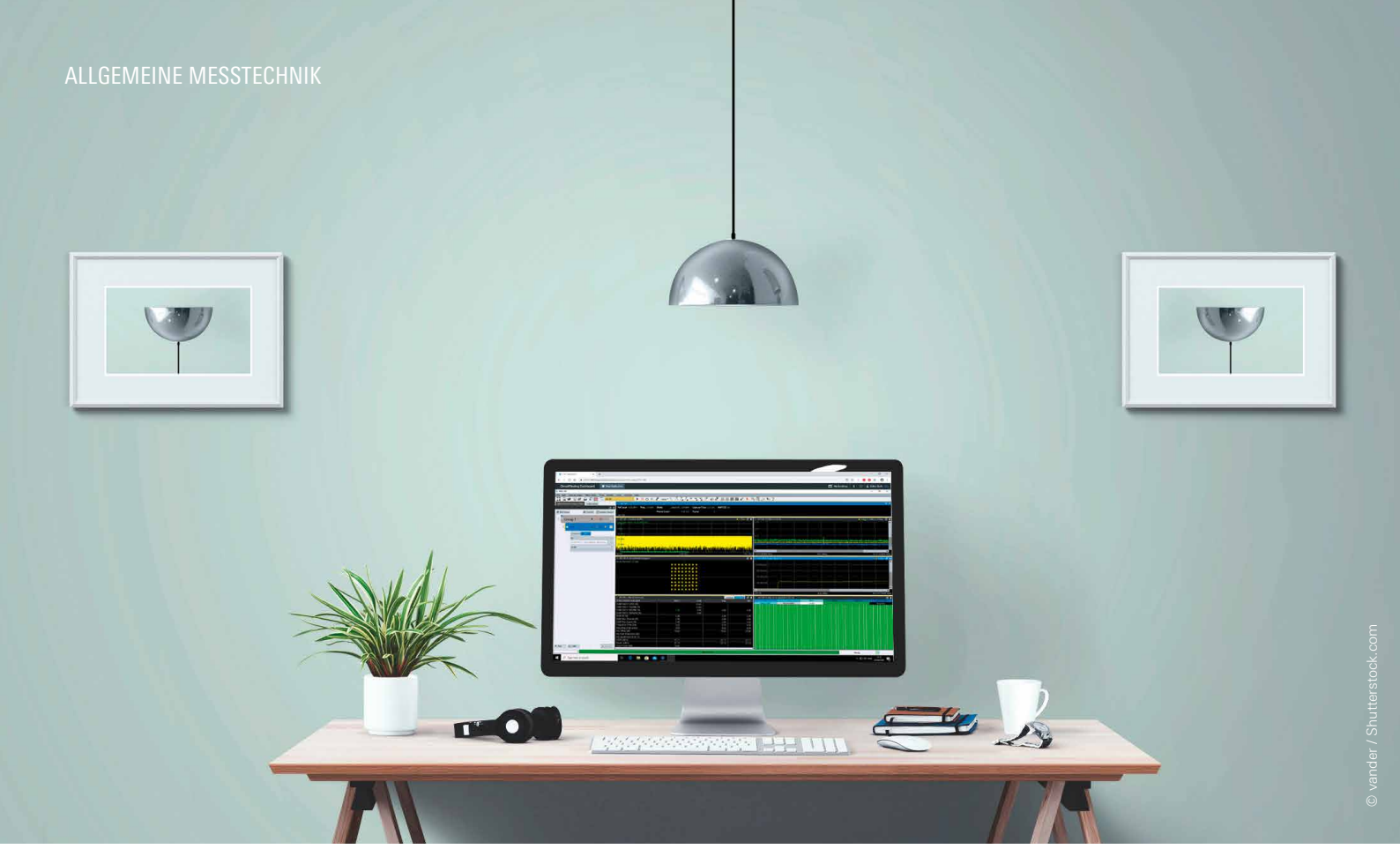
Auf Kommendes vorbereitet

Mit dem Trend zu höheren Signalbandbreiten und der immer größer werdenden Anzahl im Fahrzeug verbauter Radarsensoren nimmt die Interferenzproblematik zu: Radarsensoren empfangen die Signale von den Radargeräten benachbarter Fahrzeuge und werden dadurch in ihrer Funktion eingeschränkt oder bewirken sogar Fehlentscheidungen angeschlossener Fahrerassistenzsysteme. Abhilfe können weitere Frequenzbänder und Signalformen schaffen. So erwägen Regulierungsbehörden die Freigabe von Frequenzen jenseits von 100 GHz für Automobilradare, z. B. das 134-bis-141-GHz-Band. Innerhalb der hier verfügbaren 7 GHz könnte ein 4-GHz-Sensor im Interferenzfall per Frequenzsprung in einen ungestörten Teilbereich ausweichen.

Technologien wie Software-defined Radar bieten die Möglichkeit, ganz andere Wellenformen zu nutzen, etwa das bei LTE und 5G genutzte orthogonale Frequenzmultiplexverfahren (OFDM). Durch unterschiedliche Modulation der einzelnen Transceiver-Kanäle ließe sich die Mehrantennentechnik MIMO noch effektiver nutzen, wie Uhnder das mit seinem RoC demonstriert. Es könnten auch individuelle Parameter auf die einzelnen Radarsignale moduliert werden, die die eindeutige Zuordenbarkeit des Empfangssignals ermöglichen würden.

Wohin sich die Technik auch entwickelt, der R&S®FSW ist mit bis zu 8,3 GHz Analysebandbreite und einer Vielzahl von Messapplikationen schon heute dafür gerüstet.

Martin Schmähling



© vander / Shutterstock.com

DAS MESSLABOR INS HOMEOFFICE HOLEN

Die Corona-Pandemie hat viele Arbeitnehmer auf einen Heimarbeitsplatz verbannt. Für Ingenieure, die ständigen Zugriff auf Messgeräte benötigen, ist das nur selten eine Option. Aber es gibt auch hier Abhilfe.

Die Fernsteuerung von Messgeräten gehört seit Jahrzehnten zum Standard in den Laboren und Systemhäusern. Schon preiswerte Geräte verfügen heute mindestens optional über die nötigen Schnittstellen dafür. Hochwertige Geräte haben sogar oft einen Webserver an Bord, der sie über jeden Browser aus der Ferne bedienbar macht. Nur die IP-Adresse muss bekannt und das Gerät übers Netz erreichbar sein. Bei abgesetzten, unbemannten Messstationen mit einem statischen Aufbau ist die Fernabfrage und -bedienung ohnehin gang und gäbe. Wichtig ist in allen Fällen ein wirksamer Zugangsschutz mit Authentifizierungsmechanismen. In einer abgeschirmten Laborumgebung ist das kein Problem. Hier wird die Fernbedienbarkeit gern als Komfortmerkmal genutzt, etwa um nicht ständig zwischen dem Arbeitsplatz und dem woanders stehenden Gerätepark hin und her pendeln zu müssen. Eins ist diesen Szenarien gemeinsam: Es handelt sich um Einzel- und Speziallösungen, die für jede Anwendung neu aufgesetzt werden müssen. Will man das Thema Messgerätefernsteuerung größer denken und als einfach handhabbaren Standard etablieren, kommt man um einen Lösungsansatz nicht herum: die Cloud.

Kollaborativ messen über die Cloud

EaaS (Everything as a Service) steht hoch im Kurs und wird immer populärer. Die Nutzer eines solchen zumeist auf Cloud-Technologie basierenden Dienstes sparen

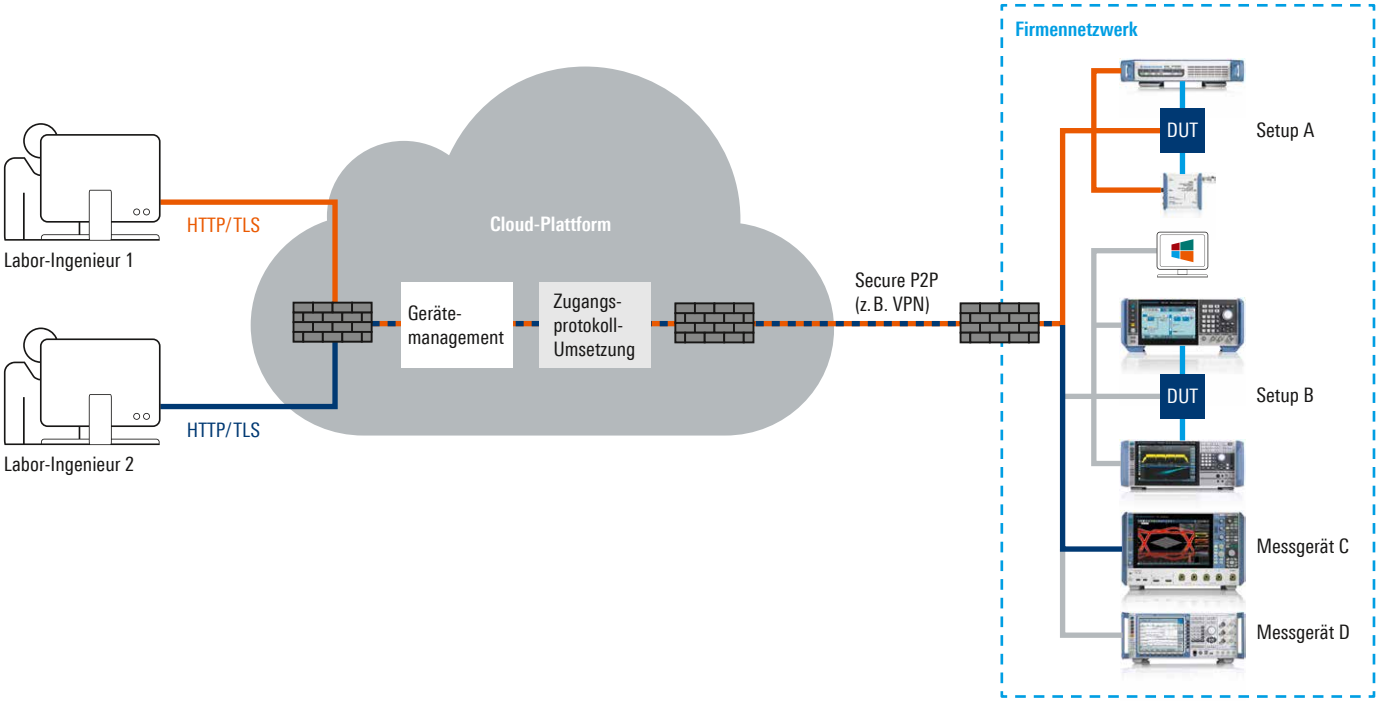
Investitionskosten, weil sie die Infrastruktur dahinter nicht selbst betreiben müssen und zahlen nur für die tatsächlich in Anspruch genommene Leistung. Außerdem sind solche Dienste in der Regel hoch skalierbar: Der Nutzer kann davon ausgehen, dass die benötigte Kapazität bereitsteht. Voraussetzung für die Verlagerung eines Dienstes in die Cloud ist die Möglichkeit, ihn zu virtualisieren. Der Nutzer bucht am virtuellen Tresen nur eine nach Art, Zeit, Umfang und Qualität festgelegte Leistung, das Management-System der Cloud vermittelt die passenden Ressourcen.

Solche Systeme, wie sie typischerweise von großen Cloud-Betreibern für diverse Aufgaben angeboten werden, lassen sich in kleinerem Rahmen auch für messtechnische Dienste einrichten. Unterschiede zu einer typischen SaaS-Lösung (Software as a Service) ergeben sich aus der Art der Leistung und Ressourcen. Ein Unternehmen, das seinen Messgerätepark oder einen Teil davon virtuell poolen will, um ihn unternehmensweit von jedem Ort aus zugänglich zu machen, hat nur eine beschränkte Anzahl von jedem Messgerätetyp im Portfolio, und jedes Gerät kann, anders als ein Server, immer jeweils nur für eine einzelne Messaufgabe in Beschlag genommen werden. Die Skalierbarkeit steht hier aber auch nicht im Vordergrund. Immer wichtiger wird dagegen, gerade auch im Entwicklungsumfeld, das kollaborative Arbeiten – oder eben das Arbeiten im Fernzugriff, wie es derzeit angesagter ist denn je.

Bild 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Messtechnik-Cloud. Der Betreiber hat einen Satz von Messgeräten für den Cloud-Zugriff reserviert und Gerätegruppen zu häufig genutzten Setups zusammengeschaltet. Da die meisten Messgeräte aber nun einmal ein physisch angeschlossenes Messobjekt brauchen, ist eine Messtechnik-Cloud nicht völlig virtuell betreibbar. Ein dienstbarer Geist vor Ort muss den Anschluss besorgen. Oft wird das der Cloud-Nutzer bei Gelegenheit selbst tun, um anschließend seine Analysen aus der Ferne durchzuführen. Im Extremfall befinden sich Messgeräte und Bediener in verschiedenen Ländern oder sogar Kontinenten, etwa bei einem kollaborativen Entwicklungsprojekt. Hier wird jeder Betreiber abhängig von der Situation und Aufgabenstellung eine gangbare Lösung finden.

Der Zugang erfolgt über einen beliebigen Web-Browser. In Richtung Cloud sorgt die Web-eigene TLS-Verschlüsselung für eine geschützte Verbindung. Cloud-typisch beinhaltet das System einen Geräteverwaltungsdienst, der Mehrfachbelegungen verhindert und zeitliche Reservierungen ermöglicht. Buchen kann man sowohl Einzelgeräte als auch vorkonfigurierte Gerätegruppen, die über einen lokalen Steuerrechner verwaltet werden, der auch zum Datenaustausch mit dem Setup dient, beispielsweise zum Hochladen von Wellenform- oder Skriptdateien. In Fällen, in denen ein Gerät den Zugang über die

Bild 1: Eine Messtechnik-Cloud, wie sie Rohde&Schwarz für sich selbst betreibt und auch bei Kunden einrichten könnte. Geräte und Gerätegruppen lassen sich darüber von beliebigen Orten aus nutzen. Zwei Anwender greifen im Beispiel gleichzeitig auf verschiedene Geräte zu.



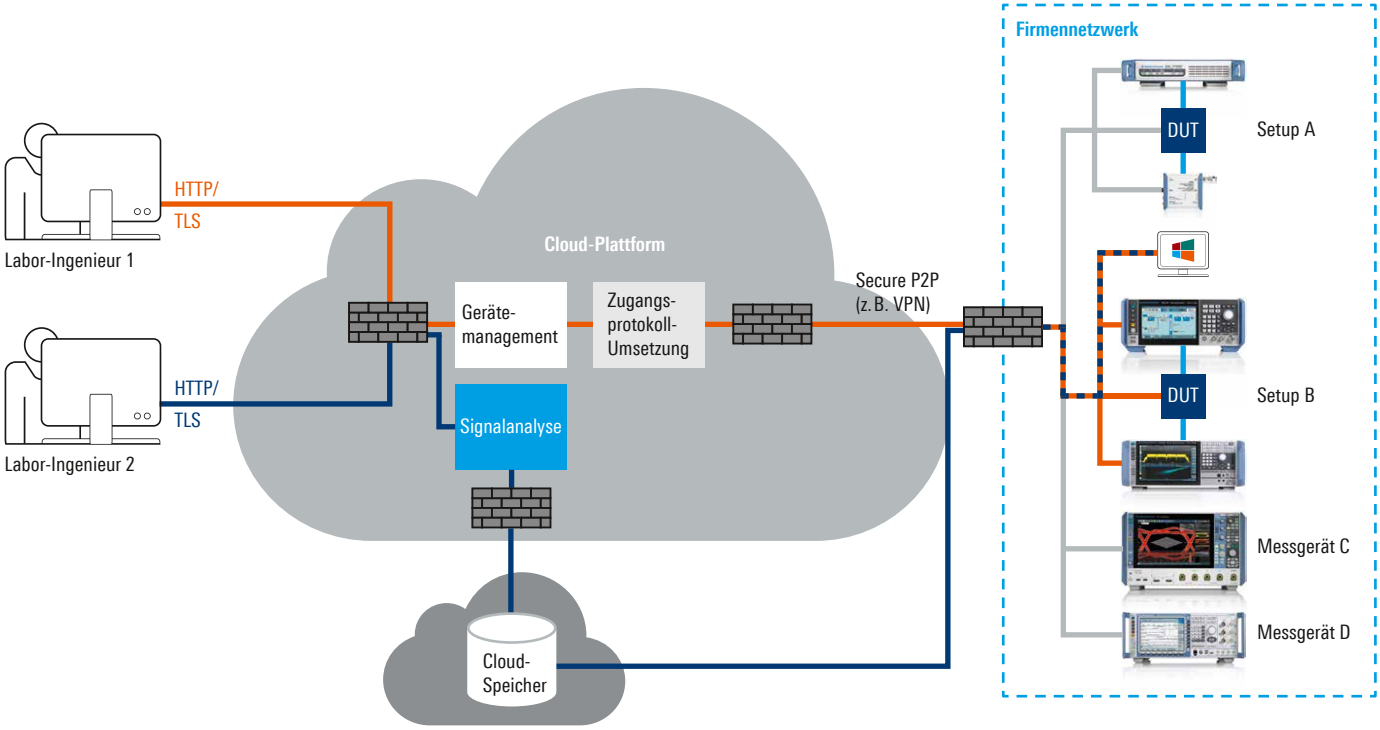
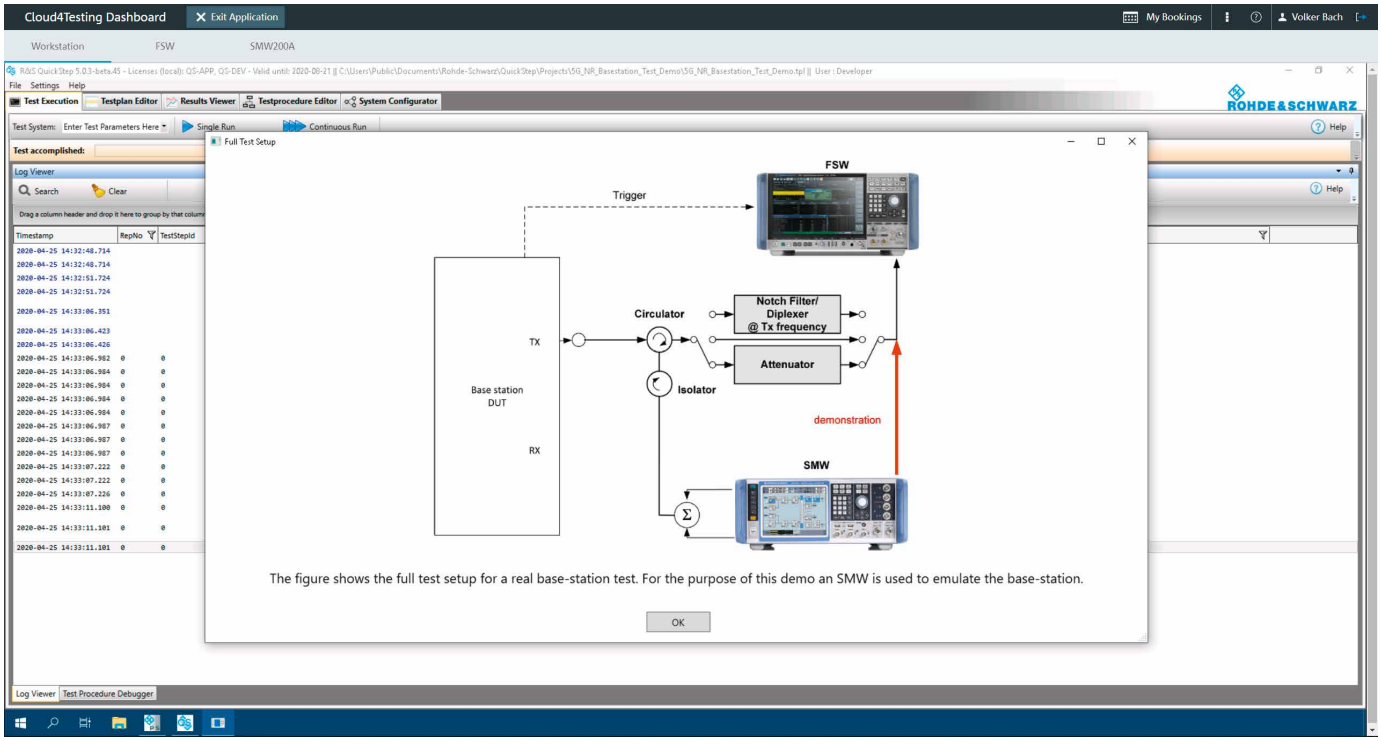


Bild 2: Erweiterung der Cloud-Funktionalität in Bild 1 um einen Datenanalysepfad. Die Messdatenerhebung am Ort der Messgeräte und die Datenauswertung können so voneinander entkoppelt und von verschiedenen Personen durchgeführt werden. Rohde&Schwarz bietet eine solche Analyse-Cloud zur öffentlichen Nutzung an: www.rohde-schwarz.com/cloud4testing.

Bild 3: Rohde&Schwarz nutzt die eigene Messtechnik-Cloud auch für Demonstrationen und Schulungen, hier am Beispiel eines gescripteten Basisstations-Tests.



Remote-Desktop-Protokolle RDP oder VNC unterstützt, vermittelt ein Zugangsprotokoll-Übersetzungsdienst die Verbindung. Der Datenstrom wird dann über einen dedizierten Punkt-zu-Punkt-Kommunikationskanal, etwa einen sicheren VPN-Tunnel, von der Cloud-Plattform zur fernbedienten Hardware geleitet.

Um die Möglichkeiten für arbeitsteilige Messungen noch auszuweiten, lässt sich das Modell in Bild 1 um einen Cloudspeicher-Baustein ergänzen (Bild 2). Auf diese Weise können Messdatenerhebung und Datenanalyse voneinander getrennt werden. Beispielsweise nimmt der eine Ingenieur die Messungen vor und überträgt die Messdaten in den Cloud-Speicher, während ein zweiter zu einem genehmen Zeitpunkt und von einem beliebigen Ort aus die softwaregestützte Analyse durchführt.

Cloud4Testing

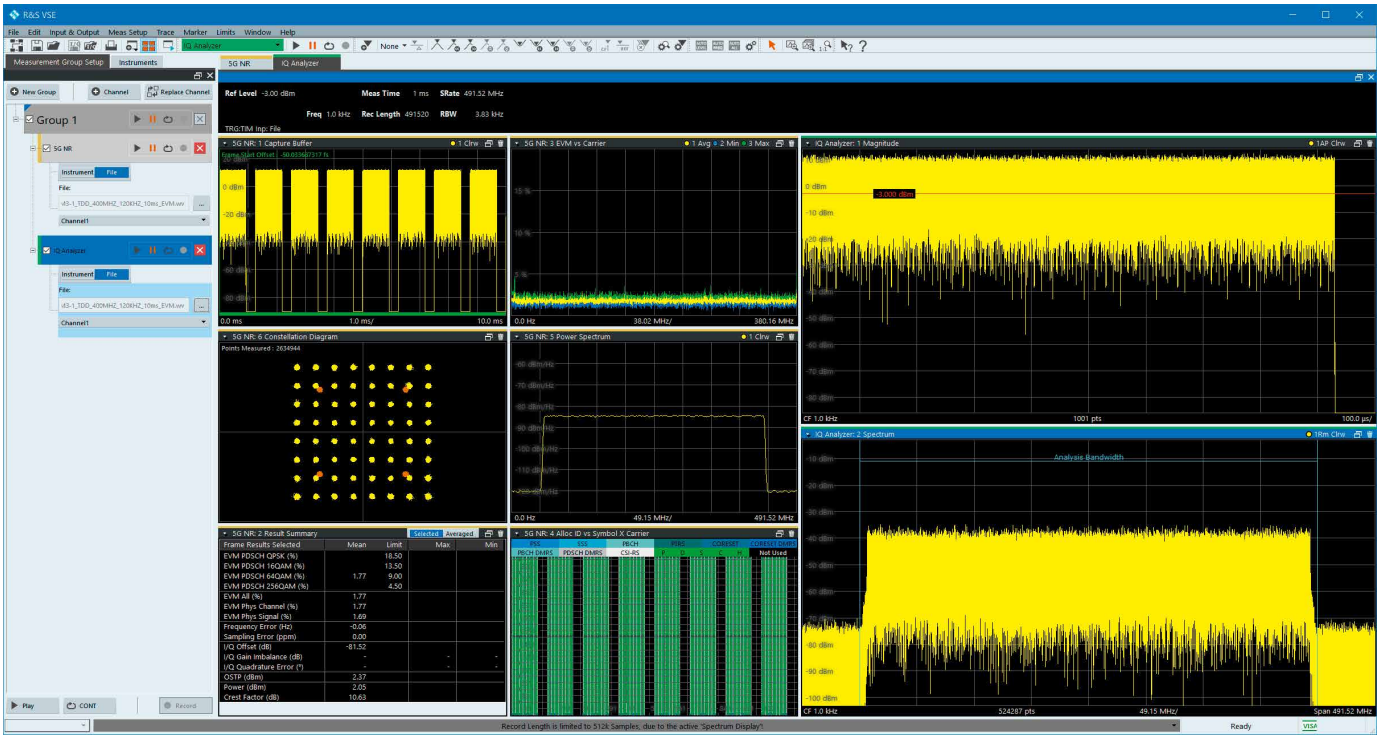
Genau diesen Anwendungsfall – die cloudgestützte Messdatenauswertung – deckt der neue Rohde&Schwarz-SaaS-Dienst R&S®Cloud4Testing ab, der unter www.rohde-schwarz.com/cloud4testing von jedem Interessenten kostenpflichtig in Anspruch genommen werden kann (kostenlose Schnupperangebote stehen zur Verfügung). Aktuell bietet der Dienst Analysepakete für verschiedene Mobilfunkstandards an, aber auch für die allgemeine Transienten- und Pulsanalyse (Bilder 3 und 4). Weitere Pakete sind in Vorbereitung.

Die „große“ Cloudlösung für den Gerätezugriff ist eine überlegenswerte Einrichtung für Unternehmen, die ihren Messgerätebestand oder Teile davon für kollaboratives Arbeiten, Kundendemonstrationen, Schulungen, eine bessere Auslastung oder aus anderen Gründen bequem übers Internet zugänglich machen wollen. Rohde&Schwarz unterstützt als verlässlicher Partner bei der kundenspezifischen Implementierung einer solchen Cloud, auf Wunsch mit Anbindung an einen Cloudspeicher gemäß Bild 2.

Die Virtualisierung unserer Arbeitsumgebungen macht rasche Fortschritte. Eine Mess-Cloud liegt voll in diesem Trend und wird sich nicht nur in Pandemie-Zeiten als wertvolles oder gar unverzichtbares Werkzeug erweisen.

Sascha Laumann

Bild 4: Über den SaaS-Dienst R&S®Cloud4Testing lassen sich aktuell verschiedene Pakete für Mobilfunk-, Puls- und allgemeine Signalanalyse buchen.



VERWANDLUNGSKÜNSTLER

Economy-Vektorsignalgenerator für vielfältige Aufgaben

Der R&S®SMCV100B ist die erste Multi-Standard-Plattform für Automotive-, Broadcast-, Navigations- und Wireless-Applikationen am Markt. Er ist vollständig per Software konfigurierbar und für zahlreiche Anwendungen vom Labor bis hin zur Produktion geeignet – überall dort, wo unterschiedliche Technologien aufeinandertreffen.

In der Basiskonfiguration erzeugt der Vektorsignalgenerator (Bild 1) eine Ausgangsfrequenz von 4 kHz bis 3 GHz bei einer HF-Bandbreite von 60 MHz und einer Ausgangsleistung von –110 dBm bis +15 dBm. In dieser Konfiguration ist ein ARB-Generator mit 64 Msample enthalten. In der maximalen Ausbaustufe liegt die obere Grenzfrequenz bei 7,125 GHz, die HF-Bandbreite bei 240 MHz und die maximale Ausgangsleistung bei +25 dBm. Mit 7,125 GHz ausgestattet deckt der R&S®SMCV100B auch 5G NR-Applikationen im erweiterten FR1-Frequenzbereich ab.

Die leistungsstarke, Linux-basierte Plattform ist vollständig per Softwareoptionen erweiterbar. Alle Optionen sind in der Gerätefirmware enthalten und können bei Bedarf mittels Freischaltcode aktiviert werden. Ergänzende Hardware ist nicht erforderlich. Die Optionen umfassen Frequenz- und Bandbreitenerweiterungen, Erhöhung der HF-Ausgangsleistung, größere Speichertiefen für den ARB-Generator sowie eine Verbesserung des Phasenrauschens auf weniger als –125 dBc (20 kHz Offset) bei 1 GHz (Bild 2).

Im R&S®SMCV100B wird für die Signalgenerierung ein HF-DAC eingesetzt, der es erlaubt, die I/Q-Modulation und die HF-Signalgenerierung im Digitalbereich durchzuführen. Dadurch werden sehr gute Werte bezüglich I/Q-Imbalance, Restträger-/Seitenband-Unterdrückung und EVM erreicht. Bis zu einer Ausgangsfrequenz von 2,5 GHz wird das HF-Signal unmittelbar vom HF-DAC generiert, für höhere Frequenzen durchläuft das Signal aus dem HF-DAC einen Mischerzweig.

Der R&S®SMCV100B kann wie auch andere Signalgeneratoren im Portfolio von der PC-Software R&S®WinIQSIM2 mit vorberechneten Signalen versorgt werden. Diese Simulations-Software unterstützt alle gebräuchlichen Wireless-Standards inklusive solcher für IoT sowie das Generieren nicht-zellularer Signale wie Wi-Fi (802.11xx) und vieler weiterer. Insgesamt stehen mehr als 30 Standards in Verbindung mit dem R&S®SMCV100B zur Auswahl. Darüber hinaus lassen sich bei aktivierter Option Custom Digital Modulation selbst definierte Signale auf das Gerät bringen und über den internen Arbitrary-Waveform-Generator ausspielen.

Bild 1: Der Vektorsignalgenerator R&S®SMCV100B für Automotive-, Rundfunk-, Navigations- und diverse Mobilkommunikationsanwendungen.

Für Go/NoGo-Tests kann der Generator Signale eines einzelnen Navigationssatelliten für die Standards GPS, GLONASS, Galileo und BeiDou erzeugen. Zum Durchführen von Funktionstests mit fester Satellitenposition, z. B. in der Produktion, lassen sich vordefinierte, zeitlich begrenzte I/Q-Sequenzen abspielen.

Die Speichertiefe des ARB-Generators beträgt in der Basiskonfiguration 64 Msample. Sie lässt sich per Keycode auf bis zu 1 Gsample erweitern. Reicht das nicht aus, besteht die Möglichkeit, per Waveform-Streaming I/Q-Signalszenarien mit HF-Bandbreiten bis zu 56 MHz von der internen SSD oder einem USB-Speichermedium abzuspielen. Über die digitale I/Q-Schnittstelle können dem R&S®SMCV100B auch Daten von extern, beispielsweise vom I/Q-Rekorder R&S®IQW, zugespielt werden.

FPGA-basierte Echtzeitcoder für die weltweit gebräuchlichen Rundfunkstandards sind vorhanden. Der R&S®SMCV100B beherrscht analoge und digitale Audiostandards sowie digitale terrestrische und satellitengestützte Fernsehstandards der zweiten und dritten Generation. Zu den DVB-Standards DVB-T2 und DVB-S2X wird erstmalig auf einer Economy-Plattform auch ATSC 3.0 angeboten.

Für Empfängertests, bei denen ein definiertes C/N-Verhältnis gefordert ist, steht ein breitbandiger interner Rauschgenerator zur Verfügung.

Mit seinem Halb-19"-Gehäuse ist der Generator ideal für den platzsparenden Einbau in Racks. Auf dem Labortisch überzeugt er durch kompakte Abmessungen und sein Lüftungskonzept. Die Abluft wird mit einem minimalen Lüfter-Schallleistungspegel von nur 52 dB(A) an der Rückseite abgegeben.

Ralph Kirchhoff

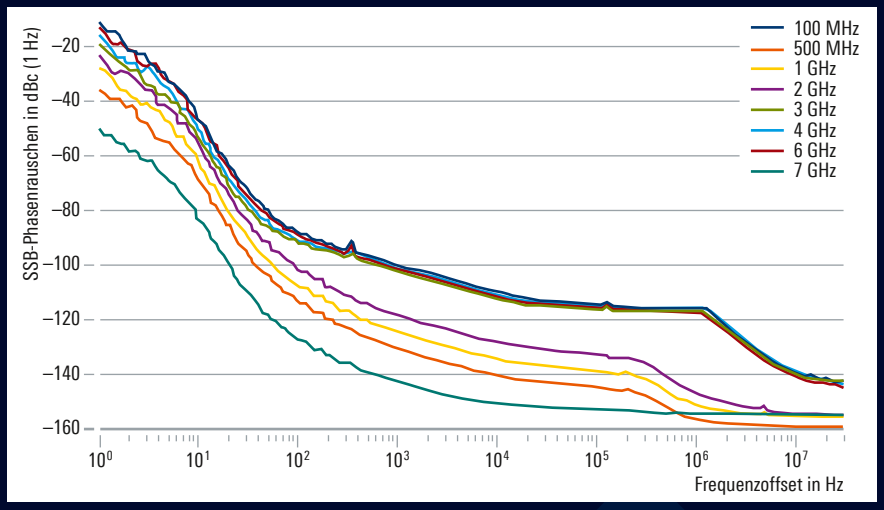


Bild 2: Gemessenes SSB-Phasenrauschen für verschiedene Trägerfrequenzen (mit der Option R&S®SMCVB-K709 für niedriges Phasenrauschen).

APPLIKATIONEN

Durch die vielen verfügbaren Standards und seine Funktionalität ist der R&S®SMCV100B ideal für eine Vielzahl von Anwendungen geeignet.

Forschung und Ausbildung

In Labors an Universitäten, Schulen usw.

Breitbandmarkt

Allzweckgenerator in Labors

Mobilfunkmarkt

Signale für Kommunikationsstandards wie 5G, LTE, IoT und Wi-Fi, entsprechend den verschiedenen Versionen von IEEE 802.11, Bluetooth™ und anderen Standards

Rundfunk- und Endgeräteindustrie

Herstellung und Prüfung von Rundfunkempfängern, Set-Top-Boxen, TV-Empfängern usw.

Automotive-Industrie

Produktion, End-of-Line-Prüfung von Autoradios, Unterhaltungs- und Navigationssystemen und vielen anderen Produkten

Elektronikfertigung

Herstellung verschiedener Produkte mit ständig variierenden Anforderungen an Modulationsarten, Systembandbreiten usw.

QUELLENPFLEGE

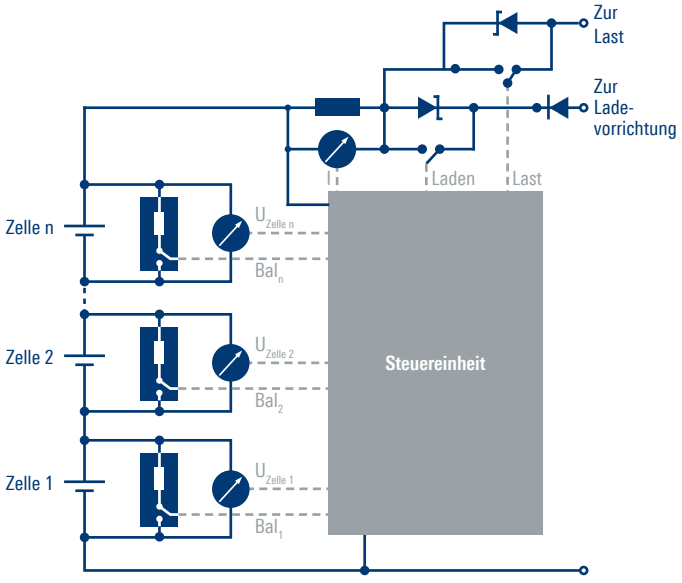
Test von Batteriemanagementsystemen mit den Netzgeräten R&S®NGL200 und R&S®NGM200

Seit der Lithium-Ionen-Akku zum preiswerten Massenartikel geworden ist, hängen fast nur noch stationäre Geräte am Kabel, aufladbare Batterien sind Standard. Für den Betrieb von Kleingeräten wie Zahnbürsten oder Smartphones genügen einzellige Akkus, während Akkus für Geräte mit höherem Leistungsbedarf aus einer Serienschaltung von Zellen bestehen. Diese Zellengruppen müssen aktiv gemanagt werden. Das übernehmen Batteriemanagementsysteme (BMS), die den Lade- und Entladevorgang überwachen und steuern.

Zu den Aufgaben eines BMS gehören:

- Ermittlung des Ladezustands einzelner Zellen (State of Charge, SOC)
- Ermittlung des Gesamtladezustands, auch Fuel Gauging genannt
- Überwachung der Integrität einzelner Zellen (State of Health, SOH)
- Maximierung der Lebensdauer durch optimale Ladung der einzelnen Zellen
- Frühzeitiges Erkennen und Vermeiden von Gefahrensituationen, beispielsweise das Überhitzen oder sogar Entzünden einer Zelle

Bild 1: Aufbau einer mehrzelligen Akku-Stromversorgung mit intergriertem Batteriemanagementsystem. Während der Entwicklung des Managementsystems simuliert man die Zellen durch geeignete Stromversorgungsgeräte.



Durch die Reihenschaltung der Zellen ist der Lade- und Entladestrom für alle Zellen zunächst gleich. Geringfügige Fertigungsunterschiede und unterschiedliche Alterung würden über viele Lade- und Entladezyklen aber zu einem zunehmend unterschiedlichen Ladezustand der Zellen führen, der die nutzbare Kapazität und die Lebensdauer des Akkumulators verringert. Daher überwachen die BMS die Spannungen der einzelnen Zellen und sorgen für einen Ausgleich des Ladezustands innerhalb der Zellen (Balancing).

Beim Balancing unterscheidet man zwischen passiven und aktiven Verfahren. Passive Verfahren entladen die Zellen mit dem höchsten Ladezustand während des Ladevorgangs über Lastwiderstände bis zur gleichen Ladung wie die restlichen Zellen. Aktive Verfahren können dagegen auch während der Entladung mittels Schaltreglern Energie von den am höchsten geladenen Zellen in die am wenigsten geladenen Zellen übertragen.

Ein beispielhaftes Blockschaltbild eines Batteriemanagementsystems zeigt Bild 1.

Da die Batteriemanagementsysteme eine entscheidende Rolle für die Sicherheit und Lebensdauer von Akkumulatoren spielen, erfordert ihre Entwicklung besonderes Augenmerk. Dabei ist es wichtig, deren Verhalten bei allen zu erwartenden Betriebszuständen und Fehlerfällen zu testen. Damit dies zielgerichtet möglich ist, muss das Verhalten einzelner Zellen möglichst genau simuliert werden können. Dafür kommen steuerbare Netzgeräte mit integrierter Spannungs- und Strommessfunktion zum Einsatz.

Das Verhalten der Zellen ist vor allem charakterisiert durch die Leerlaufspannung und den Innenwiderstand in Abhängigkeit vom Ladezustand. Der Strom muss gemessen und die Spannung in Abhängigkeit davon eingestellt werden. Für kleine bis mittlere Leistungen können die Netzgeräte dies durch die integrierte Batteriesimulation direkt nachbilden. Für sehr große Leistungen simuliert Software die eigentlichen Lade- und Entladeströme und in den Netzgeräten fließen nur die Ausgleichsströme.

Eine Grundanforderung an Netzgeräte für diesen Einsatz ist der Zwei-Quadranten-Betrieb, in dem das Netzgerät zur Simulation der Batterieentladung Energie abgeben muss, für den Ladevorgang jedoch durch Umkehrung

des Stromflusses Energie aufnehmen können muss. Eine weitere Anforderung ist die Einstellung der Ausgangsspannung in Abhängigkeit vom Ladezustand des simulierten Akkus sowie vom aktuellen Stromfluss. Dafür muss das Netzgerät eine Strommessfunktion haben. Für die realistische Nachbildung des Innenwiderstands einer Zelle muss sowohl die Strommessung als auch die Einstellung der Spannung mit hinreichend kurzen Latenzzeiten möglich sein.

Die Netzgeräte R&S®NGL200 und R&S®NGM200 bieten neben dem Zwei-Quadranten-Betrieb und kurzen Einstellzeiten auch eine hochgenaue Strom- und Spannungs-Messfunktion und sind somit prädestiniert für den Test von Batteriemanagementsystemen. Die einzelnen Kanäle sind gegenüber dem Schutzleiter isoliert und für eine relative Spannung von bis zu 250 V ausgelegt, was für eine Reihenschaltung von etwa 50 Lithium-Ionen-Zellen ausreichend ist. In der zweikanaligen Version R&S®NGL202 bzw. R&S®NGM202 ermöglichen sie einen platzsparenden Aufbau auch für die Simulation einer großen Anzahl von Zellen (Bild 2).

Das R&S®NGM200 bietet gegenüber dem R&S®NGL200 neben einer erhöhten Messgenauigkeit für Spannung und Strom durch Messbereichsumschaltung und einer genaueren Nachbildung des Innenwiderstands auch eine Option zur direkten Simulation von Batteriezellen. Der Verlauf der Zellenspannung und des Innenwiderstands in Abhängigkeit vom Ladezustand kann durch Textdateien definiert werden. Für die gebräuchlichsten Batteriesysteme sind solche Beschreibungen ab Werk bereits vorhanden. Darüber hinaus können mit dem R&S®NGM200 die gemessenen Verläufe von Spannung und Strom für eine detaillierte Analyse mit bis zu 500 000 Werten pro Sekunde erfasst werden.

Thomas Lechner

Bild 2: Mit acht Netzgeräten R&S®NGM202 lassen sich Batteriemanagementsysteme für bis zu 16 Zellen testen.

Tests an BMS-Systemen

- Test des Zellen-Balancing durch Einstellung unterschiedlicher Zellspannungen
- Test des Fuel Gauging über mehrere Lade- und Entladezyklen
- Verhalten des BMS bei Zellen-Über- und -Unterspannung
- Simulation von Zellenausfällen
- Verhalten des BMS bei Übertemperatur von Batteriezellen
- Simulation unterschiedlicher Alterung von Zellen
- Test der Erkennung von Last und Ladevorrichtung
- Test von Abschaltvorrichtungen durch Simulation von Fehlfunktionen in der Ladevorrichtung (Überspannung) und Last (erhöhte Stromaufnahme bzw. Kurzschluss)

Vorteile von R&S®NGL200 und R&S®NGM200 beim Test von Batteriemanagementsystemen

- Leichte Skalierbarkeit
- Einfacher Aufbau durch Einbau in 19"-Gestelle und rückseitige Verkabelung
- Flexibel durch Kombination von universellen Netzgeräten mit spezifischer Anwendungssoftware
- Direkte Nachbildung des Innenwiderstands
- Eingebaute Batteriesimulation (R&S®NGM200)
- Logging und Fast Logging (R&S®NGM200) für hochgenaue und zeitlich hochauflösende Strom- und Spannungsmessungen

EFFIZIENZSCHUB FÜR JEDES LABOR

DC-Netzgeräteserie R&S®NGP800 versorgt bis zu vier Prüfobjekte gleichzeitig

Standard-Labornetzgeräte mit bis zu 100 W Ausgangsleistung stoßen bei den Anforderungen moderner Schaltungen zunehmend an Grenzen. Die neue Netzgeräteserie R&S®NGP800 (Bild 1) ist zukunftssicher. Ihre Einsatzgebiete liegen nicht nur im Bereich Konsumgüter, sondern auch in der Medizintechnik, bei industriellen und A&D-Anwendungen sowie in der Automobilelektronik, zum Beispiel beim Testen und Entwickeln von 48-V-Bordnetzkomponenten. Ihre Flexibilität, Funktionalität, Schutzfunktionen und Konnektivität prädestinieren sie für vielseitigen Einsatz in Forschung und Entwicklung, im Prüf- und Produktionsumfeld, in der Qualitätssicherung, im Service sowie in der Ausbildung.

Bild 1: Die DC-Netzgeräteserie R&S®NGP800 umfasst fünf Modelle mit 400 W oder 800 W. Mit dem großen Touchscreen hat man alles im Blick, hier eine Übersicht über alle Kanäle.

Der große Touchscreen, zahlreiche Komfortfeatures und das platzsparende Design machen die Geräte zum Allrounder auf dem Labortisch. Dank kurzer Befehlsverarbeitungszeiten, einer Vielzahl an Fernsteuerschnittstellen und der Möglichkeit zur Montage in Racks sind sie ebenso gut in automatisierte Testsysteme und Produktionslinien integrierbar.

Maximale Flexibilität

Die R&S®NGP800 liefern bis zu 800 W. An jedem der zwei oder vier Ausgänge stehen bis zu 200 W und je nach Modell maximal 64 V oder 20 A zur Verfügung. Dank der innovativen FlexPower-Technologie haben sie einen deutlich größeren Arbeitsbereich als Standardnetzgeräte gleicher Leistung. Die Nennleistung von 200 W pro Kanal wird über einen großen und stufenlosen Bereich von Spannungs- und Stromkombinationen abgegeben. Bild 2 zeigt den Arbeitsbereich für Kanäle mit 32 V / 20 A und 64 V / 10 A. Im Parallel- oder Serienbetrieb werden zudem Spannungen bis zu 250 V und Ströme bis zu 80 A erreicht (Bild 3).

Die bis zu vier galvanisch getrennten Kanäle lassen sich komplett unabhängig voneinander betreiben und ansprechen. Die Output-Taste ermöglicht den simultanen Betrieb aller oder ausgewählter Kanäle.

Maximale Funktionalität

Durchdachte Funktionen sorgen für hohe Effizienz bei den täglichen Messaufgaben. So lassen sich beispielsweise per Ramp-Funktion Einschaltströme präzise steuern und mit individuell einstellbaren Output-Delays unterschiedliche Einschaltsequenzen realisieren. Ausfalltests und die Simulation realer Stromversorgungsszenarien unterstützt die Arbiträrfunktion QuickArb. Integrierte Messungen von Strom und Spannung sowie intern errechnete Leistungswerte ermöglichen die schnelle Analyse direkt am Gerät (Bild 4). Alle Werte können für die detaillierte spätere Untersuchung und für reproduzierbare Testaufbauten protokolliert werden. Remote Sensing sorgt für eine konstante Versorgungsspannung am Verbraucher und ein konfigurierbarer User Button lässt sich mit einer häufig verwendeten Aktion belegen.

Maximale Sicherheit

Passend zur hohen Leistung verfügt die Serie R&S®NGP800 über umfangreiche Schutzfunktionen, einschließlich Überstrom-, Überspannungs- und Überleistungsschutz. Diese bewahren den Prüfling vor zu hohen Spannungen und Strömen und sind vor allem bei Grenzwerttests unerlässlich. Ansprechverhalten und Empfindlichkeit der elektronischen Sicherung sind für jeden Kanal individuell einstellbar; die Funktion Fuse Link koppelt die Sicherungen mehrerer Kanäle. Safety Limits beschränken die Prüflingsstromversorgung auf unbedenkliche Werte.

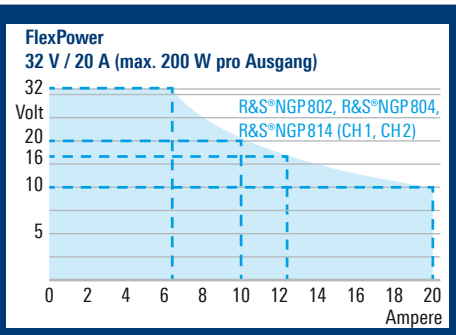
Maximale Konnektivität

Die große Auswahl an Schnittstellen zur Fernsteuerung der Geräte werden den verschiedenen Anwendungsbereichen gerecht. Alle Modelle sind serienmäßig mit USB und LAN ausgestattet; WLAN- und IEEE-488-Schnittstellen sind optional.

Triggersysteme werden mit den digitalen Ein- und Ausgängen programmiert und beispielsweise zur Synchronisation mehrerer Geräte verwendet.

Sehr kurze Einstellzeiten sind erreichbar durch die analoge Steuerung der Ausgangsspannungen und -ströme mit externen Kontrollspannungen von 0 V bis 5 V.

Anja Fenske



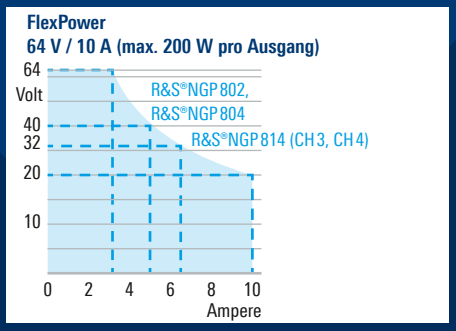


Bild 2: Dank der FlexPower-Technologie wird die Kanalleistung von 200 W für viele Spannungs- und Stromkombinationen abgegeben.

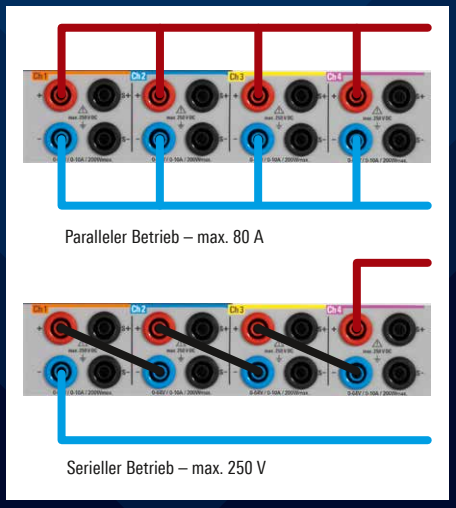


Bild 3: Bis zu 80 A oder 250 V im parallelen oder im seriellen Betrieb.

Bild 4: Die Echtzeitstatistik für Leistung, Spannung und Strom ermöglicht schnelle Analysen ohne zusätzliche Software.

ES LEBE DER KÖNIG!

Ultrabreitbandige Signalanalyse

Mit sweepbaren 85 GHz und 2 GHz Analysebandbreite war der Signal- und Spektrumanalysator R&S®FSW schon bisher der Bandbreitenkönig. Neue Analysebandbreiten bis 8,3 GHz festigen seinen Thron.

Der Trend zu höheren Signalbandbreiten setzt sich in nahezu allen Anwendungen fort, die mit Hochfrequenztechnik arbeiten. 4 GHz und mehr sind keine Utopie mehr, sondern in Radar- und Kommunikationstechnik bereits operative Gegenwart. Die Signalanalysetechnik für solche Breitbandsysteme war bisher allerdings eher ein Workaround als eine leicht bedienbare Lösung aus einem Guss. Die für die Abtastung des modulierten Bereichs nötigen A/D-Wandler gab es nur in Oszilloskopen. Daher bestanden bisherige Lösungen darin, einen Signal- und Spektrumanalysator als breitbandigen Abwärtswandler einzusetzen, der sein Signal in ein Oszilloskop einspeist. Das entsprechende Rohde&Schwarz-Setup bestand aus einem Signal- und Spektrumanalysator R&S®FSW und einem Oszilloskop R&S®RTO. Nachteile wie den höheren Hardwareaufwand und eingeschränkte Performance musste man in Kauf nehmen.

Mit der Einführung der neuen Optionen für 4,4 GHz, 6,4 GHz und 8,3 GHz interne Signalanalysebandbreite für den Signal- und Spektrumanalysator R&S®FSW besteht nun kein Grund mehr für derartige Improvisation. Die One-Box-Signalverarbeitung im R&S®FSW macht die unübertroffene Dynamik und Empfindlichkeit des Analysators, seine Präzision und EVM-Performance bis zu sehr großen Modulationsbandbreiten nutzbar. Diverse Anwendungen profitieren davon:

In der **Radartechnik** führen größere Bandbreiten zu einer besseren Entfernungsauflösung bei der Objekterkennung. Da sich die Entfernungsauflösung proportional zur Signalbandbreite verbessert, arbeiten die heutigen Kfz-Radarsysteme mit Bandbreiten von 4 GHz oder mehr in Millimeterwellenbändern (siehe die Beiträge ab Seite 20). A&D-Radare ändern die Frequenz und Modulation von einem Puls zum nächsten über einen breiten Frequenzbereich, um die Erfassungswahrscheinlichkeit durch die gegnerische Aufklärung zu verringern und um Störungen auszuweichen – wie sie beispielsweise von Störsendern ausgehen, mit denen man versucht, die Empfindlichkeit des gegnerischen Radars zu verringern oder es völlig blind zu machen. Das bewirkt man über breitbandige rauschähnliche oder frequenzagile Signale. Bei der Entwicklung und Verifikation sowohl von Radar- wie auch von Radarstörsystemen ermöglicht die breitbandige Erfassung eine detaillierte Analyse von Frequenzsprüngen und die parallele Untersuchung verschiedener Radarsysteme, die auf verschiedenen Frequenzen arbeiten.

In der **Kommunikationstechnik** wachsen die Bandbreiten mit jeder neuen Technologiegeneration, um einen immer höheren Datendurchsatz zu ermöglichen. Der WLAN-Standard 802.11ay unterstützt die Kanalbündelung, was zu Signalen mit mehr als 8 GHz Bandbreite führt*. Die sich abzeichnende Gigabit-Kommunikation im E-Band oder in Sub-THz-Bändern verlangt nach adäquater Breitbandmesstechnik. Für die digitale Vorverzerrung, die zur Korrektur der Nichtlinearitäten von Verstärkern eingesetzt wird, muss nicht nur der Nutzkanal analysiert werden, sondern auch seine Nachbarkanäle. Ein 800 MHz breites Mehrträger-5G-NR-Signal erfordert dafür bereits Analysebandbreiten bis zu 4 GHz.

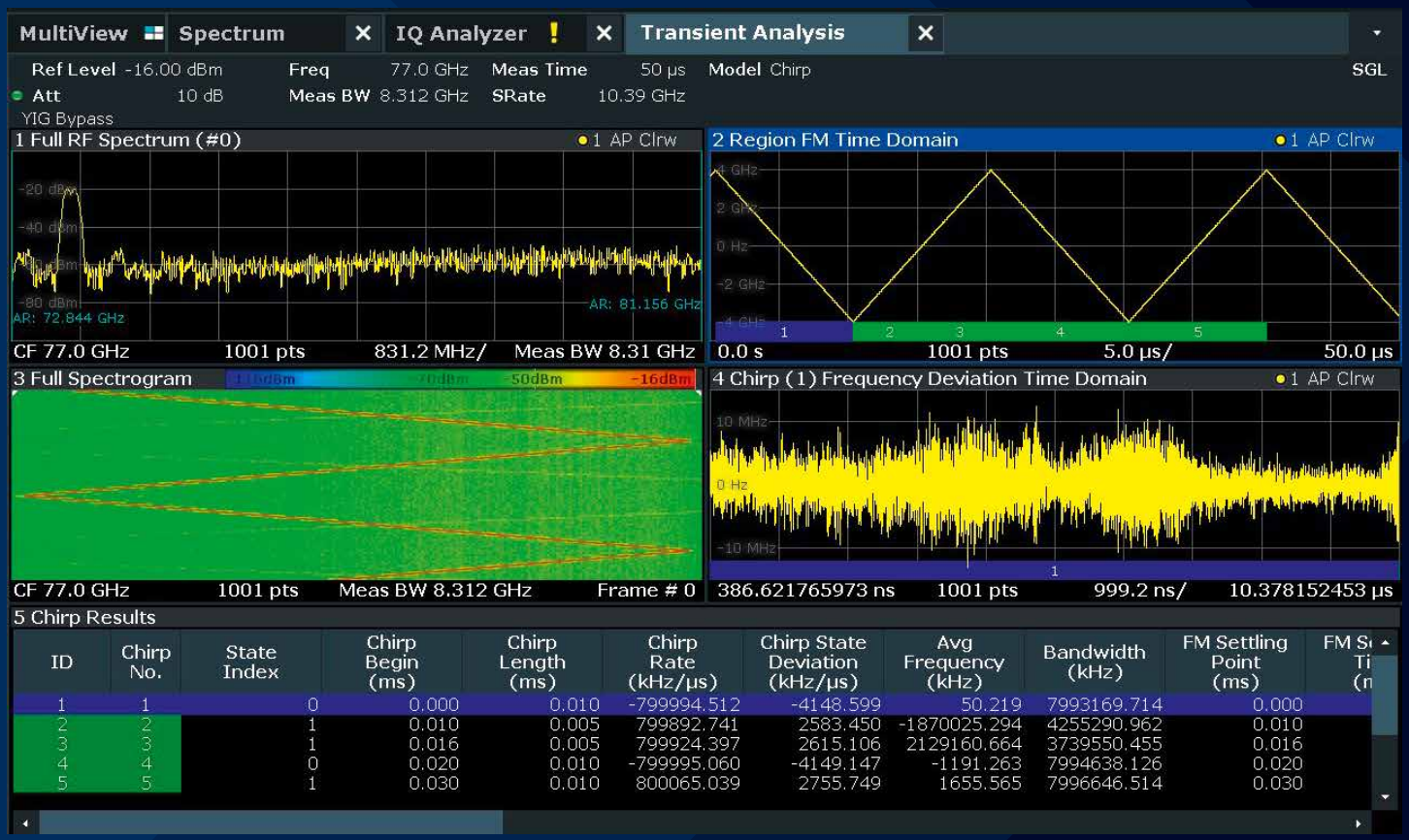
Ähnlich wie die Radar- und Kommunikationsindustrie werden zukünftige **Satellitensysteme** mit höheren Frequenzen und größeren Bandbreiten arbeiten. Bei Frequenzen von bis zu 90 GHz wird eine Erhöhung der Signalbandbreite auf 3 GHz oder 5 GHz erwartet, z. B. für High-Throughput-Satelliten, die Terabit-Konnektivität unterstützen sollen.

Melanie Mauersberger; Werner Dürport

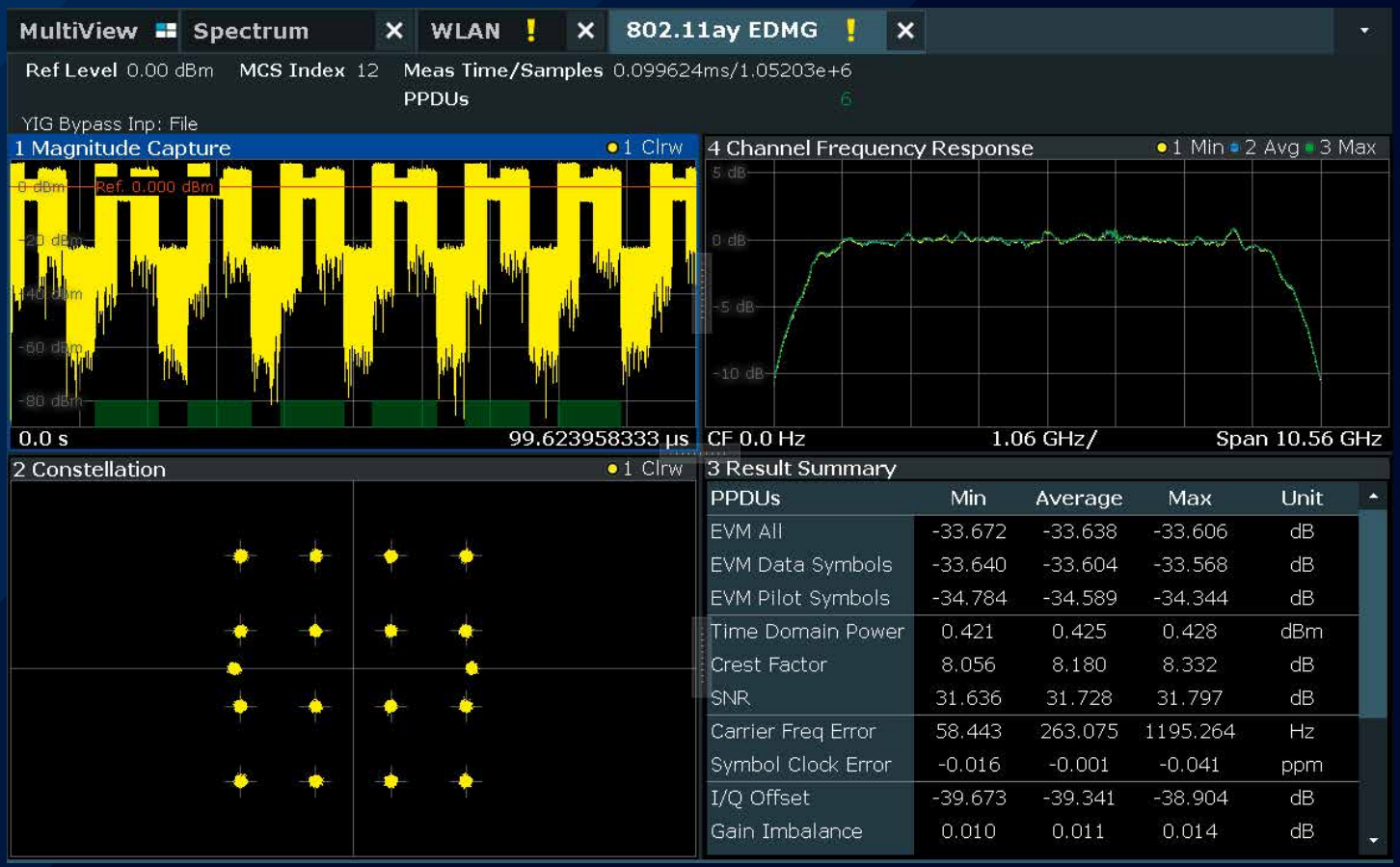
* WLAN 802.11ay: Mit bis zu 176 Gbit/s über die Luft. NEUES (2019) Nr. 221, Seite 26–27.

Bild 1: Mehr Bandbreite ist in der Radartechnik gleichbedeutend mit besserer Entfernungsauflösung. Mit 8 GHz wie bei diesem Chirp kommt man in die Größenordnung von wenigen Zentimetern.

Bild 2: Die in WLAN IEEE 802.11 ay mögliche Kanalbündelung kann zu Nutzbandbreiten von über 8 GHz führen, die einen entsprechend breitbandigen Analysator erfordert.



ID	Chirp No.	State Index	Chirp Begin (ms)	Chirp Length (ms)	Chirp Rate (kHz/µs)	Chirp State Deviation (kHz/µs)	Avg Frequency (kHz)	Bandwidth (kHz)	FM Settling Point (ms)	FM Si Ti (r
1	1	0	0.000	0.010	-799994.512	-4148.599	50.219	7993169.714	0.000	
2	2	1	0.010	0.005	799892.741	2583.450	-1870025.294	4255290.962	0.010	
3	3	1	0.016	0.005	799924.397	2615.106	2129160.664	3739550.455	0.016	
4	4	0	0.020	0.010	-799995.060	-4149.147	-1191.263	7994638.126	0.020	
5	5	1	0.030	0.010	800065.039	2755.749	1655.565	7996646.514	0.030	



PPDUs	Min	Average	Max	Unit
EVM All	-33.672	-33.638	-33.606	dB
EVM Data Symbols	-33.640	-33.604	-33.568	dB
EVM Pilot Symbols	-34.784	-34.589	-34.344	dB
Time Domain Power	0.421	0.425	0.428	dBm
Crest Factor	8.056	8.180	8.332	dB
SNR	31.636	31.728	31.797	dB
Carrier Freq Error	58.443	263.075	1195.264	Hz
Symbol Clock Error	-0.016	-0.001	-0.041	ppm
I/Q Offset	-39.673	-39.341	-38.904	dB
Gain Imbalance	0.010	0.011	0.014	dB

VEKTORIELLE MISCHERMESSUNGEN IM TERAHERTZ-BEREICH

Mit einem neuen Messverfahren charakterisiert der Netzwerkanalysator R&S®ZNA erstmals Frequenzumsetzer und Mischer bis in den Terahertz-Bereich vollständig vektoriell.

Frequenzen oberhalb von 67 GHz bis hinein in den Terahertz-Bereich gewinnen für kommerzielle Anwendungen immer mehr an Bedeutung. Für die einwandfreie Übertragung der Daten und für niedrige Bitfehlerraten müssen Systeme und Module im genutzten Übertragungskanal einen konstanten Frequenz- und einen linearen Phasengang aufweisen. Anstelle des Phasengangs werden in der Regel die Gruppenlaufzeit oder auch die Abweichung des Frequenzgangs von der linearen Phase gemessen.

In diesen hohen Frequenzbereichen sind Up- und Downkonverter besonders kritische Schlüsselkomponenten, ihre Performance ist entscheidend für die Übertragungsqualität des Gesamtsystems. Während die Messung von Betrag, Phase und Gruppenlaufzeit an koaxialen Konvertern bei einigen Gigahertz inzwischen zum Standardrepertoire der Netzwerkanalysatoren von Rohde&Schwarz gehört, ist sie im Millimeterwellen- und Terahertzbereich eine Herausforderung.

Mischermessungen oberhalb von 67 GHz bisher nur nach Betrag

Up- oder Downkonverter setzen typischerweise mittels eines Harmonischenmischers das Hohlleiter-Frequenzband in ein koaxiales Basisband unterhalb von 10 GHz um. Die übersichtliche Bedienoberfläche des R&S®ZNA unterstützt Messkonfigurationen mit bis zu vier gleichen oder zwei unterschiedlichen Konvertern der Familie R&S®ZCxxx im Frequenzbereich von 50 GHz bis 1100 GHz.

Die Frequenzen und Pegel werden am R&S®ZNA über das Mischermenü eingestellt (Bild 1). Mit seinen bis zu fünf phasenkohärenten Quellen erzeugt der R&S®ZNA alle erforderlichen Signale: die HF- und LO-Signale des Frequenzkonverters sowie das LO-Signal für den zu vermessenden Mischer.

Bisher konnte der Mischverlust von Mischern und Konvertern bei Frequenzen oberhalb von 67 GHz nur skalar, also nach Betrag gemessen werden. Die Leistungskalibrierung erfolgt dabei an der ZF- und HF-Seite mit je einem koaxialen und einem Hohlleiter-Leistungsmesser. Die Genauigkeit lässt sich durch zusätzliche Eintor-Korrekturen der Messtorfehlanpassungen zwar erhöhen, es ist jedoch keine vollständige Kalibrierung.

Vektorielle Mischermessungen erstmals bis in den Terahertz-Bereich

Für eine präzise Phasen- und Gruppenlaufzeitmessung an Frequenzkonvertern ist der R&S®ZNA jetzt mit dem UOSM-Kalibrierverfahren (**U**nknown Through, **O**pen, **S**hort, **M**atch) ausgestattet. Zusammen mit den phasenkohärenten Quellen des R&S®ZNA

Bild 1: Bedienoberfläche zur Konfiguration der Mischermessung. Das Beispiel zeigt die Einstellungen zum Vermessen eines Mischers, der das Frequenzband von 97 GHz bis 102 GHz in das Basisband von 200 MHz bis 5,2 GHz heruntermischt. Dazu verwendet er die 8. Harmonische seines LO-Signals von 12,1 GHz.

sind nun Kalibrierung und Messung von Phase, Gruppenlaufzeit sowie des Betrags des Umsetzverlustes erstmals an Mischern und Konvertern in diesen Frequenzbereichen möglich.

UOSM ist eine vollständige 2-Tor-Kalibrierung, mit der die systematischen Fehler einschließlich der Fehlanpassungen der Messtore korrigiert werden. Dazu ist nur ein koaxiales und ein Hohlleiterkalibrierkit erforderlich. Als Durchverbindungsstandard verwendet das frequenzumsetzende UOSM-Kalibrierverfahren einen reziproken Mischer. Dessen Umsetzverlust ist beim Hoch- und Heruntermischen nach Betrag und relativer Phase in beiden Richtungen unbekannt, aber identisch. Grundsätzlich sind passive Mischer ohne Isolator, auch Oberwellenmischer, weitestgehend reziprok, insbesondere hinsichtlich ihrer relativen Phase und ihrer Gruppenlaufzeit. Fehlanpassungen am HF- oder ZF-Tor des Mischers oder Dämpfungen von einigen Dezibel spielen dabei keine Rolle. In den Fällen, bei denen das DUT selbst ein passiver Mischer ist, kann dieser auch für das Kalibrierverfahren Unknown Through ohne Isolator im HF- bzw. ZF-Pfad zum Kalibrieren verwendet werden.

Nach der Kalibrierung vermisst der R&S®ZNA alle vier S-Parameter des „Mixers Under Test“, und zwar mit vollständiger Systemfehlerkorrektur (Bild 2). Er stellt Betrag, Phase, Abweichung von der linearen Phase und die Gruppenlaufzeit des Umsetzverlustes des Mischers oder Umsetzers dar (Bild 3).

Der verwendete Mischer hat – wie von einem passiven Mischer zu erwarten – eine nahezu konstante Gruppenlaufzeit. Die geringe Restwelligkeit von 200 ps Peak to Peak entspricht der Messgenauigkeit, die man bei koaxialen Mischermessungen im unteren Gigahertzbereich erreicht.

Thilo Bednorz; Andreas Henkel

Messungen jetzt bis 1100 GHz

Die neuen Konverter R&S®ZC750 und R&S®ZC1100 erweitern den Frequenzbereich des Vektor-Netzwerkanalysators R&S®ZNA auf bis zu 750 GHz bzw. 1,1 THz. Sie zeichnen sich durch bisher unerreichte Ausgangsleistungen von typ. –18 dBm (R&S®ZC750) und typ. –25 dBm (R&S®ZC1100) aus, sodass Verluste im Messaufbau, beispielsweise in Probes für On-Wafer-Messungen, besser kompensiert werden können. Die Konverter werden, wie die anderen der R&S®ZCxxx Serie auch, automatisch erkannt und eingestellt und können dann über das Konfigurationsfenster dem verwendeten Messtor zugewiesen werden. Sie werden beispielsweise für Komponentenentwicklung, Antennen- und Materialcharakterisierungen verwendet.

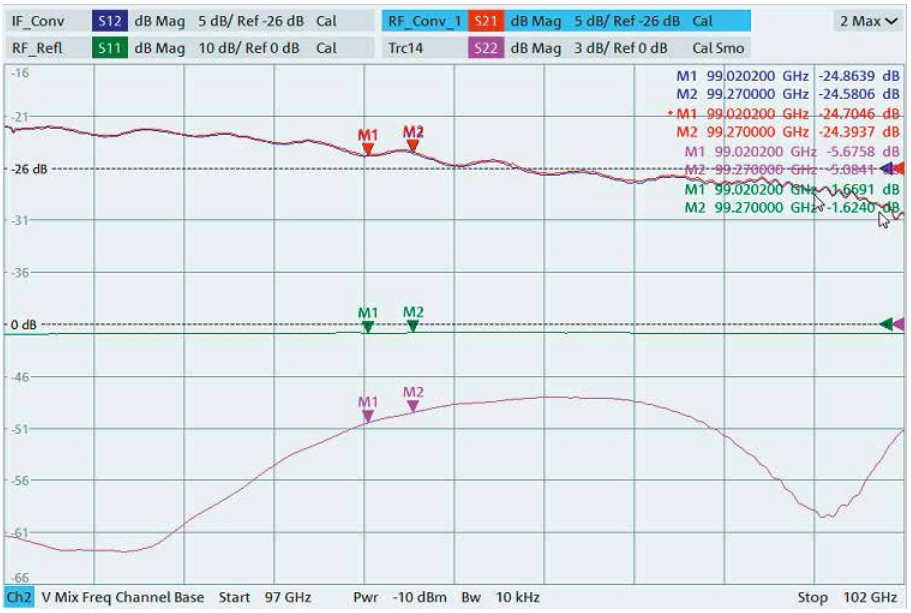
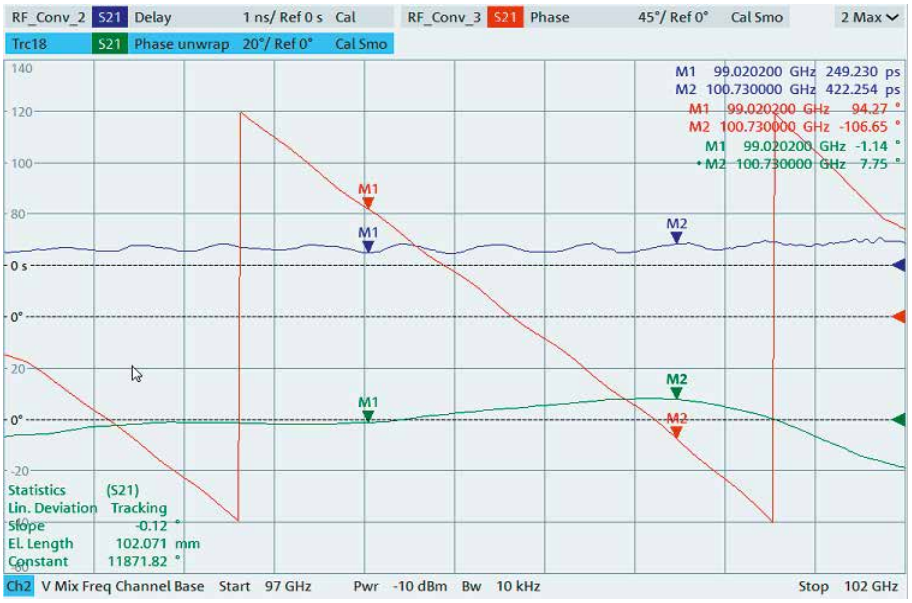


Bild 2: Transmission (rot, blau) und Anpassung vom HF- und ZF-Tor (grün, violett) nach UOSM-Kalibrierung.

Bild 3: Phase (rot), Abweichung von der linearen Phase (grün) und Gruppenlaufzeit (blau) des Mischers.



JITTER SPLITTER

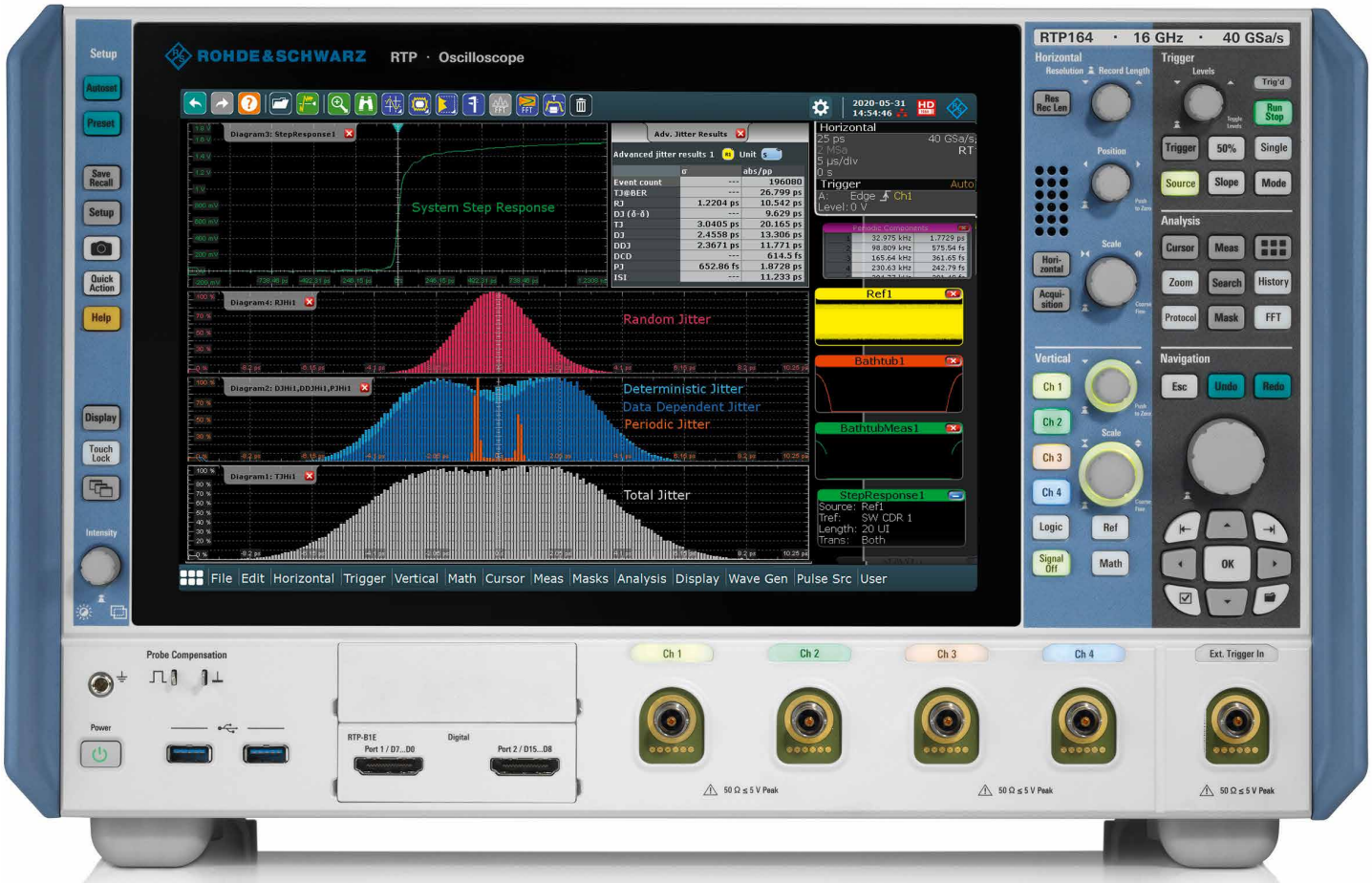
Umfassende Jitter-Analyse auf Knopfdruck

Ein neuer Signalmodell-basierter Algorithmus von Rohde & Schwarz separiert Jitter-Komponenten präzise und gibt Entwicklern tiefe Einblicke bei der Fehlersuche und Charakterisierung von schnellen Signalübertragungen in elektronischen Schaltungen.

Charakterisieren des Jitter-Budgets

Wachsende Datenraten digitaler Schnittstellen, schrumpfende Spannungspegel sowie die Komplexität und Dichte moderner Designs auf der einen Seite und der Kostendruck auf Boardmaterial, Steckverbinder oder Komponenten auf der anderen Seite treiben die Notwendigkeit zur Analyse von Jitter-Komponenten voran. Eine Möglichkeit zum Charakterisieren des Gesamt-Jitters einer Schnittstelle ist die Messung der Bitfehlerrate (BER). Die typische Ziel-BER für schnelle Schnittstellen wie USB oder PCI Express beträgt laut Spezifikation 10^{-12}. Das bedeutet, dass für eine Sequenz von 10^{12} bit nur ein einziges fehlerhaft übertragenes Bit zulässig ist. Die Validierung des Gesamt-Jitters mit einem BER-Tester ist jedoch sehr zeitaufwendig und liefert keine Details über die einzelnen Jitter-Komponenten.

Oszilloskope sind für diese Methode wegen ihres begrenzten Erfassungsspeichers ungeeignet. Eine direkte Messung des Gesamt-Jitters für eine bestimmte BER ist mit diesen Geräten nicht möglich, wie ein Beispiel zeigt:



Die Oszilloskope R&S®RTO und R&S®RTP (im Bild) helfen mit der Option Advanced Jitter Analysis R&S®-K133 bei der Charakterisierung und Fehlersuche an DUTs mit schnellen Datenschnittstellen oder kurzen Taktsignalen.

Die Messkurven-Erfassungszeit für ein Testmuster mit 10^{12} bit bei einer Datenrate von 5 Gbit/s beträgt 200 s. Bei einer Abtastrate von 20 Gsample/s wäre ein Erfassungsspeicher von 4 Tsamples erforderlich, der in den heutigen Oszilloskopen nicht verfügbar ist.

Eine kluge Lösung für dieses Dilemma war zu Beginn der 2000er Jahre die Erfindung der Jitter-Separation (auch Jitter-Zerlegung genannt) und die anschließende Schätzung des Gesamt-Jitters. Dahinter steht die Idee, dass sich der Gesamt-Jitter aus deterministischen und zufälligen Komponenten zusammensetzt. Der deterministische Jitter ist begrenzt, während der zufällige Jitter unbegrenzt ist und daher seine Spitze-zu-Spitze-Werte mit der interessierenden BER skaliert. Bild 1 zeigt diese Jitter-Komponenten in der BER-Badewannenkurve. Das „offene Auge" für den Empfänger zur Abtastung der Daten ist die Differenz zwischen dem Einheitsintervall (UI) und dem Gesamt-Jitter (TJ).

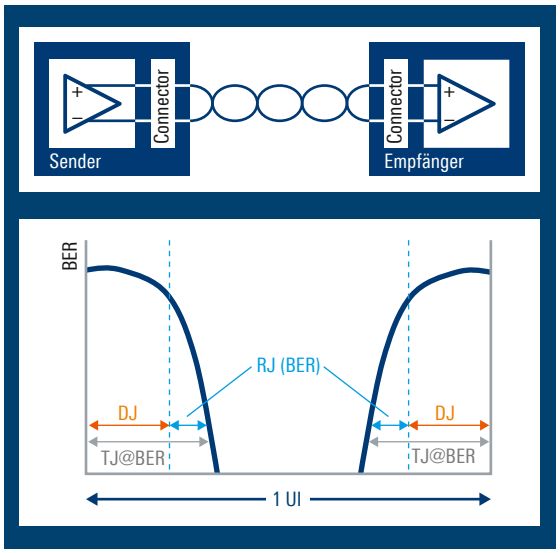


Bild 1: Bitfehlerrate eines digitalen Übertragungssystems und die dominierenden Jitter-Komponenten DJ (Deterministischer Jitter) und RJ (Zufälliger Jitter), die sich zum Total Jitter (TJ) im Einheitsintervall (UI) addieren.

Jitter-Komponenten und ihre Ursachen

Deterministische Jitter lassen sich in datenabhängige, periodische und anderweitig begrenzt-unkorrelierte Jitter-Komponenten unterteilen (Bild 2). Mit dem Wissen über dominierende Jitter-Komponenten im Signal lassen sich geeignete Maßnahmen zur Optimierung des Designs ableiten.

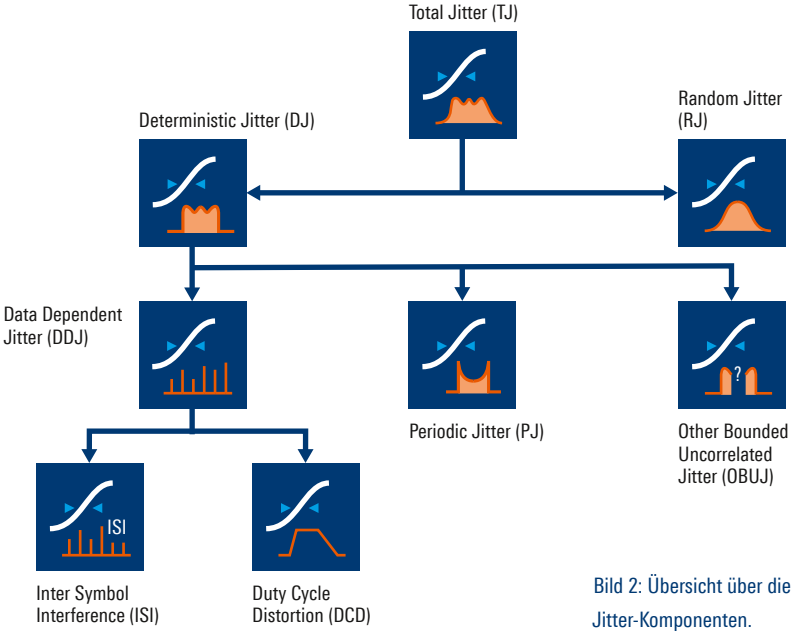


Bild 2: Übersicht über die Jitter-Komponenten.

Jitter-Komponenten haben unterschiedliche Ursachen:

- **Zufälliger Jitter (RJ)** ist beispielsweise abhängig von der Qualität des Referenztakt-Oszillators oder vom thermischen Rauschen der Halbleiterkomponenten
- **Periodischer Jitter (PJ)** wird typischerweise durch Störer aus Schaltnetzteilen oder Oszillatoren verursacht oder gibt Hinweise auf Stabilitätsprobleme von PLLs
- **Intersymbolstörungen (ISI)** stehen hauptsächlich im Zusammenhang mit Übertragungsverlusten und begrenzter Bandbreite der Schaltungen und der Signalübertragungswege, einschließlich der durch Fehlanpassungen verursachten Reflexionen
- **Duty Cycle Distortion**, also der andere Teil des datenabhängigen Jitters, weist auf Anstiegs-/Abfallzeit-Fehlanpassungen der Signalflanken oder Offset-Fehler im Sender oder Empfänger hin
- **Begrenzter unkorrelierter Jitter:** Eine typische Ursache dafür ist die Signaleinkopplung (Crosstalk) von benachbarten Signalpfaden

Die Beispiele zeigen, dass die Jitter-Separation ein wichtiger erster Schritt ist, um Designprobleme einzugrenzen und zu kosteneffizienten Lösungen zu gelangen.

Neuer Algorithmus zur Jitter-Separation

In den letzten 20 Jahren wurden die Ansätze und Algorithmen zur Jitter-Separation weiterentwickelt. Ursprüngliche Methoden wie das Tail Fitting zur Bestimmung des zufälligen Jitters und das Dual-Dirac-Modell zur Schätzung des deterministischen Jitters sind immer noch in Gebrauch und Bestandteil einiger Schnittstellenspezifikationen. Die konventionelle Methode zur weiteren Zerlegung des deterministischen Jitters reduziert die Informationen des Eingangssignals von den Abtastpunkten einer analogen Messkurve auf einen Satz von Messungen des Zeitintervallfehlers (Time Interval Error, TIE), siehe Bild 3.

Der neue Jitter-Separationsalgorithmus von Rohde&Schwarz verwendet einen analytischen Ansatz. Er basiert auf einem parametrischen Signalmodell, das das Verhalten der zu testenden Übertragungsstrecke vollständig charakterisiert (Bild 3). Der Hauptvorteil dieser Methode besteht darin, dass sie die vollständige Wellenformcharakteristik einschließlich der horizontalen und vertikalen Komponenten nutzt und damit zu genaueren und konsistenteren Messergebnissen führt, selbst bei relativ kurzen Signalfolgen.

Das Kernelement des Signalmodells ist die Sprungantwort, die die datenabhängigen Eigenschaften des Signals beschreibt. Zusätzlich sind die periodischen und zufälligen Fehlerterme enthalten:

Sprungantwort

Eingangssignal

$$y = A \cdot \begin{bmatrix} \hat{h}_{sr} \\ \hat{y}_{-\infty} \\ \hat{p}_{v} \end{bmatrix} + \epsilon$$

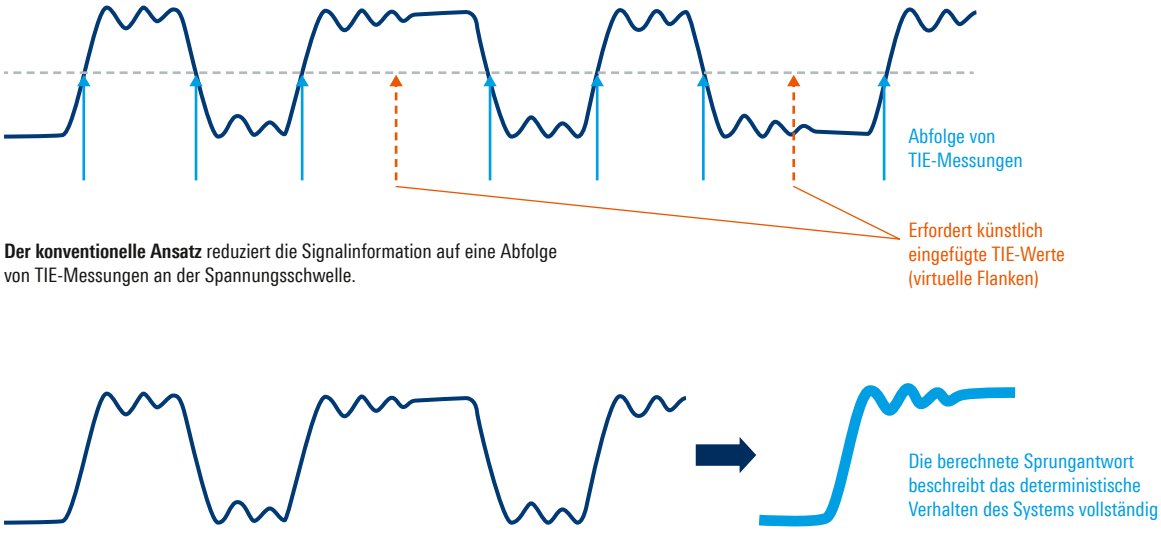
Zufälliger Fehler

Periodische Komponenten

Bild 4: Das linearisierte Signalmodell von Rohde&Schwarz beschreibt die Signalcharakteristik vollständig.

Bei der Zerlegung vergleicht ein Least-Square-(LS-)Schätzer das Eingangssignal mit dem Signalmodell und berechnet in einem iterativen Prozess die Parameter des Signalmodells. Anschließend rekonstruiert der Algorithmus auf Grundlage der Bitfolge des Eingangssignals synthetische Signalsequenzen für die einzelnen deterministischen Jitterkomponenten (Bild 5). Im nächsten Schritt wird der zufällige Jitter aus der Differenz des Eingangssignals und den datenabhängigen und periodischen synthetischen Signalsequenzen berechnet.

Bild 3: Vergleich des konventionellen TIE-basierten Jitter-Separationsansatzes mit der fortschrittlichen Methode von Rohde&Schwarz auf Basis eines Signalmodells.



Der konventionelle Ansatz reduziert die Signalinformation auf eine Abfolge von TIE-Messungen an der Spannungsschwelle.

Der Algorithmus von Rohde&Schwarz berechnet die Sprungantwort. Sie charakterisiert das deterministische Verhalten der Übertragungsverbindung vollständig. Das parametrische Signalmodell enthält alle Signalinformationen für die genaue und zuverlässige Jitter-Separation.

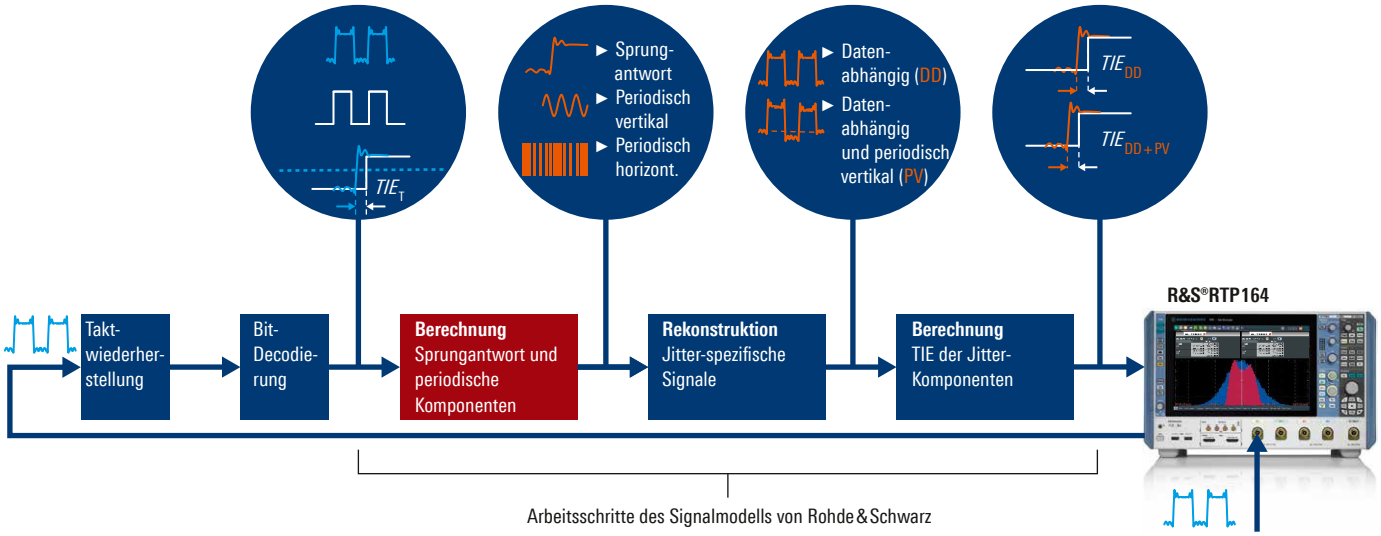


Bild 5: Jitter-Zerlegung nach der Methode von Rohde&Schwarz: Die Ermittlung der Sprungantwort ist die Grundlage für die Berechnung der deterministischen Jitter-Komponenten. In einem letzten Schritt werden zufälliger Jitter und OBUJ bestimmt.

Tiefe Einblicke in die Jitter-Charakteristik

Die charakteristische Sprungantwort als Ergebnis der Berechnung der Jitter-Zerlegung ist neu und sehr nützlich für die Fehlersuche und Optimierung des Designs (Bild 6). Bisher konnte die Sprungantwort nur per Zeitbereichs-Transmissometrie (TDT) oder mit einem vektoriellen Netzwerkanalysator gemessen werden. Die Sprungantwort sagt viel über die Eigenschaften der Übertragungsstrecke aus: Die Anstiegszeit hängt mit der Bandbreite zusammen, Überschwinger oder gedämpfte Antwort geben Hinweise auf die Frequenzgangscharakteristik, potenzielle Einbrüche liefern Hinweise auf Reflexionen aufgrund von Fehlanpassungen usw.

Der Algorithmus liefert Informationen über alle gängigen Jitter-Komponenten. Der Anwender kann die verschiedenen Komponenten als numerische Werte analysieren oder sie in Histogrammen, Trackkurven oder Spektrumansichten untersuchen. BER-Badewannenkurven oder Augendiagramme helfen bei der tieferen Analyse.

Das Rohde&Schwarz-Signalmodell unterscheidet periodische Jitter-Komponente bezüglich horizontaler oder vertikaler Richtung (Bild 7). Die Richtung gibt nützliche Hinweise darauf, ob periodische Jitterkomponenten aus amplituden- oder zeitbasierten Modulationen stammen. Zusätzlich steht das Spektrum der horizontalen periodischen Jitter-Komponenten zur Analyse zur Verfügung.

Schnellstart der Analyse oder individuelles Setup in drei Schritten

Der neue Separationsalgorithmus ist in der Option Advanced Jitter Analysis K133 für die Oszilloskope R&S®RTO und R&S®RTP integriert. Den einfachsten Weg zu schnellen Jitter-Messergebnissen bietet die Funktion **Quick start**. Sie führt definierte Setups automatisch aus, berechnet einen Standardsatz von Jitter-Komponenten

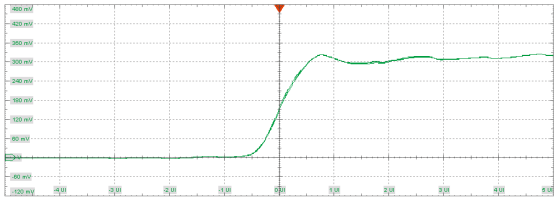
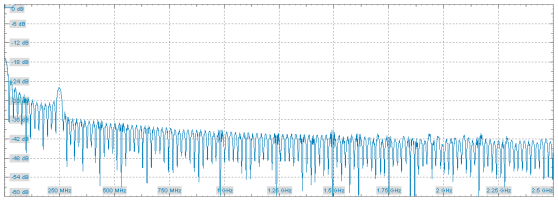


Bild 6: Die berechnete Sprungantwortzeit ist hilfreich zum Verständnis der datenabhängigen Kanalcharakteristik.



Periodic components 1 C1

	Frequency	Value	Direction
1	89.999 MHz	70.857 mUI	Horizontal
2	180.01 MHz	37.75 mUI	Horizontal
3	2.9773 MHz	18.763 mUI	Horizontal
4	1.8713 MHz	18.544 mUI	Horizontal
5	2.3468 MHz	12.683 mUI	Horizontal
6	90 MHz	264.85 mV	Vertical
7	124.61 MHz	4.4961 mV	Vertical
8	127.83 MHz	2.0532 mV	Vertical
9	83.436 MHz	1.9033 mV	Vertical
10	97.921 MHz	1.8791 mV	Vertical

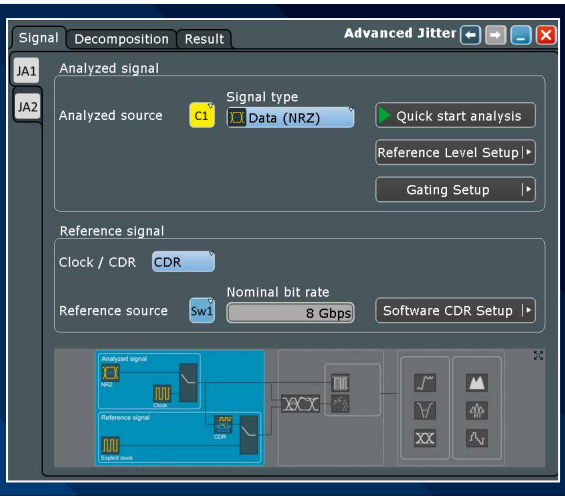
Bild 7: Darstellung der spektralen Leistungsdichte (PSD) der horizontalen periodischen Jitter-Komponenten und die Unterscheidung zwischen horizontaler und vertikaler Richtung.

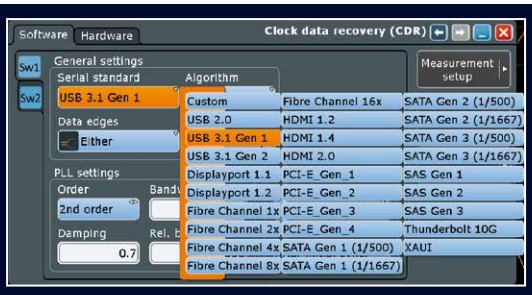
und zeigt die jeweiligen Ergebnisse in vorgewählten Ansichten an. Die anwenderspezifische Anpassung des Setups und der Ergebnisanzeige ist jederzeit möglich.

Eine Alternative zum Quick start ist die **individuelle Konfiguration**, die nur drei Schritte erfordert (Bild 8). Zuerst werden Signalquelle und -typ ausgewählt und die Taktrückgewinnung

Bild 8: Individuelle Konfiguration der Jitter-Messung in nur drei Schritten.

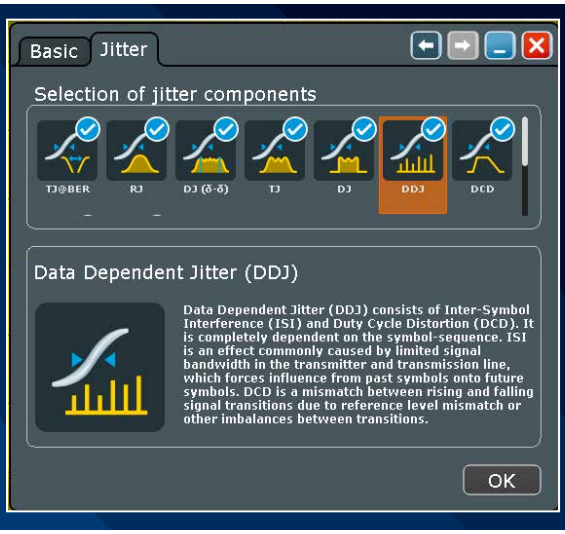
Setup Schritt 1





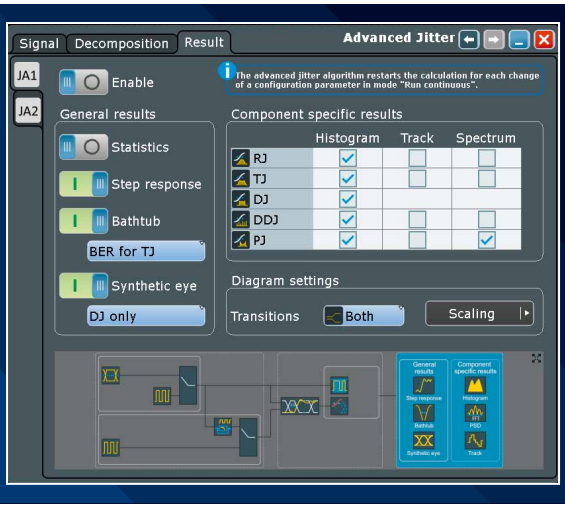
Definition des Signaltyps und Konfiguration der CDR.

Setup Schritt 2



Wahl der Jitter-Komponenten und Definition der Länge der Sprungantwort.

Setup Schritt 3



Auswahl der Ergebnisanzeigen.

(Clock Data Recovery, CDR) definiert. Ein Auswahlmenü zur jeweiligen DUT-Technologie (z. B. USB 3.1 Gen 1) vereinfacht das CDR-Setup.

Im zweiten Schritt werden die Parameter für die Separation konfiguriert. Dafür sind die interessierenden Jitter-Komponenten auszuwählen und die Länge der Sprungantwort für die Verarbeitung zu definieren. Eine größere Länge deckt mehr Details auf, z. B. weit entfernte Reflexionen, erfordert aber mehr Rechenzeit.

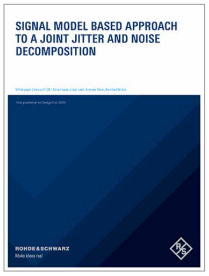
Im letzten Schritt wird die Ergebnisanzeige konfiguriert. Bei den Jitter-Komponenten besteht die Wahl zwischen Histogramm-, Track- oder Spektrum-Ansicht. Zusätzlich stehen die Sprungantwort, die Badewannenkurve und das synthetische Augendiagramm für tiefer gehende Analysen zur Verfügung.

Damit ist bereits alles vorbereitet und ein Druck auf „Enable“ startet die Jitter-Zerlegung. Bild 9 zeigt ein Beispiel für die verschiedenen Ergebnisansichten. Mit der Funktion R&S®SmartGrid werden die Diagramme und Tabellen einfach per Drag and Drop nach persönlichen Vorlieben angeordnet.

Fazit

Der neue Jitter-Separationsalgorithmus berechnet die Sprungantwort, die das deterministische Verhalten der Übertragungsverbindung vollständig charakterisiert. Der Anwender profitiert von genaueren Messergebnissen – auch bei relativ kurzen Signalfolgen. Die detaillierten Ergebnisse bieten Entwicklern tiefe Einsicht bei der Validierung und Fehlersuche an DUTs mit schnellen Datenschnittstellen oder Taktsignalen.

Guido Schulze



Ein ausführliches White Paper zur beschriebenen Jitter-Analysemethodik kann von der Firmenwebsite heruntergeladen werden (Suchbegriff: Designcon2020).

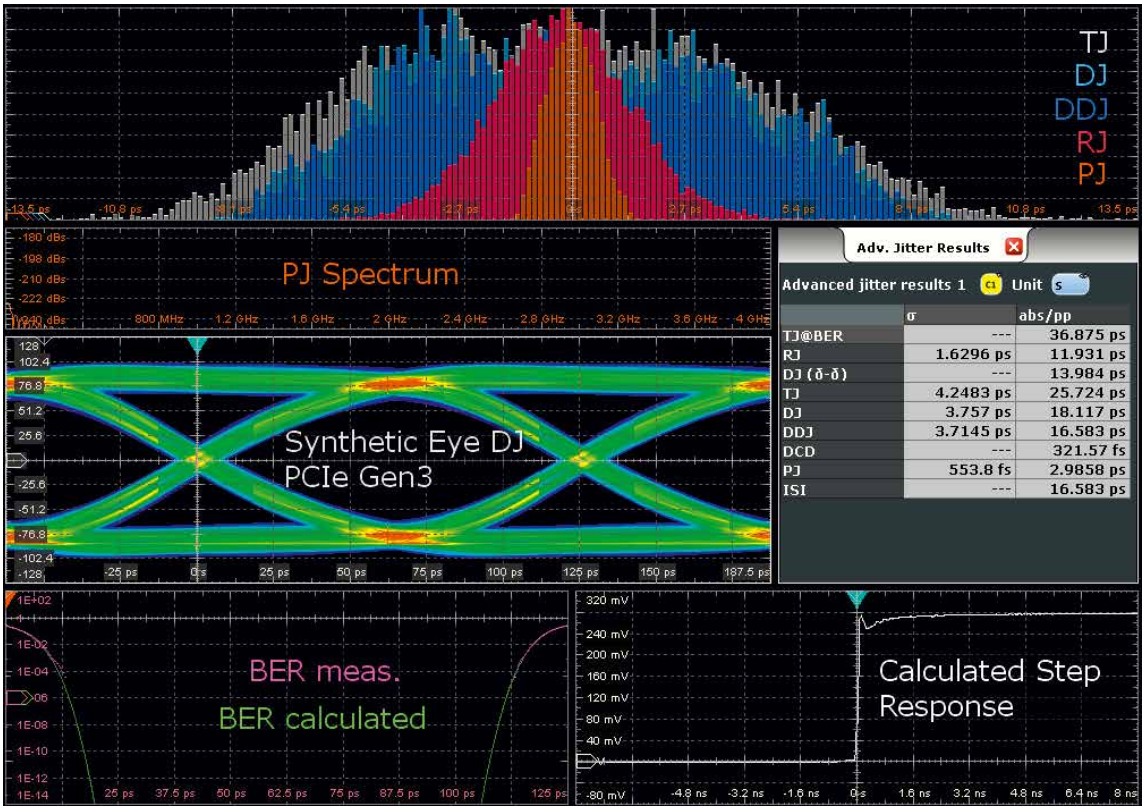


Bild 9: Ergebnisanzeige der Jitter-Zerlegung eines PCIe-Gen3-Signals mit dem Oszilloskop R&S®RTP und der Option Advanced Jitter Analysis R&S®RTP-K133: Sprungantwort, einzelne Jitter-Komponenten im Histogramm, Jitter-Spektrum, synthetisches Augendiagramm und BER-Badewannenkurve.

SCHNELLER SCHALTEN

Externe Trigger steuern Schaltvorgänge zeitlich präziser und beschleunigen sie bei Verwendung von Halbleiterrelais bis um den Faktor 1000

Für die meisten Steuerungsaufgaben reichen Schaltzeiten im Millisekundenbereich oder länger. Anders ist es beim Test von HF-Szenarien, die z. B. schnelles Umschalten von Antennen oder IC-Anschlüssen erfordern. Hier sind Schaltvorgänge, die von einem externen Trigger angestoßen werden, wesentlich schneller und zeitlich präziser.

Neue Technologien wie 5G und in der Radartechnik erfordern in Entwicklung und Produktion teilweise sehr kurze und oft auch definierte Umschaltzeiten. Die sind bei der Ansteuerung von Relais per LAN oder USB wegen der langen Übertragungszeiten nicht realisierbar. Bei der Ansteuerung über LAN kommt die Unsicherheit der Latenzzeiten im Netz dazu, sodass mit den ansonsten sehr schnellen Halbleiterrelais nur Schaltzeiten im Millisekundenbereich zu erzielen sind.

Schnelles und reproduzierbares Schalten lässt sich deshalb nur durch eine applikationsspezifische Steuerung oder durch Verwendung einer triggerfähigen Schalteinheit erreichen. Die R&S®OSP erfüllt mit ihrer neuen Triggeroption R&S®OSP-K100 diese Anforderung. Sie verbindet die Vorteile einer universellen Schalteinheit, z. B. die leichte Konfiguration und die große Auswahl an Schaltmodulen, mit dem schnellen und definierten Schalten einer hardwarebasierten Ansteuerung.

Triggerinterface

Jede R&S®OSP (Bild 1) der zweiten Generation (R&S®OSP220/230/320) ist hardwareseitig durch externe Anschlüsse sowie eine interne Logik im FPGA auf das externe Triggern von Schaltvorgängen vorbereitet. Die Geräte sind mit zwei BNC-Buchsen und zugehörigen Status-LEDs an der Frontseite ausgestattet. Die R&S®OSP320 hat an der Rückseite zusätzlich einen D-Sub-Stecker mit einem Trigger-Interface. Die Trigger werden ferngesteuert per SCPI-Kommandos oder manuell am Touchscreen bzw. über Tastatur und Monitor konfiguriert und aktiviert.

Bild 1: Im Menü Trigger werden die mit der aktuellen Pfadkonfiguration erzielbaren Triggerzeiten angezeigt.

Triggertypen

Es wird zwischen vier verschiedenen Triggertypen unterschieden (Bild 2). Je nach Triggertyp werden bis zu 16 Pfade angesteuert. Ein Pfad kann aus nur einem zu schaltenden Relais bestehen oder aus einer Vielzahl von schaltbaren Elementen, die sich auf unterschiedlichen Modulen oder gar anderen R&S®OSP eines Master/Slave Systems und angeschlossenen OSP-Satelliten befinden dürfen. Dadurch ergibt sich eine fast unbegrenzte Vielfalt von Anwendungsmöglichkeiten.

Der sequenzielle Trigger ermöglicht z. B. Schaltsequenzen mit bis zu 16 Pfaden wie bei einem Schrittschaltwerk. Ein externer Reset ermöglicht das vorzeitige Rücksetzen einer Sequenz. Im Adressmode der R&S®OSP320 lassen sich bis zu 16 Pfade in beliebiger Reihenfolge adressieren, siehe Bild 2.

Triggerschaltzeiten

Die Zeit zwischen dem externen Triggersignal und 90 % des finalen Schaltpegels (Triggerschaltzeit) beträgt bei

- digitalen Ausgangskanälen ca. 2 µs,
- bei Halbleiterelais (SSR) zwischen 2 µs und 10 µs sowie
- bei elektromechanischen Relais zwischen 10 ms und 20 ms.

Mit den Triggerschaltzeiten von 2 µs lassen sich digitale Ausgänge und Halbleiterrelais bis zu 1000 Mal schneller schalten als über LAN – und

das mit entsprechender Wiederholgenauigkeit. Aufgrund der relativ langen Schaltzeiten elektromechanischer Relais von mehreren Millisekunden spielt bei diesen die Verzögerung durch die LAN-Kommunikation eine geringere Rolle. Neben dem Wegfall der LAN-Kommunikation (ca. 1 bis 2 ms) ist jedoch das präzise hardwaregesteuerte Schalten oder die Adressansteuerung von Pfaden über digitale Steuerkanäle anderer Geräte auch beim Einsatz elektromechanischer Relais von Vorteil.

Noch schneller als Datenblattangaben

Das Datenblatt zur R&S®OSP enthält zugesicherte Eigenschaften der Triggerintervalle des Geräts und der Relais. Bei elektromechanischen Relais sind unter Umständen kürzere Triggerintervalle erreichbar, was sich über eine Oszilloskopmessung feststellen lässt (Bild 3). So wurde z. B. bei elektromechanischen Umschaltrelais (SPDT) statt der zugesicherten Schaltzeit von 15 ms eine von nur 3,8 ms gemessen.

Vergleichbare Optimierungen sind auch bei SSR möglich. So lässt sich ein Teil der internen Laufzeiten zum früheren Retriggern nutzen, um 10 % bis 20 % kürzere Triggerintervalle bzw. höhere Triggerfrequenzen zu erreichen. Solche Optimierungen liegen jedoch in der Verantwortung des Anwenders.

Triggerintervalle am Display ablesbar

Bei Schaltpfaden, die aus mehreren unterschiedlichen Relais bestehen, wird die Ermittlung der Triggerintervalle aufwendig bzw. unübersichtlich. Um Anwendern diese Berechnung zu ersparen, zeigt das Triggermenü der R&S®OSP das minimale Triggerintervall basierend auf den Datenblattwerten aller beteiligten Relais und unter Berücksichtigung der internen Laufzeiten an (Bild 1). Damit kann man bei Bedarf die Pfade optimieren bzw. kritische Funktionsabläufe verhindern.

Triggerbare R&S®OSP-Module

Fast alle Standardmodule der R&S®OSP lassen sich triggern (Details siehe Datenblatt). Ausnahmen sind applikationsspezifische Systemmodule, für die keine externe Triggerung vorgesehen ist, sowie Module, die mit Relais mit internen Steuersequenzen ausgestattet sind.

Gert Heuer; Michael Kunert; Franz Rauscher; Werner Rohde; Cornelius Söll

Triggertyp	Anzahl Pfade	Schnittstellen	Funktion
Single	1	BNC A	Nur ein Pfad durch Trigger aktivierbar, danach Deaktivierung des Triggermodes
Toggle	2	BNC B	Hin- und Herschalten zwischen zwei Pfaden
Sequenced	3 bis 16	BNC A, B	Sequenzielles Weiterschalten von Pfad 0 zu Pfad n (n = 2 bis 15). Bei Reset erfolgt Neustart bei Pfad 0
Addressed (nur R&S®OSP320)	bis zu 16	D-Sub	Die R&S®OSP320 hat zusätzlich vier Adressleitungen, um die Pfade 0 bis 15 direkt anzusteuern

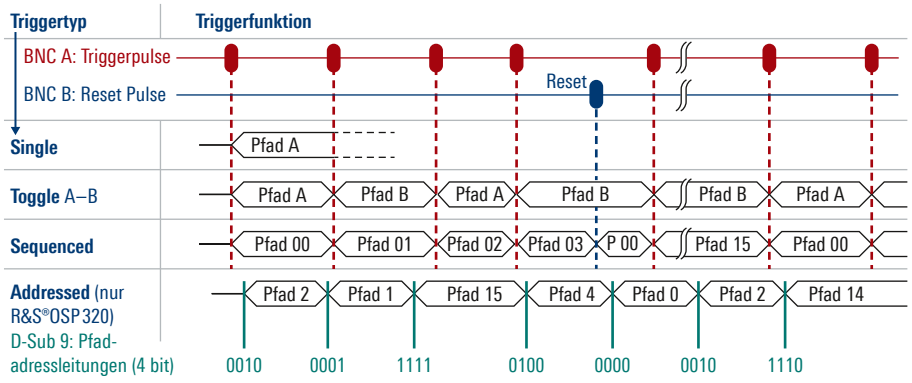


Bild 2: Die verschiedenen Triggertypen und ihre Funktionen.

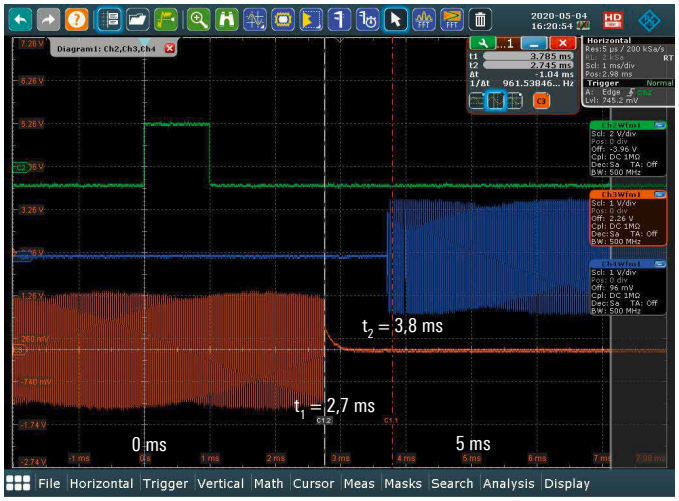


Bild 3: Gemessene Umschaltzeiten vom Trigger (grün) bis zum Schalten der Relaisausgänge (von braun auf blau) eines Umschaltrelais (SPDT). Durch exemplarweises Ausmessen der Relais lassen sich unter Umständen deutlich kürzere Schaltzeiten realisieren als im Datenblatt garantiert.

BEST PRACTICE: WIE SCHULEN IHR WLAN ERFOLGREICH MANAGEN

Ein Ziel, viele Wege: Mit der zunehmenden Digitalisierung des Bildungswesens wird ein funktionierendes Schul-WLAN zum Rückgrat des Unterrichts. Ein Blick in die Praxis zeigt, wie unterschiedlich Träger und Schulen vorgehen, um ihr Netz am Laufen zu halten.

Das 2019 verabschiedete milliardenschwere Förderprogramm DigitalPakt Schule, mit dem Bund und Länder die Digitalisierung an deutschen Schulen vorantreiben wollen, wird dazu führen, dass in vielen Schulen erstmals flächendeckend WLAN zum Einsatz kommt. Der Grund liegt auf der Hand. Flexibles Arbeiten am Laptop oder Tablet, der effiziente Einsatz von Lern-Apps im Unterricht oder der schnelle Zugriff auf den Schulserver: sie alle brauchen es – das schnelle, leistungsfähige und stabile Drahtlosnetz.

Doch ein professionelles WLAN ist kein Selbstläufer. Es will gewartet und gepflegt werden, Fehler müssen behoben werden. All dies stellt die Verantwortlichen vor die Frage, wer das Management der neuen Netzwerkinfrastruktur übernimmt. Vier Best-Practice-Beispiele von Kunden der LANCOM Systems zeigen, welche Ansätze sich in der Praxis bei Schulträgern und Schulen bewährt haben.

Controllerbasiert in Eigenregie

Die Stadt Helmstedt war im Februar 2020 der erste Schulträger in Niedersachsen, der sich über einen Bewilligungsbescheid aus dem DigitalPakt Schule freuen durfte. Seither sorgen LANCOM-WLAN-Access-Points in den fünf Grundschulen der Stadt für ein flächendeckendes WLAN. Die städtische IT-Abteilung verwaltet die Netze über WLAN-Controller und kümmert sich um den Betrieb und die Netzerweiterung. Immo Ulbricht, Leiter Telekommunikation und Informationstechnologien Stadt Helmstedt, ist bekennender LANCOM-Nutzer: „Für die Vernetzung und das WLAN unserer Schulen kamen für uns nur die Geräte von LANCOM in Frage. In Sachen Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit haben wir damit bislang nur positive Erfahrungen gemacht und das Portfolio bietet alles, was wir benötigen.“

IT-Dienstleister managt Netze über WLAN-Controller

Auch das Erzbistum Paderborn setzt beim Management seiner 19 Schulen in Nordrhein-Westfalen auf ein controllerbasiertes Konzept, holt sich aber die Unterstützung eines IT-Dienstleisters dazu, der die rund 1000 LANCOM-Access-Points und 19 WLAN-Controller verwaltet. „Von der Konfiguration über das Monitoring bis zum Troubleshooting übernehmen wir die klassischen administrativen Aufgaben einer IT-Abteilung“, erklärt Steffen Schnorbus, Geschäftsführer Schnorbus-IT. Über die WLAN-Controller können die Support-Mitarbeiter von zentraler Stelle auf alle Schulnetze zugreifen und bei Bedarf schnell und zielgerichtet agieren. Für Kai von Holtz, IT-Koordinator Erzbischöfliches Generalvikariat Paderborn, Bereich Schule und Hochschule, ist die drahtlose Technik ein wichtiges Puzzlestück für den Lernerfolg: „Das WLAN unterstützt die Schulen bei der Realisierung ihrer Medienkonzepte und ist die Basis für eine zeitgemäße Vermittlung der Lerninhalte im Unterricht.“

Cloud-managed WLAN bringt Zeitersparnis

Im Gegensatz zum klassischen Konzept eines controllerbasierten Netzwerks setzen immer mehr Schulträger auf sogenannte Cloud-managed WLANs. Die James-Krüss-Schule auf Helgoland nutzt bereits seit Herbst 2018 ein WLAN „aus der Wolke“. Das Kernstück: die LANCOM Management Cloud (LMC), die dank intelligenter Technik dabei hilft, zeitaufwendige Aufgaben wie das Aufspielen aktueller Firmeware-Updates oder das Ausrollen neuer Netze, auf ein Minimum zu reduzieren. Verwaltet wird das Netz der Grund- und Gemeinschaftsschule von der Gemeinde Helgoland. Die LANCOM Management Cloud ist für den Schulträger ein absoluter Gewinn: „Wir steuern nicht nur das Schulnetz zentral über die Cloud, sondern können dort auch alle anderen Netzwerke, die mit LANCOM-Hardware laufen, abbilden“, so Tobias Wutschke, IT-Manager bei der Gemeinde Helgoland. Neben der Schule wird auch das Netz im Rathaus und der Lesehalle über die Cloud gemanagt. „Jetzt haben wir alle Netze in einer Management-Instanz abgebildet“, sagt Wutschke. „Das ist für uns sowohl übersichtlich als auch komfortabel. Mit der Cloud-Lösung sparen wir eine Menge Zeit und müssen als Administratoren nicht einmal direkt vor Ort sein. So spielen wir Updates für die Hardware innerhalb weniger Minuten aus der Ferne auf, eine Arbeit, die früher viel Zeit in Anspruch genommen hat.“

Mit der Cloud das eigene Schulnetz verwalten

Auch das WLAN an der Aachener Viktoriaschule wird aus der Cloud verwaltet. Hier übernimmt allerdings die Schule in Eigenregie das Netzwerkmanagement. Informatiklehrer Guido Hinz betreut das Drahtlosnetzwerk für Schülerschaft und Lehrkräfte. Er zeigt sich von der LMC äußerst angetan: „Das ist für uns eine tolle Lösung. Wir haben immer einen Überblick darüber, welche Netze wo verfügbar sind und ob Flächen mit besonders stark belasteten Netzen optimiert werden müssen. Änderungen oder Erweiterungen können dann einfach und schnell vorgenommen werden.“ Mit der Management Cloud spart Hinz viel Zeit. Müsste er stattdessen jeden Access Point einzeln konfigurieren, wäre das Management des gesamten WLANs für den Lehrer eine deutlich größere Herausforderung.

Unterm Strich zählt der Lernerfolg

Schul-WLAN ist also nicht gleich Schul-WLAN. Vor allem die Gegebenheiten der Schulen und Schulträger spielen bei der Auswahl des richtigen Management-Ansatzes eine wichtige Rolle. Unterm Strich zählt vor allem der Lernerfolg, zu dem ein funktionierendes Drahtlosnetzwerk einen wichtigen Beitrag leisten kann. Dabei sind eine stabile WLAN-Anbindung, bedarfsgerechte Performance und eine schnelle Reaktionszeit durch den technischen Support ein absolutes Muss. Mit dem richtigen Management-Konzept sind Schulen und Schulträger hier bestens aufgestellt.

André Faßbender

Bereits in den Grundschulen steht der Umgang mit digitalen Medien auf dem Helmstedter Stundenplan.

© Erzbistum Paderborn

Die Realschule St. Michael ist wie alle 19 Schulen des Erzbistums Paderborn über WLAN-Technik von LANCOM vernetzt.

LANGSTRECKE BRAUCHT KURZWELLE

Auch im Zeitalter von Glasfaser-, Satelliten- und Mobilfunkverbindungen gibt es Bedarf für Kurzwellenfunk. Neue Antennen und Anpassgeräte machen den Aufbau leistungsfähiger Anlagen leichter denn je.

Kurzwellenverbindungen brauchen keine Infrastruktur und die Kommunikation ist, abgesehen von der einmaligen Investition in die Ausrüstung, kostenlos. Da außerdem große Fortschritte in der Entwicklung sicherer und performanter Übertragungsverfahren gemacht wurden, ist die Kurzwelle nach wie vor ein wertvoller Informationsträger, nicht zuletzt für Behörden und militärische Nutzer.

Um aber das Potenzial des Mediums voll auszuschöpfen, ist es notwendig, für optimale Übertragungsverhältnisse zu sorgen. Der Antenne kommt dabei eine entscheidende Rolle zu. Verluste an dieser Stelle sind in der Übertragungskette nicht mehr zu kompensieren. Die breitbandigen modernen Übertragungsverfahren benötigen einen möglichst großen Signal-Rausch-Abstand, was optimierte Antennen erfordert. Rohde&Schwarz hat sich neben der Funkgeräteentwicklung immer schon mit der Entwicklung leistungsstarker und verlustarmer HF-Antennen beschäftigt. Die jüngste Frucht dieser Bemühungen ist die Modellreihe R&S®HX002Hx, die zusammen mit neuen Anpassgeräten (ATUs) und einer innovativen Steuer- und Versorgungseinheit die HF-Luftschnittstelle auf ein neues Level hebt.

Bild 1: Die 1-kW-Lösung R&S®HX002H0 integriert Antenne und Anpassgerät zu einer ultrakompakten Einheit.

Bild 2: Die 150-W-Einheit R&S®HX002H3 aus Antenne und ATU fällt für HF-Verhältnisse geradezu zierlich aus.

Kompakte Antennenlösungen

Die Kurzwelle mit ihren Betriebsfrequenzen zwischen 1,5 MHz und 30 MHz basiert auf wirtschaftlich ungünstig langen Wellenlängen von bis zu über 100 m. Die nötigen Strahlerlängen können je nach Antennentyp ebenfalls diese Dimension erreichen, was hohe Kosten für die Antennen selbst und mehr noch für den benötigten Montageraum zur Folge hat. Unter beengten Verhältnissen, z. B. auf Schiffen oder in urbaner Umgebung, ist unter Umständen gar kein Einsatz möglich.

Abstimmbare, kompakte Dipolstrukturen mit hohem Wirkungsgrad lösen das Dilemma. So bieten die 1-kW-Lösung R&S®HX002H0 und das 150-W-System R&S®HX002H3 (Bilder 1 und 2) trotz minimaler Abmessungen von ca. 10 m × 5 m höchste HF-Performance mit einer 360-Grad-Abdeckung für kurze, mittlere und weltweite Verbindungen. Eine spezielle Variante für den Schiffseinsatz, die R&S®HX002H3M, kommt selbst mit nochmals um 50 % verkürzten Strahlern zurecht und kann daher leichter auf

Bild 3: Das 1-kW-Anpassgerät R&S®FK002H0 kann am Fußpunkt verschiedener Antennen betrieben werden.

© Dima Zel / Shutterstock.com

den üblicherweise eng verbauten Suprastrukturen von Marineschiffen montiert werden. Kennzeichnend für alle Modelle ist die Ein-Mast-Montage und die Anbindung an die Anschlusseinheit über ein einziges Koaxialkabel.

Alternative Breitbandlösungen in Form von mit Widerständen bedämpften Dipolen (realisiert als belasteter Dipol, terminated folded dipole, inverted V, Delta-Antenne usw.) weisen dagegen selbst bei wesentlich größeren Abmessungen kaum akzeptable Gewinnwerte auf, sondern bedienen eher Spezialanwendungen wie z. B. den taktischen Einsatz. Solche Typen gehören nicht zum aktuellen Portfolio.

Hoch performante Anpassgeräte

Die neuen Antennenanpassgeräte bzw. Antennen/Anpassgeräte-Kombilösungen sind in zwei Leistungsklassen verfügbar, für 150 W und 1 kW (Bild 3). Sie bieten über den gesamten HF-Frequenzbereich hinweg ein souveränes Abstimmverhalten und können eine Vielzahl auch elektrisch extrem kurzer Strahler mit hohem Wirkungsgrad, also ohne interne Bedämpfung, anpassen.

HF-Antennen reagieren sensibel auf ihre Umgebung. Es genügt deshalb nicht, sie unabhängig von dieser anzupassen, will man optimale Ergebnisse erzielen. Ein intelligenter Algorithmus ermöglicht es den neuen ATUs, die Standorteinflüsse in die Abstimmung einzubeziehen, um durchweg ein VSWR von < 1,3 zu erzielen. Die dafür notwendige interne Beschaltung mit verlustarmen Kondensatoren und Luftspulen wird in einer im Vorfeld einmalig durchgeführten Lernphase für jede durchgestimmte Frequenz gelernt und gespeichert. Beim Frequenzwechsel im späteren Betrieb ermöglicht das ein schnelles Aufschalten der passenden Kompensationselemente ohne erneutes Feinabstimmen. Die Antenne/ATU kann den Frequenzwechsel selbst feststellen, falls keine entsprechende Kommandierung von Seiten des Transceivers erfolgt.

Bild 4: Die universelle Anschlusseinheit R&S®GX002 versorgt Antenne und Anpassgerät mit Strom, leitet das HF-Signal durch und managt den Datenaustausch zwischen Funk- und Anpassgerät.

Vielseitige Betriebsmöglichkeiten

Alle ATUs bzw. Antennen mit integrierter ATU werden über eine sogenannte Junction Unit vom Typ R&S®GX002 stromversorgt und angesteuert (Bild 4). Sie fügt sich nahtlos in das Bedienkonzept der aktuellen HF-Funkgerätegeneration ein. Zusätzlich ist sie sowohl für Legacy-Anwendungen mit älteren Rohde&Schwarz-Transceivern als auch für den Betrieb mit Funkgeräten anderer Hersteller geeignet. Dafür sorgt zum einen die universelle Schnittstellenausstattung inklusive LAN und optischem Anschluss. Zum andern erlaubt die Trennung von Antenne/ATU und Steuergerät mehrere Arten der Einbindung der Antenne in ein übergeordnetes Kommunikationssystem. Je nach Konfigurationen sind verschiedene Funktionalitätsstufen erreichbar, von einfacher Grundkommandierung mit bloßem Frequenzwechsel bis hin zur Unterstützung modernster Übertragungsverfahren. Bild 5 zeigt beispielhaft zwei Alternativen.

Klaus Fischer

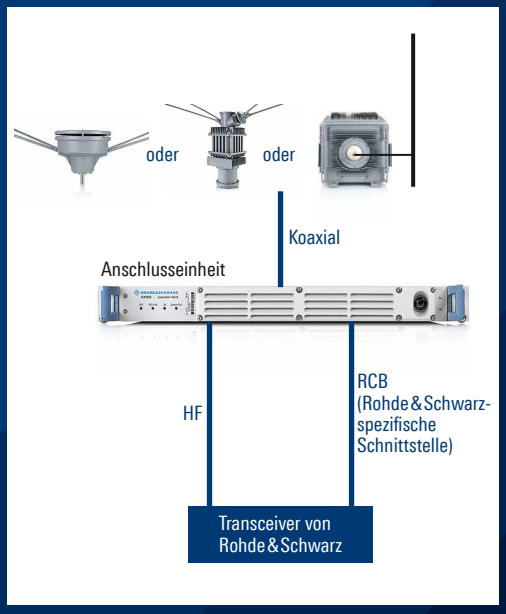
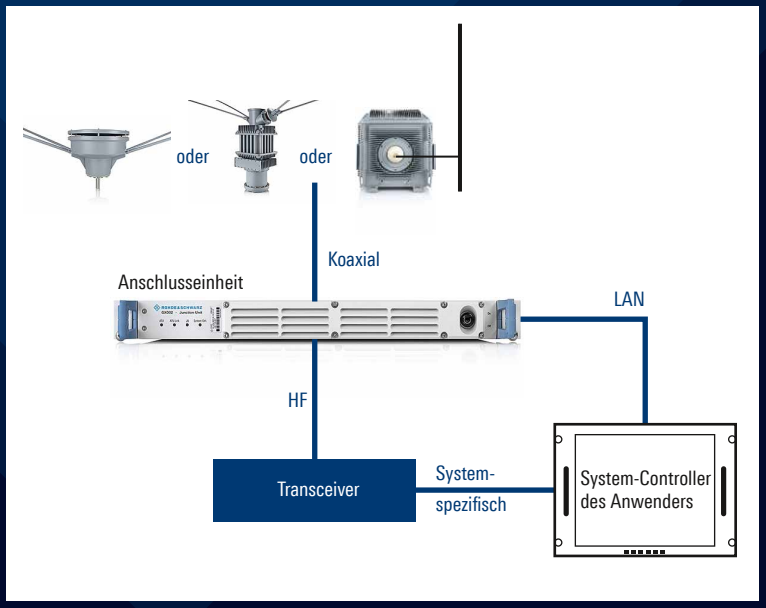



Bild 5: Basis-Setup mit einem aktuellen Rohde&Schwarz-Transceiver (oben) bzw. mit Systemkomponenten einer anderen Marke. Neben den vielfältigen Systembaumöglichkeiten mit der Junction Unit ist bemerkenswert, dass in Richtung Antenne/ATU nur ein einziges Koaxialkabel benötigt wird, das sowohl die HF-Leistung als auch alle Steuersignale und die DC-Versorgungsspannung transportiert. Das spart Kosten, vereinfacht die Systemintegration und erhöht die Betriebssicherheit.