

225/2021

NEUES

ROHDE & SCHWARZ

Make ideas real



ZEIT IM BILD

Oszilloskope sind im Elektroniklabor unentbehrlich – und können viel mehr als Signalverläufe darstellen.



Neuartige Lösung zum Testen
von Automotive-Radaren

Source Measure Units nehmen kleinste
Ströme und Spannungen unter die Lupe

Das Tiertracking-Projekt ICARUS
hat den Betrieb aufgenommen

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 Drexler & Knobloch GmbH (München)

Fotos: Rohde & Schwarz

Printed in Germany (G. Peschke Druckerei GmbH, Parsdorf bei München)

Auflage ca. 20 000 (deutsch, englisch und japanisch)

61. Jahrgang

Ausgabe 2/2021, Nr. 225

Erscheinungsweise: zweimal pro Jahr

ISSN 0548-3093

Bezug kostenlos über die Rohde & Schwarz-Vertretungen

Nachdruck mit Quellenangabe und gegen Beleg gern gestattet.

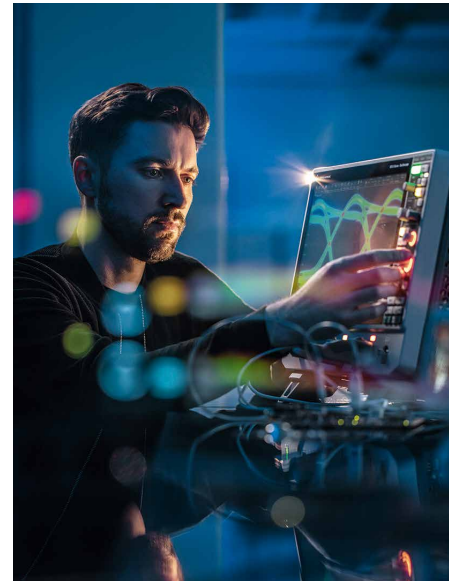
PD 3609.7460.71

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

Von allen Messgerätearten hat das Oszilloskop am meisten von der Digitaltechnik profitiert. Ein Zeitreisender aus der Analog-Ära würde die heutigen Modelle höchstens anhand von Schlüsselbegriffen auf der Frontplatte und typischen Messanzeigen wie dem Augendiagramm erkennen. Jahrzehntlang an die Bildröhrentechnik gefesselt, haben sich die Geräte völlig von ihrer Herkunft emanzipiert. Heute wird das Messsignal gleich am Eingang digitalisiert, sodass beliebige Analysen auf den Daten laufen können. Natürlich werden Oszilloskope nach wie vor gekauft, um Signale im Zeitbereich zu durchleuchten. Hierfür bieten sie denn auch – der Software sei Dank – eine solche Fülle an Möglichkeiten, dass kaum eine Frage, die ein Messtechniker an ein Signal stellen mag, unbeantwortet bleiben muss. Darüber hinaus wildern die Geräte aber längst in den Domänen anderer Klassen. Der Logikanalysator ist ihnen bereits zum Opfer gefallen. Dessen Aufgaben erledigen moderne Oszilloskope nebenher mit. Auch die Spektrumanalyse gehört inzwischen zum Repertoire. Per FFT lässt sich schnell in die Frequenzperspektive wechseln, um auch diese alternative Sicht auf das Signal in die Analyse einzubeziehen. So beeindruckend wie ihre Technik ist die Ergebnisdarstellung und Bedienung aktueller Geräte. Großflächige, kontrast- und farbstarke Touchscreens, auf denen sich die Anzeigen nach Bedarf anordnen lassen, machen die Laborarbeit zum Vergnügen.

Das neue R&S®RTO 6 verkörpert alle Vorzüge moderner Oszilloskope (Seite 28). Die dritte Generation der Mittelklasse-Baureihe von Rohde & Schwarz wurde noch konsequenter auf Usability getrimmt, der schnelle Weg zum Messerfolg noch mehr in den Fokus gerückt. Eine typische Aufgabenstellung ist die Analyse von Bussignalen. Zwei Heftbeiträge zeigen auf, wie man Ethernet, USB und Konsorten mit dem Oszilloskop auf Herz und Nieren prüft (Seite 32 ff.).



ÜBERBLICK

NEUES 225/2021

TITELTHEMA

Oszilloskope

Generationensprung

Mittelklasse-Baureihe
völlig neu designt 28

Konformitätstest gescheitert. Was nun?

Ursachenforschung bei Signal-
integritätsproblemen auf digitalen
Highspeed-Bussen 32

WIRELESS

OTA-Messungen an 5G-FR2-Geräten

Kompakte Testkammer für
Messungen an 5G-Mobilfunkgeräten
jetzt noch vielseitiger 12

Non-signaling-Flaggschiff

Der R&S®CMP180 komplettiert das
Portfolio der Non-signaling-Tester. 15

802.11be-Signale erzeugen und analysieren

Signalgeneratoren und -analysatoren
öffnen das Tor zur Signalwelt
von Wi-Fi 7 16

AUTOMOTIVE

Rushhour am Prüfstand

Eine neuartige Lösung erlaubt
die Simulation komplexer
Radar-Szenarien 20

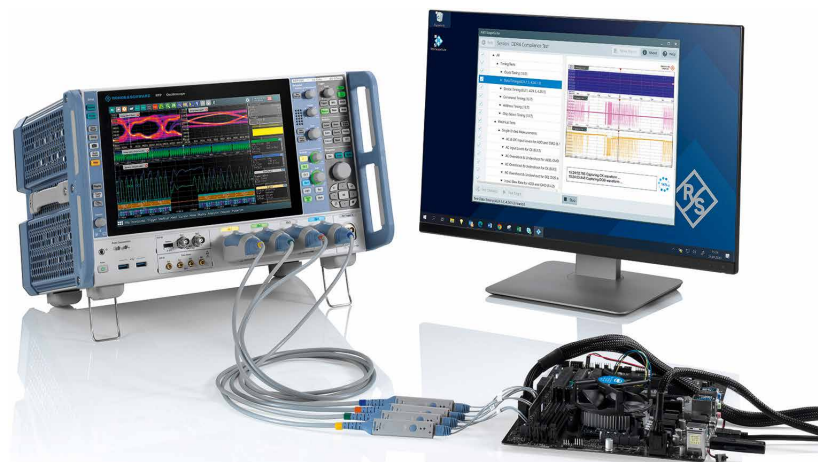
Neuer Standard für Automotive-Busse – und wie man ihn testet

Automatische Testlösung
unterstützt bei der Überführung
von MultiGBASE-T1 in marktreife
Produkte 26

Ein neues Geräte-Duo ermöglicht umfassende Tests an Automotive-Radaren auf dem Prüfstand und im Labor (Seite 20).



Messungen an Hochgeschwindigkeits-Datenschnittstellen sind eine typische Oszilloskop-Anwendung (Seiten 26 und 32).





Netzbetreiber können ihr DAB+-Netz komplett mit Sendern von Rohde&Schwarz aufbauen und von den Vorteilen des One-Stop-Shopping profitieren (Seite 42).



Mit dem ICARUS-Tag ausgestattete Tiere lassen sich über beliebige Strecken verfolgen. Kaum größer als ein Cent-Stück, beinhaltet er neben der Funk- und Ortungstechnik mehrere Sensoren und genügend Speicher (Seite 48).

ALLGEMEINE MESSTECHNIK

Ströme und Spannungen unter dem Mikroskop
Source Measure Units messen extrem kleine Ströme und Spannungen und können sie auch stabil erzeugen 38

HF-Systeme realitätsnah simulieren
Signalerzeugungs- und -analyse-Software für Cadence®-EDA-Tool 40

BROADCAST- UND MEDIENTECHNIK

Bis in den letzten Winkel
Kleinleistungssender schließt Versorgungslücken in DAB+-Netzen 42

SICHERE KOMMUNIKATION

Sicheres Arbeiten im Homeoffice
VS-NfD-zugelassene Software-Tools.... 44

SATELLITENKOMMUNIKATION

ICARUS fliegt
Das ISS-gestützte Tiertracking-Projekt mit Rohde&Schwarz-Funktechnik hat den Betrieb aufgenommen 48

Intelligenter Uplink-Verstärker
Die Satelliten-Uplink-Verstärker R&S®PKU100 beherrschen jetzt auch die Selbstverwaltung von Reservekonfigurationen 52

MONITORING

Störenfried in Sicht!
Mit dem Drohnenwarn- und -abwehrsystem R&S®ARDRONIS lassen sich einfliegende Drohnen jetzt auch visuell beurteilen..... 54

WEITERE RUBRIKEN

Impressum 2

NEUES kompakt 6

Mit dem Zwei-Quadranten-Gerät R&S®NGU201 und seinem Vier-Quadranten-Pendant R&S®NGU401 (im Bild) steigt Rohde & Schwarz in den Markt für Präzisionsnetzgeräte (Source Measure Units) ein (Seite 38).



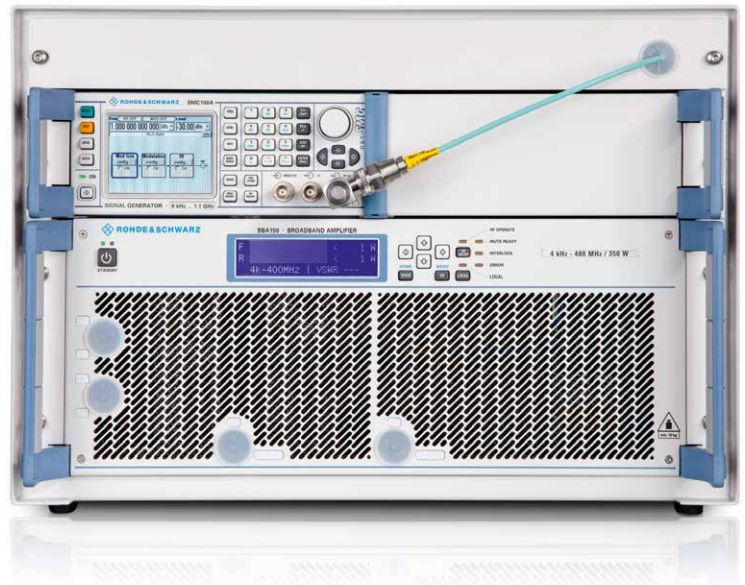
Per Software-Option ist R&S®ARDONIS um die Fähigkeit erweiterbar, Videokameras und Richtantennen zu steuern und automatisch auf ein erfasstes Ziel auszurichten (Seite 54).



NEUES KOMPAKT



TESTSYSTEM FÜR BCI-MESSUNGEN



Das BCI-Testsystem kann mit verschiedenen Generator- und Verstärker-Optionen konfiguriert werden.

Für den Automobilbereich gibt es eine Reihe von EMV-Testvorschriften, die sicherstellen sollen, dass die immer komplexeren elektronischen Systeme der Fahrzeuge nicht durch Einstrahlungen von außen gestört werden. Zu den Anforderungen gehört die Immunität gegen eingekoppelte hochfrequente Störstrahlung in die Fahrzeugbusse bzw. -kabelbäume. Getestet wird dies durch Bulk Current Injection (BCI). Zwei Messverfahren sind dafür gebräuchlich, die in den Automotive-Teststandards ISO 11452-1 und -4 sowie anwendungsunabhängig in IEC/EN 61000-4-6 beschrieben sind: die Substitutions- und die Closed-Loop-Methode, die sich nur in der laufenden Überwachung der applizierten HF-Leistung unterscheiden. Bei der einen Methode gehören zwei, bei der anderen drei Leistungsmesser zum Testaufbau. In beiden Fällen bringt man die Hochfrequenzleistung

in Form AM-modulierter Signale über einen induktiven Koppler (injection probe) in die Leitung ein. Benötigt werden dazu ein einfacher Signalgenerator, ein HF-Leistungsverstärker und ein Richtkoppler für den Anschluss der verstärkerseitigen Leistungsmesser. All diese Komponenten (bis auf den induktiven Koppler) beherbergt ein neues BCI-Kompaktsystem. Den Generatorenpart für die AM-Signalerzeugung zwischen 9 kHz und 400 MHz übernimmt ein R&S®SMB100B oder R&S®SMC100A, während die Verstärkung einem R&S®BBA150-AB anvertraut wird (je nach Bedarf für 75 W, 125 W, 160 W, 200 W oder 350 W ausgelegt). Ferner integriert sind Leistungssensoren vom Typ R&S®NRP6AN und ein Richtkoppler R&S®DDC25. Das System wird direkt von den EMV-Testsuiten R&S®EMC32 und R&S®ELEKTRA unterstützt.

TURM DER 100 SENDER

Der Çamlıca-Tower ist das neue Wahrzeichen Istanbuls.

Der 388 Meter hohe Çamlıca-Tower in Istanbul stellt nicht nur der Hagia Sophia ein neuzeitliches Wahrzeichen an die Seite, sondern beeinflusst das Stadtbild auch

auf andere Weise. Mit der Übernahme der Ausstrahlung aller UKW-Radioprogramme der Metropolregion durch den Turm (Sendebeginn war im September 2020)

wurden rund 30 verstreute Sendemasten überflüssig, deren Abbau der Istanbul Skyline zugutekommt.

Die FM-Sender im Turm – nicht weniger als 100, die auf zwei Stockwerke verteilt sind – wurden von Rohde&Schwarz geliefert. Eine derartige Senderdichte ist weltweit einmalig. Der hohe Integrationsgrad ist möglich, weil bei den FM-Sendern

vom Typ R&S®THR9 mehrere platzsparende Designmerkmale ineinandergreifen. Zum einen die Wasserkühlung, die es in dieser Art für den FM-Bereich nur bei Rohde&Schwarz gibt. Sie hat wegen des hohen Wirkungsgrads der Sender von bis zu 75 % wenig Mühe mit der Wärmeabfuhr und lässt sich sehr kompakt ausführen. Zum andern können bis zu vier Sender in ein 19-Zoll-Gestell eingebaut

und gemeinsam verwaltet werden (Multi-TX). Beides zusammen reduziert den Platzbedarf im Vergleich zu einem luftgekühlten Aufbau um bis zu 80 Prozent. Der Betreiber Kule Verici Tesisleri Isletim Ve Teknolojileri A.S. freut sich außerdem über die hohe Energieeffizienz der Anlage, die für niedrige Stromkosten sorgt und die Ökobilanz verbessert.

HF-HOCHLEISTUNGSVERSTÄRKER FÜR HIRF-ANWENDUNGEN

Durch Blitzschläge oder Radarpulse können Flugzeuge kurzzeitig sehr starken elektromagnetischen Feldern ausgesetzt sein. Um sicherzustellen, dass die Avionik davon unbeeindruckt bleibt und keinen Schaden nimmt, gelten für die Luftfahrtindustrie spezielle EMV-Standards, z. B. MIL-STD-464 oder AECTP 250, die Tests mit elektromagnetischen Feldern hoher Intensität (HIRF, High Intensity Radiated Fields) vorschreiben. Erzeugt werden sie über einen Signalgenerator mit nachgeschaltetem Hochleistungsverstärker. Auf Basis der Verstärkerreihen R&S®BBL200-A und R&S®BBA130-BC (Bild) lassen sich solche Kraftpakete jetzt

bis zu einer HF-CW-Leistung von 13 kW realisieren. Dabei deckt die R&S®BBL200-A-Serie den Frequenzbereich von 9 kHz bis 250 MHz ab (mit Leistungen von 3 kW, 5 kW und 10 kW), die R&S®BBA130-BC-Serie den Bereich von 80 MHz bis 1 GHz (mit Leistungen von 6,5 kW, 9,5 kW und 13 kW). Die transistorierten Verstärker zeichnen sich durch eine exzellente Linearität, Robustheit gegen Fehlanpassung und hohe Zuverlässigkeit aus. Als Quelle kommen mehrere Signalgeneratormodelle in Betracht, beispielsweise der R&S®SMB100A.

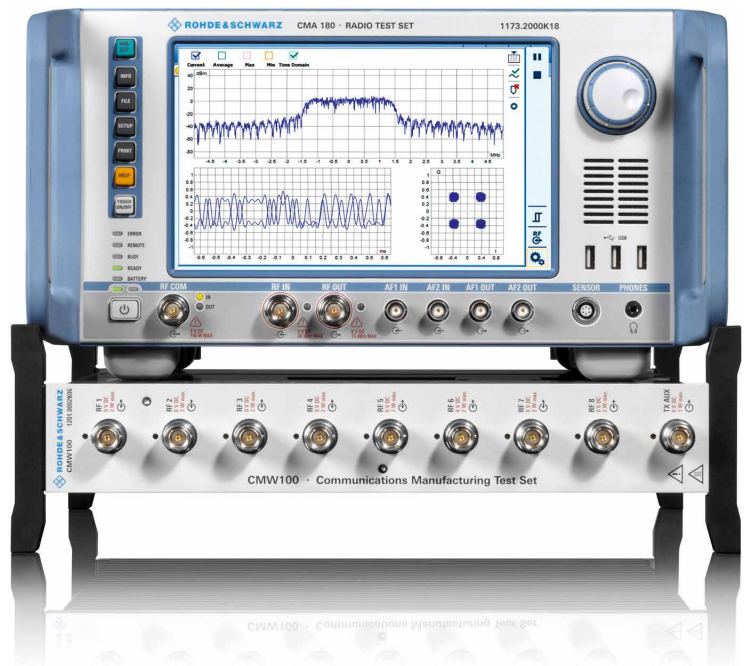
Viel hilft viel. Der Verstärkeraufwand zur Erzeugung hoher Feldstärken für EMV-Tests kann beachtlich sein.



FUNKGERÄTETESTER R&S®CMA180 JETZT BREITBANDIG BIS 6 GHz

R&S®CMA180, der Tester für professionelle Funkgeräte, wie sie von Blaulicht-Organisationen (BOS), Militär und Flugsicherung genutzt werden, ist jetzt noch vielseitiger. Ein 6-GHz-Frontend mit 160 MHz Bandbreite und acht Anschlüssen (Option R&S®CMA-XRT100) versetzt ihn in die Lage, Standards wie WLAN, Bluetooth und LTE, die immer öfter auch in LMR- (Land Mobile Radio-)Funkgeräten anzutreffen sind, ins Testprogramm einzubeziehen. Taktische Funkgeräte, die über breitbandige Wellenformen kommunizieren, erfordern ebenfalls eine entsprechende Testbandbreite. Acht Geräte lassen sich gleichzeitig testen – ein großes Effizienz-Plus in der Produktion und in Service-Centern mit hohem Durchsatz. Die Erweiterung ist vollständig in die Bedienoberfläche des R&S®CMA180 integriert.

Mit einem in die Bedienung integrierten R&S®CMW100 kann der R&S®CMA180 nicht nur breitbandig bis 6 GHz messen, sondern auch acht Testobjekte gleichzeitig abfertigen.



NEUE GENERATION VON NETZWERKVERSCHLÜSSELN MIT VS-NFD-ZULASSUNG

R&S®SITLine ETH NG ist ein anwendungsunabhängiger Verschlüsseler für die standortübergreifende Netzwerkkommunikation von Behörden und Unternehmen. Die 19-Zoll-Variante R&S®SITLine ETH-L verschlüsselt bis zu vier unabhängige 10-Gbit/s-Leitungen, die kompakte R&S®SITLine ETH-S Leitungen mit bis zu 1 Gbit/s. Beide sind vom Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) bis zur Geheimhaltungsstufe VS – NUR FÜR DEN DIENSTGEBRAUCH, NATO RESTRICTED und EU RESTRICTED zugelassen.

Anders als IPsec-Verschlüsseler, die auf der OSI-Ebene 3 (Internet-Schicht) arbeiten, verschlüsselt R&S®SITLine ETH NG bereits auf Layer 2. Das bringt nicht nur höhere Nettodatenraten wegen des geringeren Protokoll-Overheads, sondern bietet auch Schutz bei Bedienfehlern in einer Anwendung, beispielsweise wenn für eine sensible interne E-Mail die falsche Sicherheitsstufe gewählt wurde. Zudem schützt es die komplette IP-Infrastruktur gegen Ausspähen und Manipulation und gewährleistet Unabhängigkeit von Tele-

kommunikationsanbietern und Komponentenlieferanten. Nutzerfreundlich ist die Lösung nicht nur durch ihre Plug-and-play-Installation, sondern auch durch ihr zentrales Management: Der bereits von anderen Rohde & Schwarz Cybersecurity-Produkten bekannte R&S®Trusted Objects Manager dient jetzt auch als Sicherheitsmanagementsystem für R&S®SITLine ETH NG. Dabei fungiert der in einer sicheren Umgebung (Rechenzentrum mit Zutrittskontrolle) betriebene Server als Certificate Authority einer Public-Key-Infrastruktur für die Verschlüsseler. Außerhalb des geschützten Bereichs gibt es keinen zentralen Angriffspunkt und somit kein singuläres Sicherheitsrisiko, denn die für den Betrieb erforderlichen Sitzungsschlüssel werden von den Geräten autark ausgehandelt.

Ein typischer Einsatz der Reihe R&S®SITLine ETH ist die Vernetzung von Filialunternehmen, Rechenzentren und Behördenstandorten. So schützt die Deutsche Nationalbibliothek den Abgleich ihrer Datenbestände in Frankfurt und Leipzig mit R&S®SITLine ETH und das Saarland hat seine Behörden darüber verbunden.



Skalierbar und in jeder Ausbaustufe hochsicher:
19-Zoll-Einschubgerät R&S®SITLine ETH-L und Kompaktgerät ETH-S.

ROHDE & SCHWARZ ÜBERNIMMT HERSTELLER VON MESSTECHNIK FÜR QUANTENCOMPUTING

Die Zurich Instruments AG, ein 2008 gegründetes Spin-Off der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETH Zürich) mit inzwischen mehr als 100 Mitarbeitenden in sieben Ländern, gehört seit dem 1. Juli 2021 als hundertprozentige Tochter zum Rohde&Schwarz-Konzern. Mit der Übernahme baut Rohde&Schwarz sein Geschäftsfeld Messtechnik um eine zukunftssträchtige Sparte aus.

Zurich Instruments ist ein führender Hersteller von Messtechnik für die Entwicklung, den Betrieb und die Wartung von

Quantencomputern. Quantentechnologien gehören in die Kategorie „das nächste große Ding“. Ihr Potenzial für Industrie und Forschung ist enorm. Die weltweiten Entwicklungsanstrengungen konzentrieren sich auf die Schwerpunkte Quantencomputing, Quantenkryptografie und Quantensensing. Insbesondere der Messtechnikmarkt für Quantencomputing birgt für beide Unternehmen ein erhebliches Potenzial. Rohde&Schwarz und Zurich Instruments bündeln hierfür ihre Kompetenzen. Während Zurich Instruments ein starkes Netzwerk im wissenschaftlichen Umfeld

und Spezialtechnologie mitbringt, steuert Rohde&Schwarz sein Know-how in der Hochfrequenztechnik und Kontakte in der Industrie bei. Über ihre komplementären Produkte können die beiden Unternehmen in Zukunft Komplettlösungen anbieten.



BUNDESVERDIENSTKREUZ FÜR PROFESSOR ROHDE

Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. mult. Ulrich L. Rohde, Sohn des Firmengründers Dr. Lothar Rohde und Miteigentümer von Rohde&Schwarz, hat das Verdienstkreuz am Bande der Bundesrepublik Deutschland erhalten. Er bekam diese besondere Auszeichnung auf Vorschlag des Bayerischen Ministerpräsidenten Dr. Markus Söder für seine Verdienste als Wissenschaftler und akademischer Lehrer sowie als Entwickler und Unternehmer auf den Gebieten der Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik. Der Laureat, der 2020 sein achtzigstes Lebensjahr vollendet hat, hält zahlreiche Patente, ist Autor von über 350 Fachpublikationen und Lehrbüchern. Er lehrt zudem Elektro- und Mikrowellentechnik an Universitäten in Deutschland, Rumänien, Indien und den USA.

Professor Rohde erhielt das Verdienstkreuz am Bande für seine Verdienste auf den Gebieten der Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik.



MX AWARD FÜR WERK TEISNACH

Das Rohde&Schwarz-Werk Teisnach im Bayerischen Wald ging als Gesamtsieger aus dem Wettbewerb um den MX Award des Jahres 2020 hervor. Der MX Award zählt zu den wichtigsten Preisen für Industrieunternehmen im deutschsprachigen Raum. Vergeben wird er seit 2004 jährlich unter der Schirmherrschaft des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Der Leitgedanke des Awards lautet: „Stärken erkennen – Maßstäbe setzen“. Zu den Kategorien des Wettbewerbs gehören Führungskultur und Mitarbeiterintegration, Kundenorientierung, Prozess- und Produktinnovation, Informationstechnologie, Qualitätsmanagement, Logistik- und Netzwerkmanagement. Wer in allen Kategorien hervorragend abschneidet, erzielt den Gesamtsieg. Der MX Award ist der jüngste Preis in einer Reihe von nationalen und europäischen Auszeichnungen, die Werk Teisnach, das deutsche Mechatronikzentrum im Rohde&Schwarz-Produktionsverbund, in den letzten Jahren erhalten hat.

Die Anerkennung für hervorragende Leistungen in allen Kategorien: der MX Award.

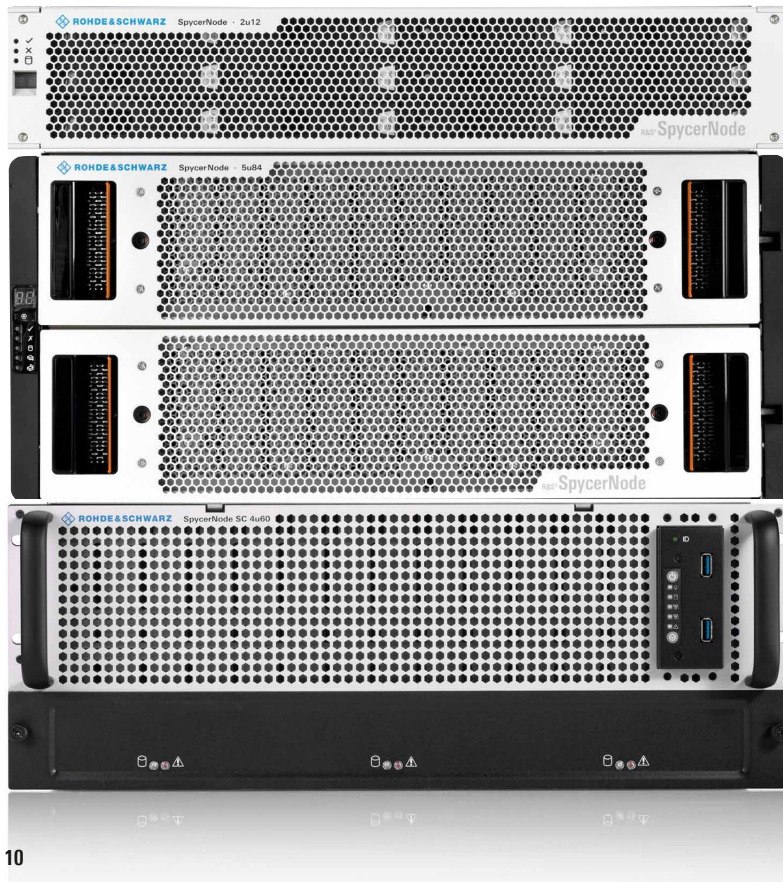


BASISMODELL ERGÄNZT VIDEOSPEICHER-PRODUKTLINIE

Broadcasting- und Postproduktions-Studios brauchen sehr schnelle, hochverfügbare Massenspeicher, die zudem leicht skalierbar sein sollen. Dafür hat Rohde & Schwarz die Modellreihe R&S®SpycerNode entwickelt, die modernste Technologien aus dem High-Performance-Computing implementiert. Bisher umfasste die Familie Geräte von 2 bis 5 Höheneinheiten für die Aufnahme von 12 bis 84 Platten, mit denen sich durch Clustering Kapazitäten bis in den Exabyte-Bereich realisieren lassen (Bild oben und Mitte). Dieses Angebot wird jetzt durch das Modell R&S®SpycerNode SC ergänzt (unten).

R&S®SpycerNode SC unterstützt mit seiner marktführenden Bandbreite von bis zu 22 GByte/s (PCIe 4.0) typische High-Performance-Anwendungen wie Mastering, Editing oder Color Grading in 4k und höheren Auflösungen. Das 4-HE-Gehäuse beherbergt maximal 960 TByte, verteilt auf 60 Platten. Bei noch größerem Speicher- oder Bandbreitenbedarf lassen sich mehrere Einheiten zu einem Cluster verbinden. Einzigartig ist die Möglichkeit, Bandbreite gegen Kapazität einzutauschen und in einem Endurance-Mode 25 Prozent mehr Speicher zu nutzen. Dieser Modus bietet außerdem eine vom Füllgrad unabhängige konstante Bandbreite und Latenz.

Verhelfen Broadcasting-Studios zu maximaler Speicher-Performance: R&S®SpycerNode (oben und Mitte) sowie der neue R&S®SpycerNode SC.



Anders als die für große Speichercluster konzipierten Topmodelle, die neben einer vollständigen Hardware-Redundanz auch über Software-Redundanz durch Erasure Coding verfügen (IBM Spectrum Scale™), sichert R&S®SpycerNode SC seinen Datenbestand durch Raid 6, was bedeutet, dass zwei beliebige Platten ohne Datenverlust gleichzeitig ausfallen dürfen – ein extrem unwahrscheinlicher Fall. R&S®SpycerNode und R&S®SpycerNode SC lassen sich in beliebigen Mischkonfigurationen betreiben und teilen die allgemeinen Merkmale der Produktfamilie wie die Verwaltung über einen einfach bedienbaren Device-Manager, die Erreichbarkeit aller Einheiten über einen gemeinsamen Namensraum und die Integrierbarkeit in ein Production Asset Management durch R&S®SpycerPAM.



Referenz: Einer der bekanntesten US-Broadcaster mit Sitz in New York suchte eine Hochdurchsatz-

Speicherlösung für den schnellen Transfer von Nachrichtengrafiken. Seine Kreativen hatten unter ständigem Zeitdruck große Video- und Grafikdateien aus Tools wie Flame, C4D, Adobe After Effects, Maya oder Premiere zu bearbeiten und die fertigen Grafiksequenzen zeitnah an das empfangende Studio oder Playout-Center zu übertragen. Die Lösung sollte mehr als 300 Clients unterstützen und über zwei Standorte hinweg synchronisiert sein, um ein hohes Maß an Ausfallsicherheit zu gewährleisten (Disaster Recovery). Nach einem umfassenden Request-for-Information-Prozess mit anschließendem Proof of Concept fiel die Wahl auf R&S®SpycerNode. Besonderen Wert legte der Kunde auf die problemlose Integration des Speichersystems in das bestehende komplexe IT-Netzwerk und seine einfache Verwaltung. Nach dem erfolgreichen Rollout bei den Nachrichtenteams möchte der Sender das System nun auf weitere Nutzergruppen ausweiten, zunächst auf den Bereich Sport, was den Einsatz weiterer R&S®SpycerNode-Hardware erfordert – kein Problem, da ein beliebiger Ausbau auch im laufenden Betrieb möglich ist.

ERFOLGSMODELLREIHE ERNEUERT

Modellpflege bei der Netzwerkanalysatorfamilie R&S®ZNB

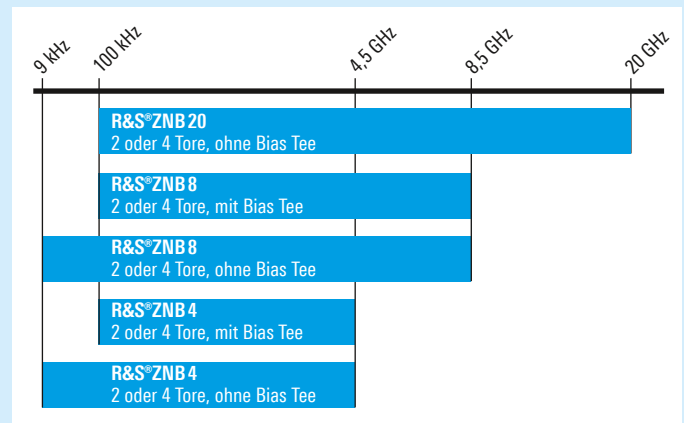
In den 10 Jahren seit ihrer Einführung haben sich die Netzwerkanalysatoren der R&S®ZNB-Familie einen festen Platz in den Produktionslinien für Hochfrequenzkomponenten erobert. Auch viele Entwickler machen gern von ihren Vorzügen wie der komfortablen Bedienung Gebrauch. Über die Jahre immer wieder im Detail verbessert, wurden die Geräte nun gründlich überarbeitet.

Für den Nutzer gebaut: Anpassungsfähige Bedienoberfläche mit Multitouch-Display

Gutes soll man bewahren. Wer bereits mit dem R&S®ZNB oder der Oberklassebaureihe R&S®ZNA vertraut ist, wird sich mit den neuen Modellen schnell zurechtfinden. Die kontextsensitive Softkey-Bedienung, seinerzeit ein Novum für Netzwerkanalysatoren, wurde weiter verfeinert und findet nun auf einem kapazitiven Touch-Display statt, das auch Zwei-Finger-Gesten versteht. So sind Messanzeigen per Spreizgeste sekundenschnell vergrößert. Eine weitere Bedienangleichung an die Topklasse bringt die DUT-Taste – beim R&S®ZNB als Hardkey ausgeführt. Mit ihr gelangt man direkt in ein Messobjekt-zentriertes Menü, in dem man das Geräte-Setup angeleitet durch Assistenten schnell an die Messaufgabe anpassen kann.

Stabile Eigenschaften bis zur Frequenzobergrenze

Die runderneuerte R&S®ZNB-Familie startet mit Modellen bis 4,5 GHz, 8,5 GHz und 20 GHz. Alle Modelle kamen in den Genuss einer neuen Rechnerplattform, die neben höherer Leistung



Das neue R&S®ZNB-Portfolio startet mit Modellen bis 20 GHz. Bei Geräten mit integrierter Gleichspannungsversorgung über Koaxialkabel (Bias Tee über rückseitigen Einschub), liegt die Eingangsfrequenz geringfügig höher.

auch die Updatefähigkeit der Geräte wieder auf Jahre hinaus sicherstellt. Während die den Einsatzanforderungen entsprechende HF-Performance der Geräte bis 8,5 GHz auf dem bisherigen Stand belassen wurde, bringt das neue HF-Frontend des 20-GHz-Modells deutliche Verbesserungen mit. So liegt die Ausgangsleistung nun bis zur Frequenzobergrenze bei typ. +13 dBm – eine willkommene Eigenschaft besonders in der Produktion. Angesichts des hier üblichen Dauereinsatzes der Geräte wird man auch die gesteigerte Temperaturstabilität begrüßen, die sich nun mit einer temperaturabhängigen Drift von 0,016 dB/K auf dem Niveau von High-End-Analysatoren bewegt. Zur Erhöhung der Robustheit schützt jetzt ein ESD-Limiter die empfindliche Mikrowellenelektronik des 20-GHz-R&S®ZNB vor Spannungsspitzen. Das zur DUT-Steuerung dienende RF-Frontend-Control-Interface (MIPI® RFFE) wurde modellübergreifend in eine externe Box ausgelagert und lässt sich so in unmittelbarer Nähe des Messobjekts platzieren, was die Verkabelung vereinfacht.

Mit dem Update ist die R&S®ZNB-Baureihe für die Anforderungen kommender Generationen von HF- und Mikrowellenprodukten gerüstet. Weitere Modelle für höhere Frequenzen sind in Vorbereitung.

Tanja Menzel



OTA-MESSUNGEN AN 5G-FR2-GERÄTEN

Die kompakte Testkammer R&S®ATS1800C für Messungen an 5G-Mobilfunkgeräten ist jetzt noch vielseitiger. Mit mehreren Strahlpfaden ermöglicht sie Radio-Resource-Management-Tests over the air – und vieles mehr.

Reproduzierbare OTA-Messungen unter Laborbedingungen erfordern den Einsatz von echofreien Messkammern, die je nach zugrunde liegendem Prinzip erhebliche Ausmaße annehmen können. Vor wenigen Jahren noch der exotische Ausnahmefall und spezialisierten, oft sehr großen Testeinrichtungen vorbehalten, sind OTA-Messungen durch die Ausweitung des 5G-Mobilfunks auf den Millimeterwellenbereich heute Laboralltag.

Gefragt sind deshalb kompakte Lösungen – sogenannte Compact Antenna Test Ranges (CATR), die nicht viel Platz brauchen. Um trotz der Kompaktheit präzise Messergebnisse zu bekommen, sind konstruktive Klimmzüge nötig. Denn am Ort des Messobjekts ist ein homogenes Feld erforderlich, wie es sich bei einer geradlinigen Wellenausbreitung zwischen Sender und Empfänger erst im Abstand von vielen Metern einstellt

(Direct Far Field, DFF). CATR arbeiten dagegen mit parabolischen Umlenkspiegeln, die zum einen die Baulänge verkürzen und zum anderen die vom Sender kommende Kugelwelle in eine ebene Wellenfront kollimieren (Indirect Far Field, IFF). Das Ergebnis ist eine „Quiet Zone“ in kurzem Abstand vom Reflektor, die das Messobjekt vollständig umschließt. Je größer diese Zone, desto größer dürfen die Messobjekte sein bzw. desto flexibler lassen sie sich im Raum positionieren. Das spielt in der Praxis eine nicht unbedeutende Rolle, weil es dann innerhalb bestimmter Grenzen unwichtig ist, wo genau sich die Prüflingsantennen im Gehäuse befinden (Black-Box-Ansatz). Denn OTA-Messungen werden nicht nur von den Geräteherstellern durchgeführt, die natürlich über diese Information verfügen, sondern auch von Dienstleistern, die schnell und unkompliziert zu validen Ergebnissen kommen wollen.

Bei DFF-Systemen hängt die Größe der Quiet Zone außer von der Wellenlänge im Wesentlichen vom Abstand zwischen Sende- und Empfangsantenne ab. Bei IFF-Systemen wird sie dagegen vorwiegend von der Größe des Reflektors bestimmt und ist weitgehend unabhängig von der Kammergröße, wobei natürlich einige geometrische Bedingungen bzgl. des Abstands zwischen Speiseantenne, Reflektor und Prüflingsantenne erfüllt sein müssen. Man realisiert so auf kleinem Raum zylindrische QZ mit Durchmessern von 30 cm und mehr, genug für die meisten Endgeräte. Für eine vergleichbar große QZ von



Bild 1: Die Messkammer (CATR) R&S®ATS1800C ist die kompakteste Lösung für 5G-FR2-OTA-Messungen auf dem Markt.

30 cm würde man in einem DFF-System einen Prüfungsabstand zur Messantenne von knapp 17 m bei 28 GHz benötigen, was einer Freifeld-dämpfung (siehe Kasten) von 86 dB entspricht und neben der notwendigen Kammerlänge von rund 20 m auch eine Messdynamikeinbuße von ca. 25 dB oder Faktor 20 gegenüber einem IFF-System mit sich brächte.

Auf den Kopf gestellt

Die Vorteile einer CATR gegenüber einer DFF-Testkammer machen sie für den Millimeterwellenbereich alternativlos. Durch intelligentes Design lässt sich aber noch mehr aus dem Konzept herausholen. Marktübliche Kammern werden in einem horizontalen Setup geliefert, was zu einem Stellplatzbedarf von mindestens 1 m x 2,5 m führt. Kammern von Rohde&Schwarz wie die R&S®ATS1800C kommen aber mit einer halb so großen Grundfläche aus, denn sie sind vertikal konstruiert (Bild 1).

Anders als der Flächenverbrauch spielt die Bauhöhe der Gerätschaften bei der Laborausstattung normalerweise keine Rolle, wenn sie unterhalb der Raumhöhe bleibt. Die R&S®ATS1800C passt sogar durch eine 2-m-Standardtür und lässt sich auf ihren stabilen Rädern problemlos zwischen Laboren verschieben. Der vertikale Aufbau hat außerdem den Vorteil, dass man den Prüfling, sofern man ihn statisch oder in nur einer Achse bewegt untersuchen will, einfach auf die Messobjektaufnahme legen kann, während er bei horizontalem Kammerdesign immer gegen die Schwerkraft in der Quiet Zone fixiert werden muss.

Die Feldqualität in der Quiet Zone hängt entscheidend von der Güte des Reflektors ab. Die Reflektoren der Rohde&Schwarz-Kammern werden mit höchster Genauigkeit aus einem Aluminiumblock gefräst und

zur Langzeitkonservierung der Oberfläche vergoldet.

Alle Messungen mit einer Kammer

Wer in eine CATR investiert, möchte möglichst alle anfallenden OTA-Messungen damit durchführen können, seien sie von Standards gefordert oder durch eigene Testkonzepte motiviert. Die R&S®ATS1800C bietet deshalb Ausbaumöglichkeiten, die ein breites Spektrum an Messmöglichkeiten eröffnen.

So müssen Produkte, die am Markt bestehen sollen, in einem breiten Temperaturfenster funktionieren. Für entsprechende Tests lässt sich die R&S®ATS1800C ohne größere Umbaumaßnahmen und jederzeit reversibel mit einer HF-durchlässigen Klimakammer ausrüsten, mit der das Prüfungsverhalten bei Temperaturen zwischen -40 °C und +85 °C untersucht werden kann.

Die einschlägigen Standards beschreiben nicht nur obligatorische Funktionstests an den Endgeräten, sondern geben auch Grenzwerte für ihr Emissionsverhalten vor, so auch für ungewollte Abstrahlungen auf Frequenzen außerhalb des Arbeitsfrequenzbands (out of band spurious emissions). Der große Frequenzbereich der Kammer erlaubt solche Messungen zwischen 6 GHz und 90 GHz, also bis zur zweiten Harmonischen eines FR2-Prüflings. Da keine einzelne Antenne derart breitbandig mit der erforderlichen Genauigkeit arbeitet, können verschiedene Antennen nacheinander durch einen Feedswitcher automatisch in den Fokuspunkt des Reflektors gebracht werden. Die Kammer wird dafür mit einem motorisch angetriebenen Antennenmagazin ausgestattet.

Eine ganz neue Erweiterungsmöglichkeit dient der Untersuchung von Prüflingen bei gleichzeitigem Empfang von Signalen aus verschiedenen

Raumrichtungen, ein typisches Test-szenario im Bereich Radio Resource Management (RRM). Wie in einem realen Netz werden dem Endgerät Signale mehrerer Basisstationen unter verschiedenen Einfallswinkeln angeboten und seine Reaktionen etwa auf Pegeländerungen beobachtet. Auch Handover- und Roaming-Szenarien lassen sich so simulieren. In einem CATR-System ist dafür mindestens ein weiterer Reflektor notwendig. Allerdings schreibt die 3GPP-Spezifikation für RRM sechs verschiedene Winkelkombinationen von 30° bis 150° zwischen den Basisstationensignalen vor. Durch geschicktes Kombinieren von unterschiedlichen Reflektoren lässt sich diese Vorgabe mit nur drei zusätzlichen Spiegeln erfüllen. Die R&S®ATS1800C wird dafür – auch nachträglich und rückbaubar – durch

5G-Frequenzbereiche FR1, FR2

Der Frequenzbereich FR1 umfasst mehr oder weniger den bisher geläufigen Mobilfunkbereich. Der Millimeterwellenbereich FR2 wird für 5G erstmalig genutzt.

Frequenzbereich	Frequenzgrenze	Frequenzgrenze
FR1	450 MHz	7,125 GHz
FR2	24,25 GHz	52,6 GHz

Fernfeld (Fraunhofer-Region)

Die Fraunhofer-Formel gibt an, ab welchem Abstand von einer Antenne der Größe D die Ausbreitung einer Welle mit Wellenlänge λ als plan angenommen werden kann. Ab hier beginnt das Fernfeld.

$$r = \frac{2D^2}{\lambda}$$

Freifelddämpfung

Im Fernfeld nimmt die Dämpfung einer sich ausbreitenden Welle quadratisch mit der Entfernung und der Frequenz zu:

$$D_f = \left(\frac{4 \pi R}{\lambda} \right)^2$$

In der Praxis arbeitet man mit dem logarithmierten Wert dieser Größe, dem Freiraumdämpfungsfaktor:

$$FSPL = 10 \log_{10} D_f = 20 \log_{10} \left(\frac{4 \pi R}{\lambda} \right)$$

zwei angeflanschte Seitenkammern zur R&S®ATS1800M (Multireflektor) erweitert (Bild 2).

Jede der Zusatzkammern beherbergt einen oder zwei Reflektoren und die zugehörigen Speiseantennen. Wie der Spiegel der Hauptkammer erzeugt jeder Zusatzspiegel seine eigene 30 cm durchmessende Quiet Zone; alle QZ überlagern sich am Ort des Messobjekts zu einer etwa kugelförmigen resultierenden QZ von 30 cm Durchmesser mit der angenehmen Konsequenz, dass der Black-Box-Ansatz uneingeschränkt auch bei RRM-Messungen praktiziert werden kann. Die große QZ hat eine deutlich geringere Messunsicherheit als andere Lösungen zur Folge und hüllt

das DUT bei jeder räumlichen Orientierung sicher ein. Diese lässt sich über den 3D-Positionierer feinstufig ändern, sodass trotz der Systemfixierung auf sechs feste relative Einfallswinkel jeder beliebige absolute Winkel des Testobjekts zu den Basisstations-signalen einstellbar ist.

Damit wird die R&S®ATS1800C zum Multitalent, das neben 5G-FR2-HF-Tests auch RRM-Tests mit einem oder mehreren Einfallswinkeln ermöglicht und darüber hinaus Untersuchungen auf Protokollkonformität und Demodulationstests erlaubt – mithin alle Messungen, die man bei niedrigeren Frequenzen üblicherweise kabelgebunden durchführt.

Startklar out of the box

Da die R&S®ATS1800C komplett montiert und eingestellt in einem Stück geliefert wird, ist eine Inbetriebnahme vor Ort innerhalb kurzer Zeit möglich. Das gilt ebenso für die Erweiterung

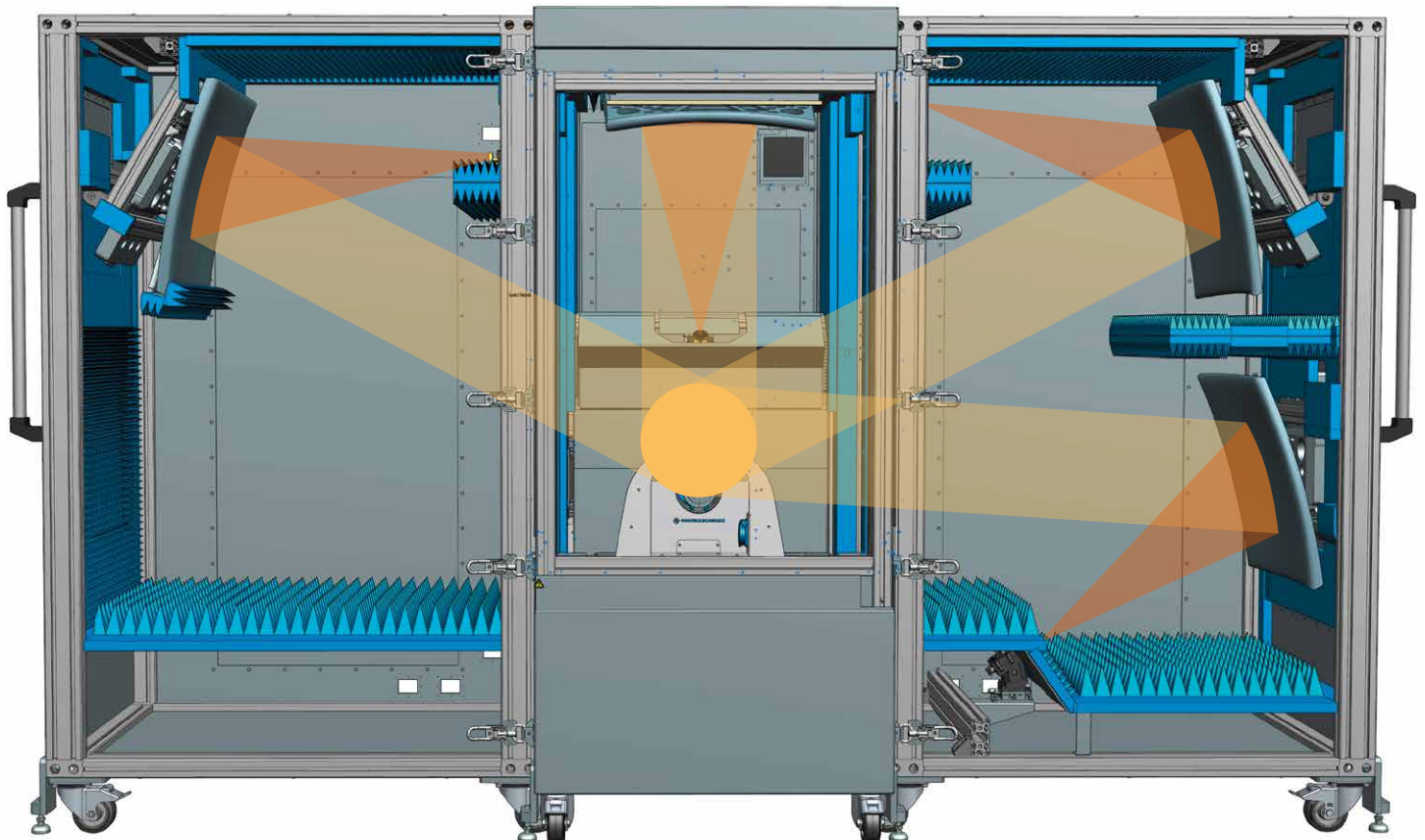
zur R&S®ATS1800M, da die beiden Seitenkammern einfach mit mehreren Verbindungsriegeln an die zentrale Kammer angekoppelt werden.

Fazit

Die Ausweitung des Mobilfunkfrequenzbereichs auf Millimeterwellenfrequenzen erzwingt Messungen over the air. Um diese aufwandsarm durchführen zu können, sind kleine CATR-Kammern gefragt, die das gesamte Testprogramm unterstützen, das bis hin zu 5G FR1 noch über Kabelverbindungen möglich war. R&S®ATS1800C und ihre RRM-Erweiterung R&S®ATS1800M sind solche Kammern mit am Markt einzigartigen Eigenschaften. Bei kleiner Stellfläche verbinden sie hohe messtechnische Präzision mit einfacher Handhabung und großer Variabilität. Sie bieten der Mobilfunkindustrie alle derzeit geforderten Messmöglichkeiten und lassen Raum für zukünftige Anforderungen.

Günter Pfeifer

Bild 2: Angesetzte Zusatzkammern erweitern die Basiskammer R&S®ATS1800C zur mehrstrahligen R&S®ATS1800M für RRM-Messungen. Im Überlappungsbereich der Strahlen bildet sich eine rund 30 cm durchmessende Quiet Zone aus, in der gängige Mobilfunkgeräte bequem in beliebiger Raumlage positioniert werden können.



NON-SIGNALING-FLAGGSCHIFF



Bild 1: Der Radio Communication Tester R&S®CMP180 wird mit der Testumgebung R&S®CMsquares bedient.

Der R&S®CMP180 (Bild 1) ist der neue Non-signaling-Allrounder (Vektorsignalgenerator-/-analysator-Single-Box-Tester) unter den R&S-Mobilfunk- und -Wireless-Testern. Mit seinem Frequenzbereich von 400 MHz bis 8 GHz und 500 MHz Bandbreite unterstützt er neben Legacy-Standards auch neueste Entwicklungen wie Wi-Fi 6E/7 und 5G FR1. Einsatzschwerpunkt ist die Massenproduktion entsprechender Endgeräte. Durch die komfortable Bedienung über die Testumgebung R&S®CMsquares, die

im Sinne einer Ein-Plattform-Strategie auch den Signalisierungs-Tester R&S®CMX500 steuert, kann der R&S®CMP180 aber durchgängig entlang der gesamten Wertschöpfungskette genutzt werden, also auch für Engineering Validation Tests (EVT), Design Validation Tests (DVT) und Production Validation Tests (PVT), Bild 3. Das macht die Testergebnisse vergleichbar, vereinfacht die Software-Erstellung und verkürzt die Time-to-Market.

Zwei Vektorsignalgeneratoren und Signalanalysatoren, die sich auf je acht HF-Anschlüsse schalten lassen, sowie die Test-Features SmartChannel, DL Broadcasting und Interleaving ermöglichen paralleles Testen mit hohem Durchsatz und maximaler Flexibilität bei der Testausgestaltung. Obwohl im 5G-FR1-Frequenzbereich kabelgebundene Messungen die Regel sind, liefert der R&S®CMP180 genügend Ausgangsleistung für Antennenmessungen in einer geschirmten Testkammer. Zur Markteinführung ist Testsoftware für die wichtigsten Wireless- und Mobilfunkstandards lieferbar. Das Angebot wird dann zügig ausgebaut, etwa hin zu Automotive-V2X-, GNSS- und weiteren Legacy-Standards.

(Red)

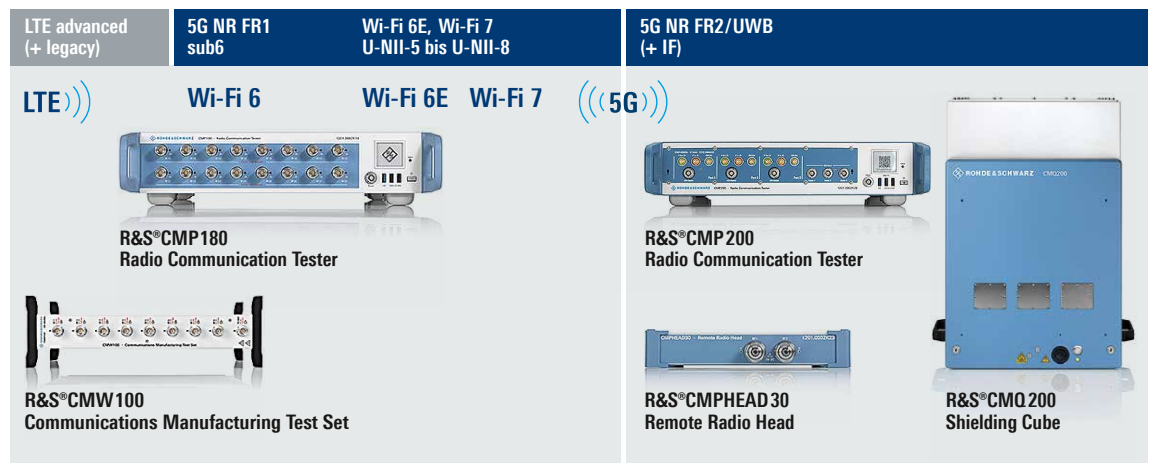
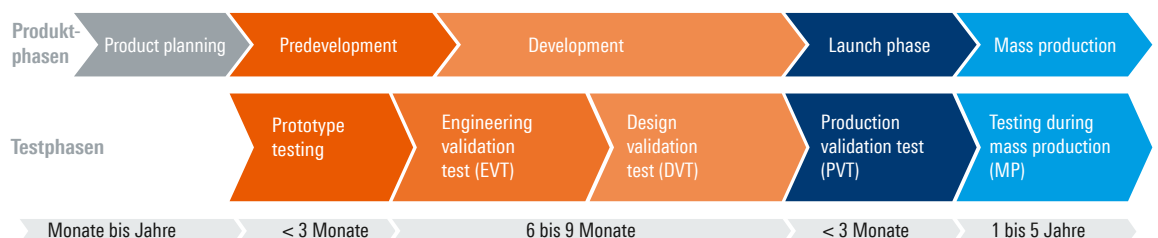
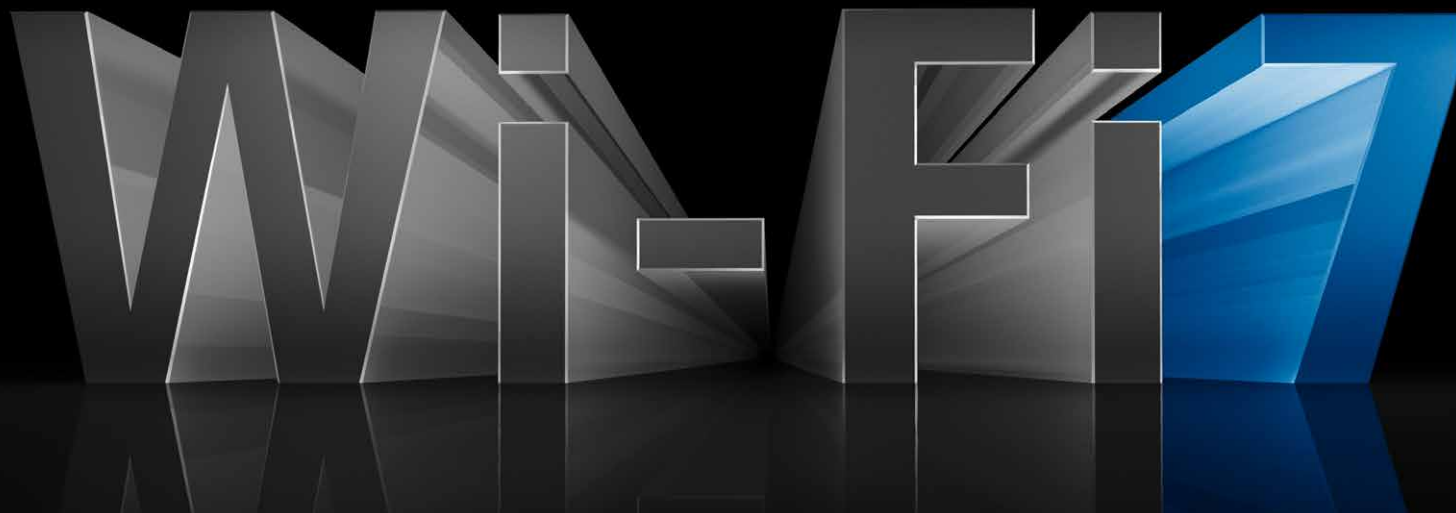


Bild 2: Mit dem R&S®CMP180 ist das Portfolio der Non-signaling-Tester komplett.

Bild 3: Der R&S®CMP180 kommt in allen Produktphasen zum Einsatz, in denen testbare Hardware vorliegt.





802.11BE-SIGNALE ERZEUGEN UND ANALYSIEREN

Die Spezifikationen des nächsten WLAN-Standards IEEE 802.11be sind soweit gefestigt, dass man konkrete Umsetzungen in Angriff nehmen kann. Signalgeneratoren und -analytoren öffnen das Tor zur Signalwelt von Wi-Fi 7.

Die Entwicklung der nächsten WLAN-Generation 802.11be (Wi-Fi 7) ist im Gang. Hauptentwicklungsziel ist ein weiter gesteigerter Datendurchsatz im Vergleich zum aktuell schnellsten Standard 802.11ax (Wi-Fi 6). Im Wesentlichen gibt es dafür zwei Ansätze: eine Erweiterung der Modulationsschemata und eine flexiblere Nutzung des zugewiesenen Frequenzspektrums, insbesondere in Umgebungen mit hoher Nutzerdichte. Mit 802.11be werden beide Ansätze verfolgt.

Der neue Standard baut auf den Errungenschaften von 802.11ax auf und setzt den damit eingeschlagenen Weg konsequent fort. So nehmen die Signalbandbreiten auf bis zu 320 MHz zu, neue Modulationsschemata bis 4096QAM sind nutzbar und die parallele Übertragung von bis zu 16 Datenströmen ist möglich. Durch Zuweisung mehrerer Frequenzblöcke an einen Teilnehmer (Multiple Resource Units, MRU) lassen sich

datenhungrige Clients maßgeschneidert an den Access Point anbinden. All diese Erweiterungen führen zu einem „Extremely High Throughput“ (EHT), eine Bezeichnung für 802.11be, der man insbesondere in der IEEE-Spezifikation begegnet.

Mit 802.11be werden zwei neue Protokollformate (PPDU) definiert (Bild 1), eines für den Multi-User-Modus (MU) und ein zweites für den Trigger-basierten Modus (TB). Neben neuen EHT-spezifischen Feldern für Steuerinformationen sind in jeder der Präambeln noch einige Legacy-Felder vorhanden, um eine Abwärtskompatibilität zu früheren 802.11-Standards zu gewährleisten. Messgeräte müssen mit den neuen PPDU-Formaten umgehen können und den gestiegenen physikalischen Anforderungen entsprechen. Nachfolgend werden je zwei Geräte für die Erzeugung und Analyse von 802.11be-Signalen vorgestellt.

Bild 1: Die Protokollformate (PPDU) von 802.11be (Grün: Legacy-Felder, Blau: EHT-spezifische Felder).

Multi User PPDU

L-STF	L-LTF	L-SIG	RL-SIG	U-SIG	EHT-SIG	EHT-STF	EHT-LTF	EHT-Daten	PE
-------	-------	-------	--------	-------	---------	---------	---------	-----------	----

Trigger Based PPDU

L-STF	L-LTF	L-SIG	RL-SIG	U-SIG	EHT-STF	EHT-LTF	EHT-Daten	PE
-------	-------	-------	--------	-------	---------	---------	-----------	----

802.11be-Signale erzeugen

Eine Signalgeneratorlösung für 802.11be muss zwei Voraussetzungen erfüllen: die Unterstützung von 320 MHz Signalbandbreite, um alle EHT-Übertragungsmodi bedienen zu können, und die Fähigkeit zur Generierung von 4096QAM-Signalen im 6-GHz-Band (5,925 GHz bis 7,125 GHz). Zum Testen von Leistungsverstärkern und Empfängern muss die EVM-Performance außerdem < -50 dB sein. All das ist bei den Vektorsignalgeneratoren R&S®SMW200A (Oberklasse) und R&S®SMM100A (Mittelklasse) in vollem Umfang erfüllt.

Zwei für beide Modellreihen funktionsgleiche Software-Optionen werden benötigt. R&S®Sxx-K54 ist die WLAN-Basisoption. Sie erlaubt das standardkonforme Erzeugen von Signalen nach 802.11a/b/g/n/j/p. Die Zusatzoption R&S®Sxx-K147 erweitert sie um die neuen Features für 802.11be.

PPDU-Konfiguration in wenigen Schritten

Zur Einstellung von 802.11be-Signalen sind nur wenige Schritte erforderlich. Nach der Auswahl des Übertragungsmodus im Frame Block Sequencer (Bild 2) wird die PPDU konfiguriert. 802.11be führt, wie oben erwähnt, neue PPDU-Formate ein, EHT MU und EHT TRIG, die nicht nur die Legacy-Trainings- und Signalisierungsfelder, sondern auch die für die 802.11be-Signalisierung spezifischen U-SIG- und EHT-SIG-Felder enthalten (Bild 1). Ein Teil dieser Signalisierungsinformationen, z. B. der PHY Version Identifier, ist bereits voreingestellt. Andere Parameter wie Link Direction, PPDU-Typ, BSS Color, STA-ID, MCS-Typ oder Kanalcodierung können direkt und übersichtlich über den PPDU-Konfigurationsdialog ausgewählt werden (Bild 3).

Die menügesteuerten Einstellungen zu RU Allocation und Punctured Channel werden indirekt auf EHT-SIG und U-SIG angewendet (Bild 4). Wie vom Standard vorgesehen, ermöglicht die 802.11be-Option die Zuweisung mehrerer Ressource Units an einen einzelnen Teilnehmer. Mit der RU-Größe wird festgelegt, welche RUs, die z. B. aus 242, 484 oder 996 Teilträgern bestehen, und wie viele einem Nutzer zugewiesen werden. Der MRU-Index definiert die Position der verwendeten RUs. Dadurch werden bestimmte Frequenzbereiche innerhalb der Signalbandbreite, die von bevorrechtigten

Anwendungen (z. B. Wetterradar) belegt sein können, automatisch punktiert (ausgespart) und somit nicht für Übertragungen verwendet.

Spatial Mapping

Um den Datendurchsatz weiter zu erhöhen, spezifiziert der 802.11be-Standard bis zu 16 parallele Datenströme sowohl für SU MIMO (16×16) als auch für MU MIMO und adressiert darüber bis zu acht Teilnehmer (STAs) gleichzeitig, wobei in diesem Fall für einen Teilnehmer bis zu vier Datenströme zur Verfügung stehen. R&S®SMW200A und R&S®SMM100A

Bild 2: WLAN-Konfiguration mit der Option R&S®Sxx-K54: Nach Auswahl des Standards (erste Spalte) lassen sich über das Konfigurationsmenü (dritte Spalte von rechts) die weiteren Einstellungen vornehmen (Bilder 3 und 4).

	Std.	Type	Physical Mode	Tx Mode	Frames	Idle Time /ms	Data	DList / Pattern	Boost /dB	PPDU	Data Rate /Mbps	State
1 >	11be	Data	Mixed Mode	EHT-20MHz	1	0.100 0	A-MPDU		0.00	Conf...		On
2	11n	Data	Mixed Mode	HT-20MHz	1	0.100 0	PN 9		0.00	Conf...	13.00	On
3	11be	Data	Mixed Mode	EHT-320MHz	1	0.100 0	A-MPDU		0.00	Conf...		On
4	11ax	Data	Mixed Mode	HE-20MHz	1	0.100 0	A-MPDU		0.00	Conf...		On
5	11ac	Data	Mixed Mode	VHT-20MHz	1	0.100 0	A-MPDU	Conf...	0.00	Conf...	13.00	On

Bild 3: Konfiguration der Protokollfelder (PPDUs).

Bild 4: MRU-Konfiguration für einen 320-MHz-Kanal.

STA Id	Nsts	RU Size	MRU Index	MU MIMO	Gain /dB	TxBF	PPDU	State
User 1	1	3x996+484	7	Off	0.00	Off	Config...	On

berechnen alle Datenströme mit Bordmitteln, es können jedoch nur maximal zwei (bei entsprechender Hardwareausstattung) gleichzeitig über HF-Schnittstellen ausgegeben werden.

802.11be-Signale analysieren

Die neue Messapplikation R&S®FSW-K91BE erweitert die bestehenden Möglichkeiten zur Analyse von WLAN-Signalen (802.11 a/ b/g/n/p/ac/ad/ax/ay) des Signal- und

- Spektrumanalysators R&S®FSW um 802.11be. Zur Analyse gibt es zwei Wege:
1. Über die benutzerdefinierte Konfiguration des PPDU-Formats können auch Signale konfiguriert werden, die nicht vollständig dem Standard entsprechen. Bild 5 zeigt das beispielhaft für die Definition von Resource Units.
 2. Mehr Komfort bieten die Modi Auto Demodulation und Auto Detection für die Einstellung von Parametern wie Signalbandbreite, Länge des EHT-LTF (EHT Long Training Field), Guard Interval und für die Zuweisung von Resource Units einschließlich MCS (Modulation and Coding Scheme) und anderer anwenderspezifischer Werte, wie sie in den neuen Signalfeldern U-SIG (universal) und EHT-SIG definiert sind (Bild 6).

Bild 5: Manuelle Zuweisung von Resource Units und anwenderspezifischen Indizes.

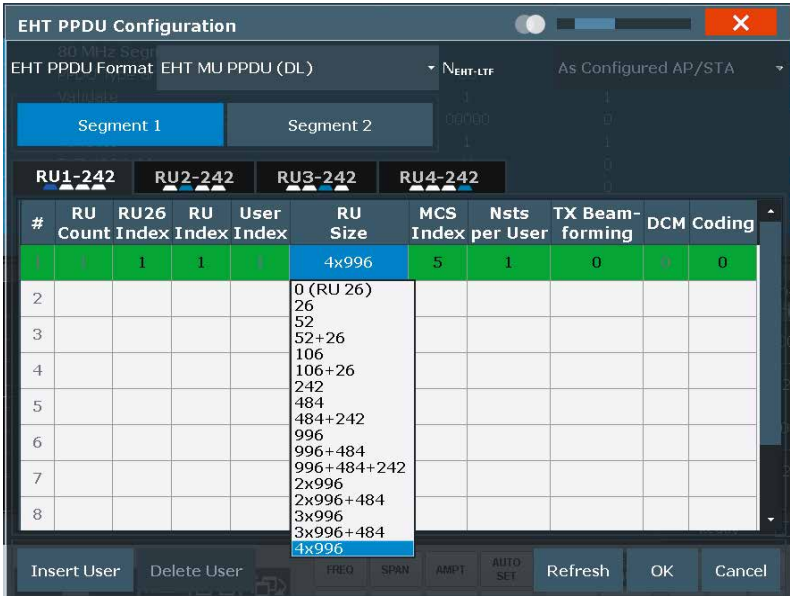


Bild 6: Im Modus Auto Detection stellt sich der Analysator automatisch auf ein angelegtes 802.11be-Signal ein und listet dessen Parameter.



Zwei neue 4096QAM-Modulations- und Coding-Schemata sowie Signalbandbreiten bis 320 MHz stellen höhere Ansprüche an die Signalqualität als bisher. Der Standard 802.11be D0.2 fordert hierfür eine EVM von höchstens –38 dB. Rechnet man eine Sicherheitsmarge von 10 dB ein, sollte der Analysator die EVM bis auf ≤ -48 dB genau messen können. Ausgestattet mit der Option R&S®FSW-B320 für 320 MHz Analysebandbreite, kommt der R&S®FSW auf Werte < -50 dB, was insbesondere für die Chip-Entwicklung genügend Reserve bedeutet.

Neben den üblichen Einstellungen zur Kanalschätzung bietet die Messapplikation R&S®FSW-K91BE die Möglichkeit zur Variation von Parametern wie Phase, Timing und Pegel sowie eine Kompensation von I/Q-Fehlanspassungen. Die Messanzeigen und Tabellen für die Darstellung von Konstellationsdiagramm, Messergebnissen, den Inhalt der Signalisierungsfelder und anderes lassen sich nach Bedarf anordnen (Bild 7).

Für Anwendungen, in denen Geschwindigkeit ein Hauptkriterium ist, also etwa in Produktionslinien, ist der Signal- und Spektrumanalysator R&S®FSVA3007 mit seinem Frequenzbereich bis 7,5 GHz und einer Analysebandbreite von 400 MHz (R&S®B400) das ideale 802.11be-Messgerät. Neben der WLAN-Grundmessooption wird die Option R&S®FSV3-K91BE benötigt, die mit der oben beschriebenen R&S®FSW-K91BE funktionsgleich ist.

Werner Dürport, Michael Kaltenbach

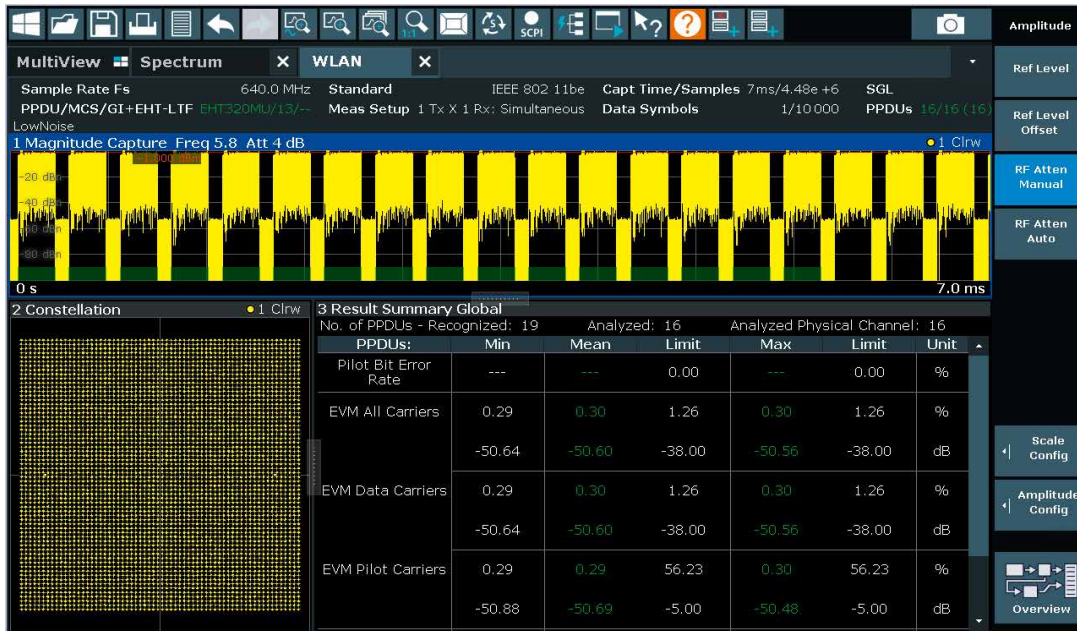


Bild 7: Analyse eines 802.11be-Signals mit der Option R&S®FSW-K91BE.

Abkürzungen

BSS	Basic Service Set
EHT	Extremely High Throughput
L	Legacy
LTF	Long Training Field
MCS	Modulation and Coding Scheme
MRU	Multiple Resource Unit
MU	Multi User
PPDU	Protocol Packet Data Unit
PHY	Physical Layer
RU	Resource Unit
PE	Packet Extension
RL	Repeated Legacy
SIG	Signal Field
STA	Station (Endgerät)
STF	Short Training Field
SU	Single User
TB	Trigger-based
U	Universal

Generatoren und Analysatoren für IEEE 802.11be und ihre erforderliche Ausstattung



High-End-Vektorsignalgenerator R&S®SMW 200A

- ▶ R&S®SMW-B1007 Ausgangsfrequenzen bis 7,5 GHz
- ▶ R&S®SMW-B13XT Breitband-Basisband-Modul
- ▶ R&S®SMW-B9 Breitband-Basisbandgenerator (500 MHz BW)
- ▶ R&S®SMW-B711 Verbessertes Phasenrauschen
- ▶ R&S®SMW-K54 IEEE 802.11-Grundoption inkl. 11a/b/g/n/j/p
- ▶ R&S®SMW-K147 IEEE 802.11be



Mittelklasse-Vektorsignalgenerator R&S®SMM 100A

- ▶ R&S®SMM-B1007 Ausgangsfrequenzen bis 7,5 GHz
- ▶ R&S®SMM-B9 Basisbandgenerator (120 MHz BW)
- ▶ R&S®SMM-K523 Bandbreitenerweiterung auf 240 MHz
- ▶ R&S®SMM-K524 Bandbreitenerweiterung auf 500 MHz
- ▶ R&S®SMM-K520 Echtzeit-Erweiterung
- ▶ R&S®SMM-K54 IEEE 802.11-Grundoption inkl. 11a/b/g/n/j/p
- ▶ R&S®SMM-K147 IEEE 802.11be



High-End-Signal- und Spektrumanalysator R&S®FSW 26

- ▶ R&S®FSW 26 Signal- und Spektrumanalysator bis 26,5 GHz
- ▶ R&S®FSW-B320 Bandbreitenerweiterung auf 320 MHz
- ▶ R&S®FSW-B24 HF-Vorverstärker
- ▶ R&S®FSW-K91 IEEE 802.11-Grundoption
- ▶ R&S®FSW-K91BE IEEE 802.11be



Mittelklasse-Signal- und Spektrumanalysator R&S®FSV 3007

- ▶ R&S®FSV 3007 Signal- und Spektrumanalysator bis 7,5 GHz
- ▶ R&S®FSV 3-B114 Höhere Rechenleistung
- ▶ R&S®FSV 3-B 400 Bandbreitenerweiterung auf 400 MHz
- ▶ R&S®FSV 3-B24 HF-Vorverstärker
- ▶ R&S®FSV 3-K91 IEEE 802.11-Grundoption
- ▶ R&S®FSV 3-K91BE IEEE 802.11be

RUSHHOUR AM PRÜFSTAND

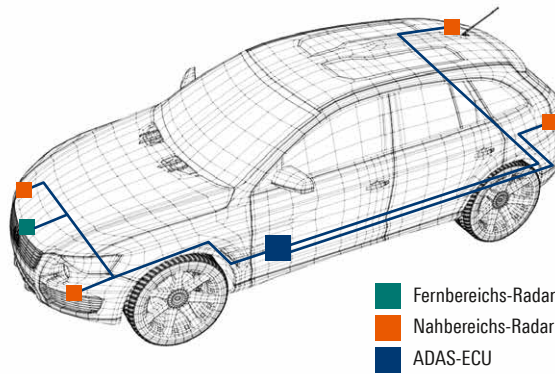
Zunehmende Autonomie und immer ausgeklügeltere Sicherheitsfunktionen treiben die sensorische Aufrüstung der Fahrzeuge an. Ein neues Geräte-Duo macht den Test der Bordradare zu einer Routine-Übung.





Viele Autofahrer möchten den Komfort eines Abstandstempomaten und die zusätzliche Sicherheit durch Kollisionswarner nicht mehr missen. Ihre Umweltinformationen erhalten die Assistenzsysteme (Advanced Driver Assistance Systems, ADAS) über Radarsensoren, die in immer größerer Stückzahl rund um das Fahrzeug verbaut werden (Bild 1). Als sicherheitsrelevante Komponenten muss ihre einwandfreie Funktion und die Einhaltung der spezifizierten Leistungsdaten gewährleistet sein. Der Nachweis war bisher aber nicht leicht zu erbringen. Zwar gibt es schon länger Radarecho-Generatoren, mit denen sich einfach gestrickte Modellszenarien simulieren lassen. Mit fortschreitender Entwicklung in Richtung Fahrzeugautonomie werden die von der Borelektronik zu meisternden Situationen allerdings immer anspruchsvoller. Schließlich sollen die kognitiven Leistungen des Fahrers irgendwann komplett auf Technik abgebildet sein. Eine Fahrzeug-KI kann aber nur dann vertrauenswürdige Entscheidungen treffen, wenn die zugrunde liegenden Sensordaten die Umwelt in der für die Fahrzeugführung notwendigen Komplexität und Exaktheit widerspiegeln. Dazu gehört, dass in der Tiefe gestaffelte, sich verschieden schnell bewegende Objekte unterschiedlicher Größe, wie sie für innerstädtische Situationen typisch sind (z. B. an Fußgängerüberwegen und Kreuzungen), hinreichend sicher erfasst werden.

Bild 1: Nah- und Fernbereichs-Radare liefern die Umgebungsinformationen für verschiedene Fahrerassistenzsysteme.



Nur ein getestetes Radar ist ein sicheres Radar

Die notwendige Qualitätssicherung für Kfz-Radare umfasst sowohl die messtechnische Abnahme jedes einzelnen Sensors in der Fertigungslinie des Sensorherstellers wie auch die Typprüfung der serienreifen Fahrzeuge, in die die Sensoren integriert sind. Testbedarf besteht aber schon vorher in der Sensor-, ADAS- und Fahrzeug-Entwicklung. Gerade hier ist maximale Flexibilität bei der Testausgestaltung gefragt.

Der Test einzelner Sensoren erfolgt am besten in einer geschirmten Messkammer wie der R&S®ATS1500C, weil sich hier die Testbedingungen exakt rekonstruieren und unkontrollierte Fremdeinflüsse ausschließen lassen. Ganze Fahrzeuge misst man auf dem Rollenprüfstand unter quasirealen Betriebsbedingungen. Wobei sich der Realismus bisher notgedrungen auf das Fahrzeug beschränken musste. Umgebungszenarien für Radartests ließen sich nur rudimentär nachbilden. Vor allem die Simulation von Bewegungen quer zum Fahrzeug war

nur unzureichend mithilfe mechanisch bewegter Antennen oder Antennenkonfigurationen mit großen Lücken möglich. Doch eine neue Systemlösung für den Test von Kfz-Radaren holt die Vielgestaltigkeit einer realen Straßenszene jetzt in die Testumgebung.

Der Clou des Radartestsystems aus Radarecho-Generator R&S®AREG800A und Advanced Antenna Array R&S®QAT100 (Bild 2) ist seine rein elektronische Arbeitsweise. Der Generator simuliert die Ziele in der gewünschten Größe (Radarquerschnitt), Entfernung und Geschwindigkeit, während das Antennen-Array, das den Radarpuls zunächst empfangen und an den Generator weitergereicht hatte, die Echos im gewünschten Winkel zurücksendet bzw. entsprechend der Tangentialgeschwindigkeit des simulierten Objekts feinstufig über einen Winkelbereich wandern lässt. Da beide Geräte kaskadierbar sind, lassen sich Testarenen fast beliebiger Komplexität damit aufbauen. Sogar eine 360-Grad-Azimut-Abdeckung und Höhenprofile sind machbar.

Modular im kleinen wie im großen Maßstab

Das System lässt sich passgenau für eine konkrete Testanforderung konfektionieren. Schon die Geräte selbst sind für verschiedene Szenarien optionierbar. In der Minimalausstattung mit einem Basisband-Modul simuliert der R&S®AREG800A ein einziges dynamisches Ziel. Vier Module sind bestückbar und simulieren dann bis zu acht Ziele, wenn der R&S®AREG800A mit dem R&S®QAT100 als Frontend betrieben wird.

Bild 2: Der Radarecho-Generator R&S®AREG800A und seine HF-Frontends Advanced Antenna Array R&S®QAT100 (rechts) und R&S®AREG mmWave remote frontend (kleine Module). Aus diesen drei Komponenten lassen sich Radartesteinrichtungen fast beliebigen Zuschnitts aufbauen.



Wegen der Signalverarbeitungsdauer haben digitale Echogeneratoren eine gewisse Latenz, die sich als Blindzone bzw. Mindestzielentfernung äußert. Die liegt beim R&S®AREG800A bei knapp 17 m. Für Nahbereichsszenarien, etwa den Test von Notbremsassistenten, lassen sich stufenweise schaltbare analoge Verzögerungsleitungen für Entfernungen bis hinab zu < 4 m zusätzlich einrüsten. Der Übergang von der digitalen zur analogen Verzögerung wird vom Radar nicht bemerkt.

Fein aufgelöster Azimutbereich

Das Advanced Antenna Array R&S®QAT100 ist ein neuartiges HF-Frontend für den R&S®AREG800A. Es verarbeitet Radarsignale bis 4 GHz Bandbreite im Frequenzbereich von 76 GHz bis 81 GHz. Ein Gerät beinhaltet in der Grundausstattung 96 zeilenförmig angeordnete Sendeantennen im Abstand von 3,7 mm, die intern auf vier Gruppen verteilt sind. Jede Gruppe lässt sich vom R&S®AREG800A mit einem individuellen Echo beschicken (Bild 3). Bei einem Ziel ohne tangentielle Bewegungskomponente wird dieses von einer einzelnen, beliebig wählbaren Antenne abgestrahlt, bei einem querbewegten Ziel wandert es über die Zeile. Die vier Antennengruppen einer Zeile können auch verbunden werden, sodass die volle Gerätebreite für weiträumige Zielbewegungen zur Verfügung steht. Die gerade beschriebene Ausstattung lässt sich optional verdoppeln, sodass ein R&S®QAT100 dann 192 Sendeantennen in zwei Zeilen und acht Gruppen für die gleichzeitige Simulation von bis zu acht Zielen beherbergt.

Alternativ auch mit konventionellen Frontends

Für Testaufgaben, die nicht die Flexibilität des R&S®QAT100 erfordern – etwa Szenarien, die keine Tangentialbewegung beinhalten oder der Betrieb in einer Testkammer – können bis zu vier R&S®AREG mmWave remote frontends anstelle des R&S®QAT100 am R&S®AREG800A betrieben werden (Bild 2). Ein Radarsignal lässt sich über jedes dieser Frontends mit maximal acht Echos aus einer festen Richtung beantworten, was nötig sein kann, um eine Tiefenstaffelung abzubilden, zum Beispiel Fußgänger und Radfahrer vor einem Lkw. Bis zu 32 Ziele sind so in Summe darstellbar.

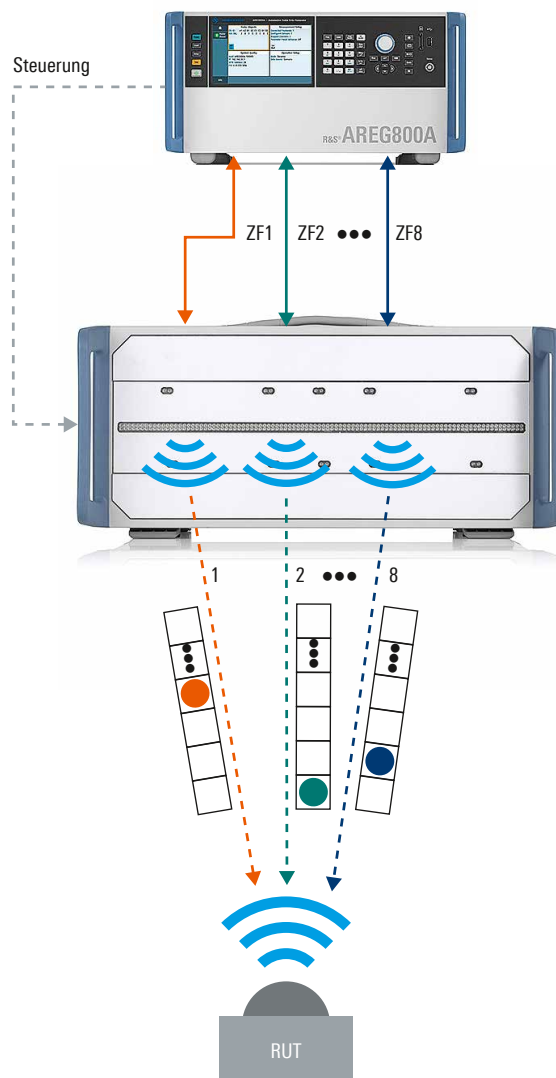


Bild 3: Zusammen mit dem R&S®QAT100 kann der R&S®AREG800A acht Ziele gleichzeitig mit im Rahmen der Systemgrenzen frei definierbaren 4D-Daten (Richtung, Entfernung, Größe, Geschwindigkeit) simulieren und ihre Echos zum Radar zurückschicken. Bei entsprechender Konfiguration lässt sich ein Ziel feinstufig über den gesamten Winkelbereich einer Antennenzeile bewegen. Damit der R&S®QAT100 nicht selbst als Radarziel in Erscheinung tritt, ist seine Front mit Stealth-Material verkleidet.

Bild 4: Die Abschirmung R&S®QAT-Z50 erlaubt den Betrieb des R&S®QAT100 in einer normalen Laborumgebung. Am gegenüberliegenden Ende wird der Radarsensor montiert.



Erstmals möglich: Live-Szenarien in VIL-Testeinrichtungen

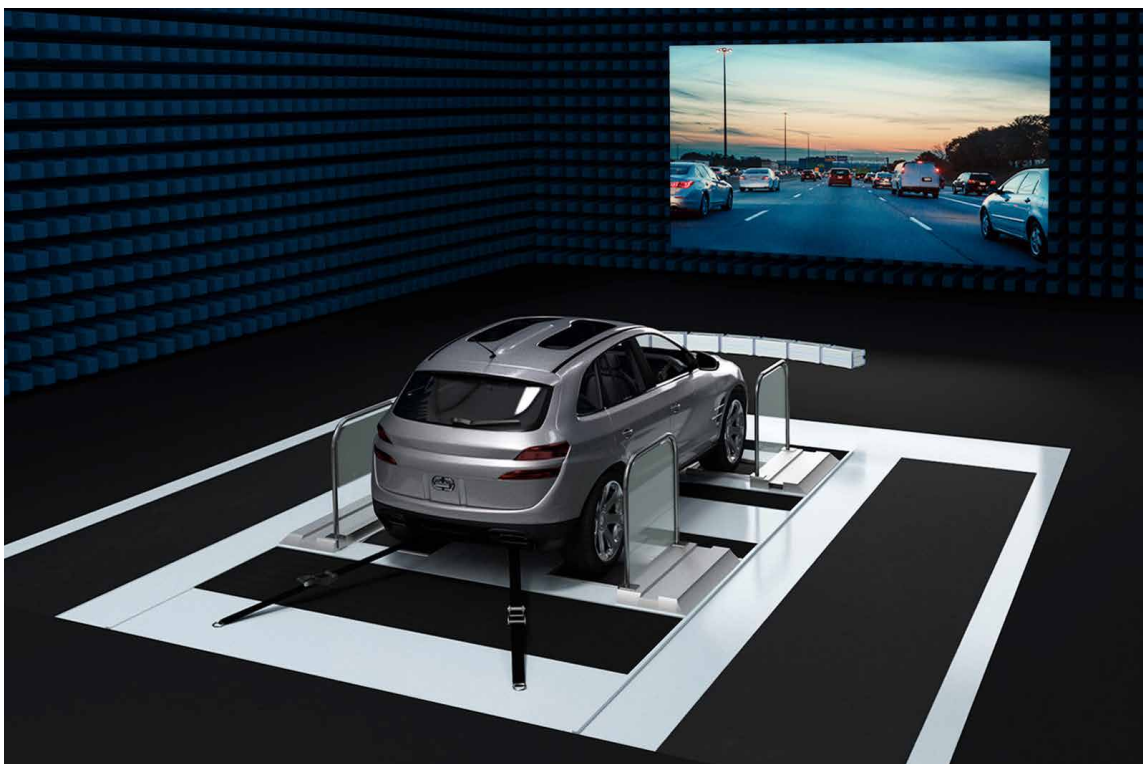
Für den Test einzelner Radarsensoren in der Entwicklung oder Produktion gibt es kompakte Schirmkammern wie die schon erwähnte R&S®ATS 1500C oder – speziell für den R&S®QAT100 entwickelt – die Mini-Schirmkammer R&S®QAT-Z50 für den Labortisch (Bild 4).

Viel aufwendiger gestaltet sich naturgemäß die Aufgabe, ein ganzes Auto in Bezug auf seine Radarfunktionalität zu testen. Eine Halle mit Rollenprüfstand muss dafür rundum HF-dicht verkleidet werden (Bild 5). Komplette Systemtests waren bisher mangels geeigneter Over-the-Air-Testmittel aber nur eingeschränkt möglich. Vielmehr hat man das ADAS-Steuergerät üblicherweise mit simulierten Sensordaten gespeist (Bild 6 oben). Die korrekte Erfassung der Umwelt durch die Sensorik wurde vorausgesetzt. Mit der Verfügbarkeit des neuen R&S-Testsystems lassen sich jetzt aber die Radarsensoren in den Test einbeziehen, sodass mit echten Daten gearbeitet werden kann (Radar in

the Loop, Bild 6 unten). Vor dem Rollenprüfstand wird dazu entlang eines Kreissegments ein radarreflektierender Wall aus kaskadierten R&S®QAT100 aufgebaut. Die Anzahl der Einheiten richtet sich nach der gewünschten Winkelabdeckung und -auflösung. Wie viele digitale Backends, also R&S®AREG800A, gebraucht werden, hängt von der Komplexität der abzubildenden Szenarien ab. Die maximal acht Ziele, die ein R&S®AREG800A in Vollausstattung simulieren kann, lassen sich auf bis zu acht R&S®QAT100 verteilen. Einzelne Ziele können entlang der gesamten R&S®QAT100-Kette, also über einen sehr breiten Azimut-Bereich, auf die Reise geschickt werden. Für sehr dichte Szenarien wird jedem R&S®QAT100 ein eigener R&S®AREG800A an die Seite gestellt (Bild 7).

Unter Umständen möchte man Situationen simulieren, in denen sich ein Ziel nicht nur in der Ebene, sondern auch in der Höhe bewegt. Die Auffahrt zu einer Überführung könnte ein passendes Szenenbild dazu sein. Für solche Fälle kann man den R&S®QAT100 um 90 Grad gekippt auf der Seite stehend betreiben.

Bild 5: R&S®AREG800A und R&S®QAT100 machen realitätsnahe Radartests auf dem Rollenprüfstand möglich. Sie konfrontieren das Fahrzeug mit virtuellen Szenen nahezu beliebiger Komplexität.



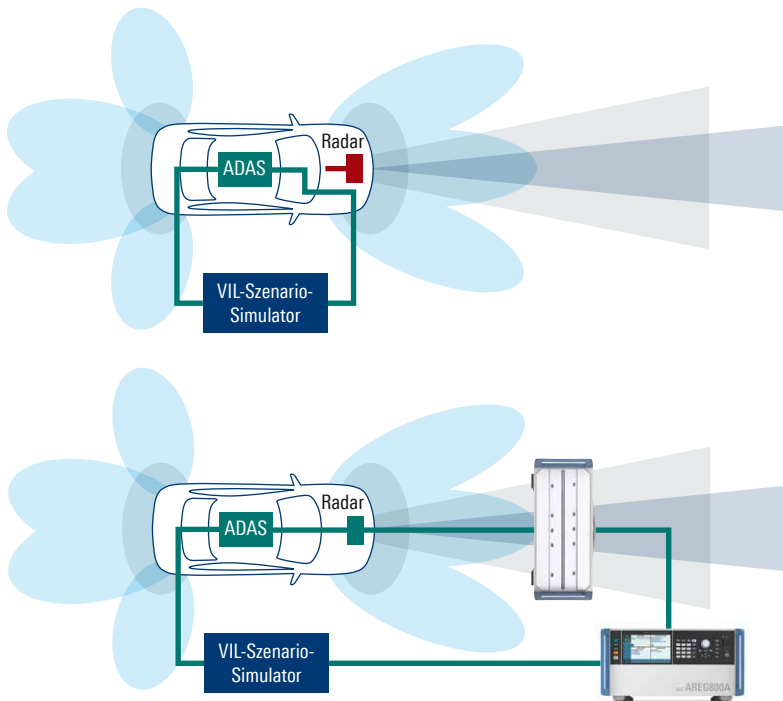


Bild 6: Bisher wurden radarbasierte ADAS in Vehicle-in-the-Loop-Testeinrichtungen vorwiegend mit simulierten Szenarien unter Umgehung der Radarsensoren getestet (oben). Ein Szenario-Simulator steuerte die Zieldaten bei. R&S®AREG800A und R&S®QAT100 ermöglichen die Einbeziehung der Sensoren in die Testschleife (Radar in the Loop).

Fazit

Viele Fahrerassistenzsysteme und erst recht die zunehmende Fahrzeugautonomie hängen von der verlässlichen Funktion der immer zahlreicher verbauten Radarsensoren ab. Deren Test war bisher nur rudimentär möglich. Das Radar-Testsystem aus Radarecho-Generator R&S®AREG800A und Advanced Antenna Array R&S®QAT100 schafft Abhilfe. Die modulare Lösung gestattet den Aufbau fast beliebig komplexer Radar-Testumgebungen. Anwendungen finden sich entlang des gesamten Entwicklungs- und Validierungspaths von Sensoren und radar-gestützten ADAS bis hin zum Vehicle-in-the-Loop-Test kompletter Fahrzeuge auf dem Rollenprüfstand. Das System leistet somit einen wichtigen Beitrag für die Sicherheit kommender Fahrzeuggenerationen.

(Red)

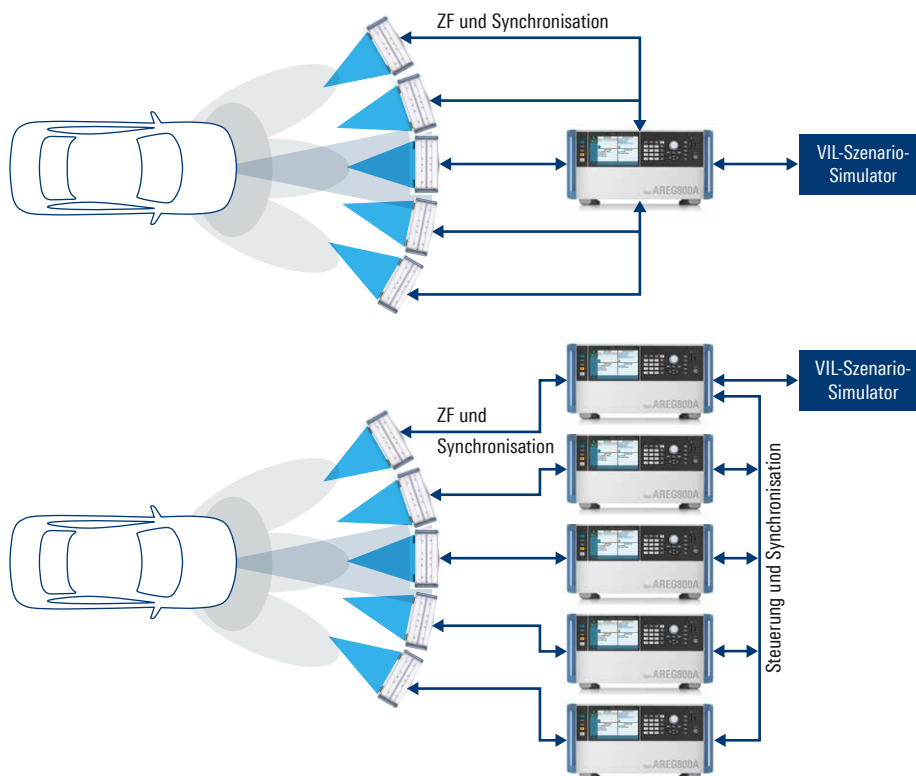


Bild 7: Die Komplexität der zu testenden Szenarien entscheidet über den Geräteaufwand. Die Anzahl der nötigen R&S®AREG800A- bzw. R&S®QAT100-Einheiten bemisst sich nach der Menge und räumlichen Dichte der Ziele sowie dem abzudeckenden Winkelbereich.

NEUER STANDARD FÜR AUTOMOTIVE-BUSSE – UND WIE MAN IHN TESTET

Unter dem Begriff Automotive Ethernet wird eine Familie von Standards zusammengefasst, die entwickelt wurden, um die Ethernet-Technologie an die Erfordernisse der Fahrzeugvernetzung anzupassen. Die neueste Version – MultiGBASE-T1 – ist besonders leistungsfähig und anspruchsvoll, doch mithilfe einer automatischen Testlösung sicher in marktreife Produkte zu überführen.

Automotive Ethernet hat sich zum De-facto-Standard für die Vernetzung im Auto entwickelt. Seit seinem Durchbruch mit der BroadR-Reach®-Technologie ermöglicht das robuste, gewicht- und platzsparende System die Übertragung großer Datenmengen mit bis zu 100 Mbit/s von den Sensoren zu den Steuergeräten unter Einhaltung der strengen Automotive-EMV-Standards.

Aktuelle Entwicklungen wie autonomes Fahren, eingreifende (aktive) Fahrerassistenzsysteme (ADAS) und Telematikdienste erfordern allerdings noch deutlich schnellere Übertragungstechnologien. Riesige Datenmengen von einer wachsenden Anzahl von Sensoren und hochauflösenden Kameras sind von diversen Stellen im Auto zu übertragen. Sicherheitskritische Technologien wie aktive ADAS und Vehicle-to-Everything (V2X) erfordern zudem niedrige Latenzzeiten für eine Echtzeitkommunikation. Höhere Bandbreiten werden

auch gebraucht, um den Weg hin zu einer zonalen Architektur des Bordnetzes durch die schnelle Anbindung lokaler Domain-Controller an einen Backbone zu ebnen.

Ein neuer Standard für die Bordnetze der Zukunft

Um den steigenden Performance-Anforderungen gerecht zu werden, wurde mit MultiGBASE-T1 die nächste Evolutionsstufe von Automotive Ethernet entwickelt. Sie basiert vollständig auf IEEE 802.3ch, spezifiziert die drei Geschwindigkeitsstufen 2,5 Gbit/s, 5 Gbit/s und 10 Gbit/s und arbeitet im Vollduplex-Modus. Durch die Unterstützung von Auto-negotiation (autonomes Aushandeln der Übertragungsmodalitäten) ist der neue Standard vollständig abwärtskompatibel.

Zur Erzielung der hohen Übertragungsrate nutzt der neue Multi-Gig-Standard, anders als 100BASE-T1

oder 1000BASE-T1, die PAM4-Modulation (4 diskrete Spannungstufen), und zwar mit Symbolraten von 1,4 Gsym/s, 2,8 Gsym/s und 5,6 Gsym/s (Bild 2). Außerdem benötigt er geschirmte Twisted-Pair-Kabel (STP) im Gegensatz zu den langsameren Vorläufern, die mit ungeschirmten Kabeln (UTP) auskamen.

Das IEEE hat den neuen Standard Ende Juni letzten Jahres veröffentlicht, und die ersten Chips und Schnittstellen (PHYs) sind jetzt auf dem Markt. Um die Themen Interoperabilität und Compliance-Tests rund um MultiGBASE-T1 kümmert sich die neue Arbeitsgruppe TC15 der Open Alliance Special Interest Group, die sich die Förderung Ethernet-basierter Kommunikation in der Automobilwelt zur Aufgabe gemacht hat. Derzeit befindet sich die Physical-Media-Attachment-(PMA-)Spezifikation im Entwurfsstadium, unter tatkräftiger Mitwirkung von Rohde & Schwarz als Mitglied der Arbeitsgruppe.

Automatisierte Compliance-Testlösung

Zum Nachweis ihrer Standard-Konformität müssen Steuergeräte und Chipsätze die PMA-Sendertest-Spezifikation erfüllen. Rohde & Schwarz bietet mit den neuen R&S®RTx-K88-Optionen für die Oszilloskope R&S®RTO und R&S®RTP eine vollautomatische Testlösung dafür an (Bild 1). Das R&S®RTP eignet sich für Datenraten bis 10 Gbit/s, also für alle im Standard spezifizierten Geschwindigkeiten, das R&S®RTO bis 2,5 Gbit/s. Alle in

Bild 1: Das Oszilloskop R&S®RTP164 mit 16 GHz Bandbreite – hier angeschlossen an einen Automotive Domain Controller – eignet sich für Compliance-Tests bei allen in MultiGBASE-T1 vorgesehenen Übertragungsraten.



	10BASE-T1S	100BASE-T1S	1000BASE-T1S	MultiGBASE-T1
IEEE-Standard	802.3cg	802.3bw	802.3bp	802.3ch
Datenrate	10 Mbit/s	100 Mbit/s	1 Gbit/s	2,5 / 5 / 10 Gbit/s
Symbolrate	12,5 Msymb/s	66,66 Msymb/s	750 Msymb/s	1,4 / 2,8 / 5,6 Gsymb/s
Codierung	4B 7 5B, DME	PAM3	PAM3	PAM4

Bild 2: Vergleich der Automotive-Ethernet-Standards.

Bild 4: Der Testadapter R&S®RT-ZF7A ist für alle MultiGBASE-T1-Testfälle geeignet.

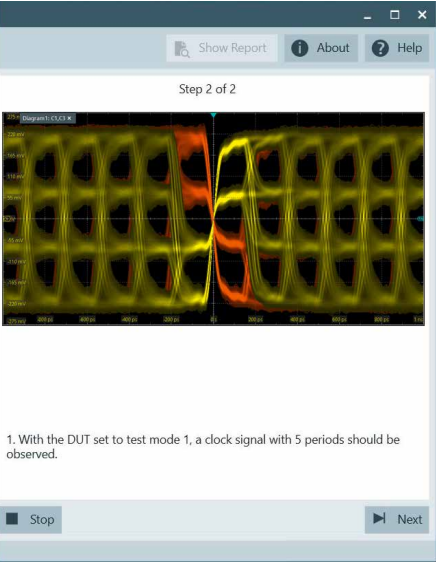
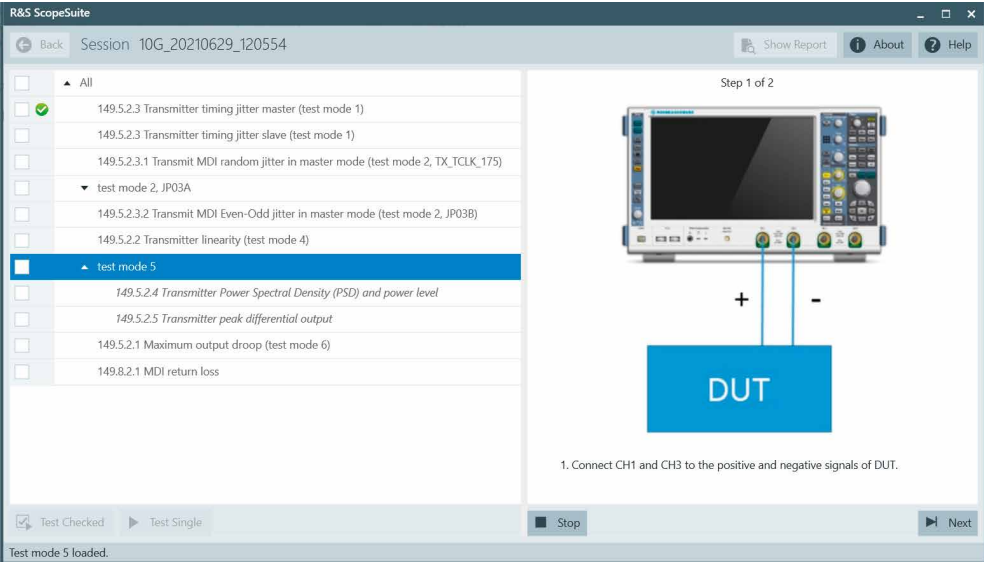


Bild 3: Die R&S®ScopeSuite, erweitert um die Option R&S®RTx-K88, führt komfortabel durch das Compliance-Testprogramm für MultiGBASE-T1-Chips und -Steuergeräte.

IEEE 802.3ch definierten Sendertests wie Jitter, Sendelinearität, Output Droop usw. werden von der Lösung abgedeckt. Das Messprogramm bezieht auch einen vektoriellen Netzwerkanalysator wie den R&S®ZND oder R&S®ZNB für MDI-Rückflussdämpfungsmessungen mit ein.

Die Testsoftware R&S®ScopeSuite ist das Herzstück der Lösung (Bild 3). Sie steuert die Geräte, stellt sie für die jeweiligen Testfälle ein und berechnet die Ergebnisse. Ein Messassistent führt mit bebilderten Anweisungen Schritt für Schritt durch den Ablauf. Hinweise auf die IEEE-PMA-Spezifikation und die einzustellenden Testmodi sind deutlich gekennzeichnet, um den Anwender zu unterstützen.

Eine Pass/Fail-Anzeige signalisiert das Ergebnis zu jedem Testfall. Detaillierte Hintergründe dazu liefert ein

konfigurierbarer Testbericht, der alle für den Testfall relevanten Messergebnisse und Screenshots umfasst. Benutzer können firmenspezifische Logos hinzufügen und den Bericht in verschiedene Dateiformate wie PDF oder DOC exportieren. Die Software ScopeSuite läuft direkt auf dem Oszilloskop oder einem separaten PC.

Keine Testlösung wäre vollständig ohne eine zuverlässige Vorrichtung zum Kontaktieren des Messobjekts. Der Adapter R&S®RT-ZF7A stellt den Übergang von einem Twisted-Pair-Kabel auf SMA-Koaxialbuchsen her, was eine präzise Signalabtastung garantiert und den Einsatz teurer differenzieller Tastköpfe überflüssig macht (Bild 4). Über die Löt pads kann der Anwender bevorzugte Stecker anschließen, um die Signalintegrität zu optimieren.

Fazit

Fast alle neuen Autos nutzen Ethernet-basierte Datenverbindungen in ihrem Bordnetz. Die neue Variante MultiGBASE-T1 wurde für latenzarme, hochdatenratige Anwendungen entwickelt, wie sie auf dem Weg zu mehr Fahrzeugautonomie, für aktive Fahrerassistenzsysteme und V2X-Konnektivität in immer größerer Menge anfallen. Die Compliance-Testlösung auf Basis der Oszilloskope R&S®RTO oder R&S®RTP arbeitet automatisiert alle spezifizierten Testfälle ab, bezieht Netzwerkanalysatoren mit ein und umfasst auch flexibel handhabbare, preiswerte Testadapter, die optimale Messergebnisse garantieren.

Jithu Abraham

GENERATIONEN- SPRUNG

Vor gut 10 Jahren überraschte Rohde & Schwarz die Fachwelt mit seinem ersten Digitaloszilloskop, dem R&S®RTO. Nach einer zwischenzeitlichen Modell-Auffrischung steht jetzt ein völlig neu designtes Gerät auf dem Tisch, das R&S®RTO 6.

Das R&S®RTO6 enthält wesentliche Verbesserungen, die dem regen Kundenfeedback zu den Vorgängermodellen Rechnung tragen. Mit einer neuen Bedienoberfläche, einem größeren Display, ausgezeichneten Spezifikationen und einem reichhaltigen Softwareangebot ermöglicht der neue Mittelklasse-Primus mehr denn je schnelle, detaillierte Einblicke in elektronische Schaltungen jeder Couleur.

Schnell und stressfrei zum Messergebnis

Ein Entwicklungsschwerpunkt war die Bedieneffizienz in der täglichen Messpraxis. Als Ergebnis stechen das große 15,6-Zoll-Touch-Display und eine neue Bedienoberfläche ins Auge. Ihr Design schafft den Spagat zwischen der ungestörten großflächigen Darstellung der Messung einerseits und der jederzeitigen Verfügbarkeit der Bedienoptionen ohne den Rückgriff auf tiefe Menübäume andererseits. Der Anwender kann die Ergebnisse der laufenden Messung mithilfe der schon im Vorgängermodell bewährten R&S®SmartGrid-Funktionalität nach Bedarf auf dem Bildschirm anordnen. Fenster-Arrangements lassen sich samt Screenshot speichern und so später leicht identifizieren und aufrufen.

Ausgezeichnete technische Daten für tiefe Signalinformationen

Das R&S®RTO6 baut auf der bisherigen R&S RTO-Serie auf. Seine Kenngrößen sind eine maximale Bandbreite von 6 GHz, eine Abtastrate von 20 Gsample/s sowie eine unerreichte Messgeschwindigkeit von bis zu 1 Million Aufnahmen pro Sekunde, mit der selbst sporadische Signal-Anomalien zuverlässig detektiert werden. Rauscharme Komponenten und ein hochlinearer A/D-Wandler ergeben eine exzel-

lente Signalintegrität und eine effektive Vertikalauflösung (ENOB) von bis zu 9,4 bit. Sehr genaue Messungen mit geringen Rauschwerten ermöglicht der einzigartige High Definition Mode, der mithilfe eines digitalen Filters die Vertikalauflösung auf bis zu 16 bit erhöht. Der patentierte digitale Trigger mit einstellbarer Hysterese kann diese hohe Auflösung in vollem Umfang nutzen, um kleinste Signal-Details zu detektieren.

Zahlreiche Messfunktionen für tausendundeine Applikation

Mit dem R&S®RTO6 bekommt der Anwender ein reichhaltig ausgestattetes Universalmessgerät, das sich mit Softwarepaketen für viele Spezialanwendungen weiter ertüchtigen lässt. Ein effizientes Werkzeug ist der Zonentrigger. Triggerauslösende Gebiete im Zeit- oder Frequenzbereich zeichnet der Anwender einfach mit dem Finger auf den Touchscreen. Auf gleiche Weise erlaubt der Maskentest die Detektion von Signalfehlern mit definierten Toleranzlimits.

Zu den softwareunterstützten Anwendungen gehören automatisierte Compliance-Tests von High-Speed-Schnittstellen inklusive Jitter- und Noise-Analyse, das Decodieren serieller Protokolle, Messfunktionen für Leistungselektronik sowie eine leistungsstarke Spektrumanalyse (FFT), die den Anwender insbesondere beim EMI-Debugging unterstützt. Alle Messfunktionen sind ab Werk vorgerüstet und können auch nach dem Kauf noch freigeschaltet werden. Zur Kontaktierung der Messobjekte steht ein großes Angebot an Tastköpfen zur Verfügung, das modellübergreifend genutzt werden kann. Wie schon das erste R&S®RTO wurde auch das R&S®RTO6 in allen Belangen auf maximalen Anwendungskomfort hin optimiert. Zur stressfreien Nutzung über einen Laborarbeitstag hinweg gehört nicht zuletzt die akustische Unauffälligkeit. Das kaum hörbare R&S®RTO6 erfüllt auch in dieser Beziehung alle Ansprüche.

Dr. Tim Paasch-Colberg



Von Anwendern für Anwender: Beim Design des R&S®RTO6 wurden zahlreiche Kundenwünsche berücksichtigt, um ein Höchstmaß an Bedienergonomie zu erreichen.

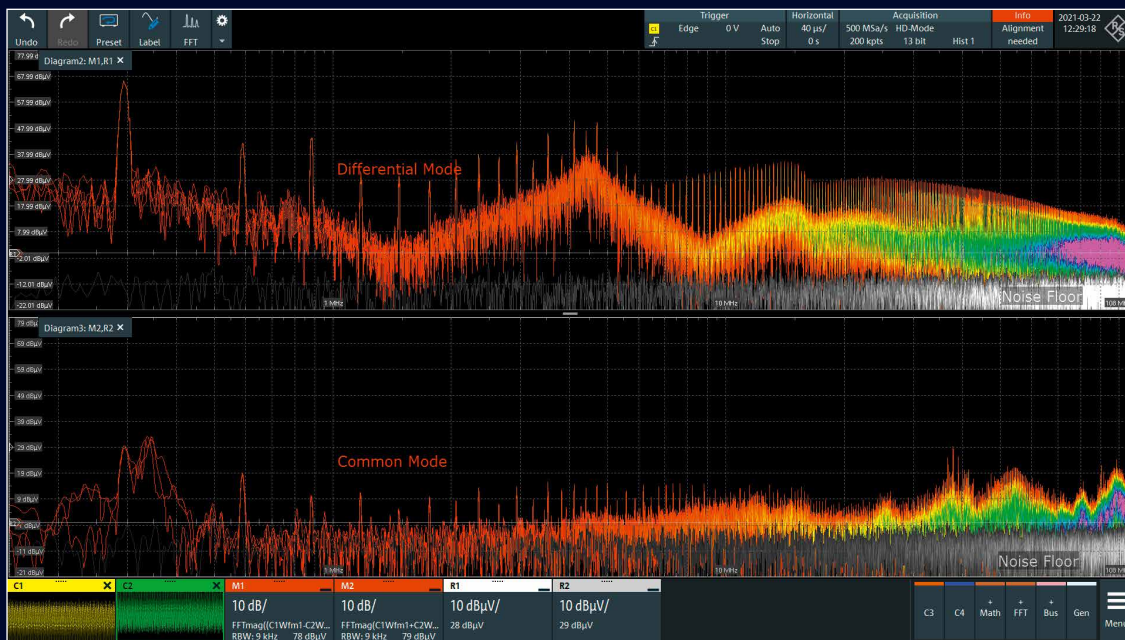


Trotz Schnelzugriff auf alle Funktionen über ein kompaktes Hauptmenü und mehrere Symbolleisten bleiben die Messanzeigen stets großflächig sichtbar.



Vier Kanäle, zwei Domänen: In vielen Fällen ist es hilfreich, das zeitliche und spektrale Verhalten eines Messobjekts zueinander in Beziehung zu setzen.

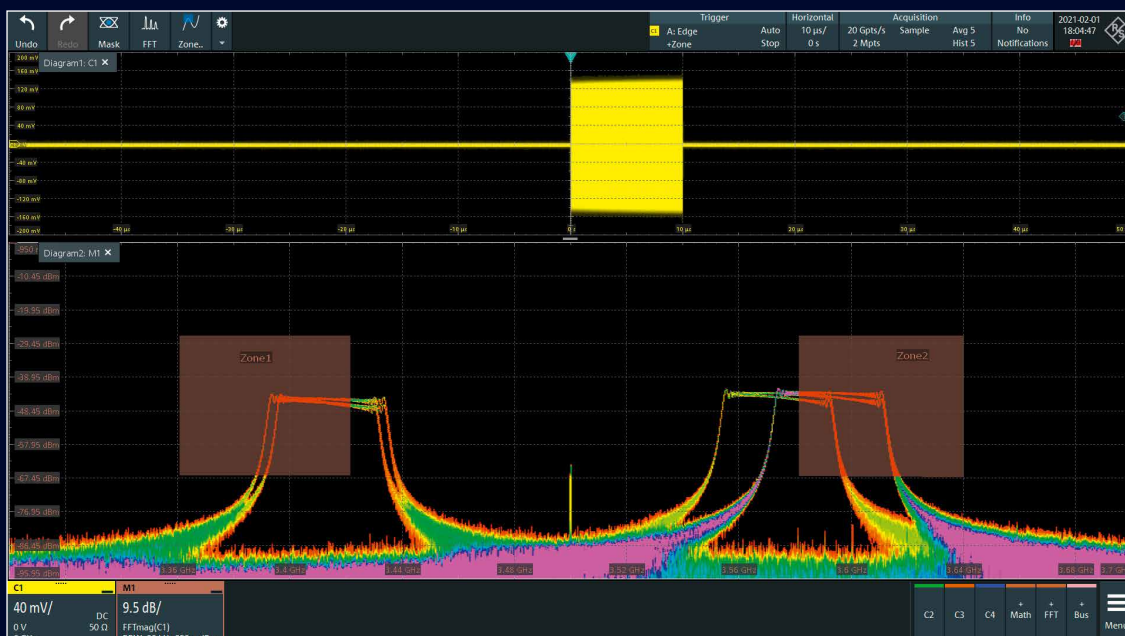




Die FFT-Spektrumanalysefunktion stellt bei Emissionsmessungen wie von dieser geleiteten Störung ihre Leistungsfähigkeit unter Beweis.



Um die Analyse von Ethernet-Signalen wie 1000Base-T1 kümmern sich spezialisierte Softwareoptionen.



Über den Zonen-Trigger lassen sich bis zu acht auslöseempfindliche Gebiete im Zeit- oder Frequenzbereich definieren und mit Mathematikfunktionen logisch verknüpfen – sogar kanalübergreifend.

KONFORMITÄTSTEST GESCHEITERT. WAS NUN?

Ursachenforschung bei Signalintegritätsproblemen auf digitalen Highspeed-Bussen

Konformitätstests für serielle Datenschnittstellen wie USB, HDMI oder PCI Express sichern die Interoperabilität zwischen elektronischen Geräten und Zubehör. Werden Probleme mit der Signalintegrität festgestellt, unterstützt das Oszilloskop R&S®RTP die Ursachenforschung mit leistungsstarken Analysewerkzeugen wie Augendiagramm, Jitter- und Rauschseparierung sowie Zeitbereichsreflektometrie.

Automatische Konformitätstests für schnelle Datenschnittstellen

Ein wichtiger Meilenstein in der Produktentwicklung sind Konformitätstests. Für viele Schnittstellen wie USB oder Ethernet liegen detaillierte

Testspezifikationen der Standardisierungskomitees vor. Spezialisierte Messlabore bieten den kompletten Service für das Testen solcher Schnittstellen, die Dokumentation und die Zertifizierung. Für Anwender, die diese Tests selbst durchführen, sind

zum Oszilloskop R&S®RTP automatisierte Testlösungen für alle gängigen Schnittstellenstandards verfügbar. Diese Lösungen sind mit bildunterstützten Messkonfiguratoren und vorgefertigten Messabläufen ausgestattet. Wie auch immer getestet wird:

Bild 1: Konformitätstest für USB 3.2 Gen1 mit dem Oszilloskop R&S®RTP164 (16 GHz).



Bild 2: Erfassung der Messkurve „Short Channel“ eines USB-3.2-Gen1-Device an Kanal 1 und 3 und Echtzeitberechnung als differenzielles Signal (Diff 1). Berechnung des Signals „Long Channel“ durch Embedding der S-Parameter vom USB-IF (Math 1).



Sind die Testergebnisse nicht standardkonform, beginnt die oft zeitaufwendige Fehlersuche.

Bei der Ursachenforschung unterstützt das Oszilloskop R&S®RTP mit Analysewerkzeugen wie Augendiagramm mit Maskentest oder der Separierung von Jitter- und Rauschkomponenten. Mit der Zeitbereichsreflektometrie steht ein wichtiges Werkzeug zur Überprüfung der Übertragungseigenschaften passiver Signalpfadkomponenten wie Stecker, Kabel oder Signalleitungen auf der Leiterplatte zur Verfügung.

Konformitätstest für USB-3.2-Transmitter

Der Fokus bei Transmitter-Konformitätstests für USB3.2 liegt auf dem Augendiagramm (Transmitted Eye), an dem die Augenöffnung, die Signalpegel und die Jitter-Komponenten überprüft werden. Dieser Test wird sowohl direkt am Device-Ausgang (short channel) als auch in Verbindung mit einem simulierten Signalpfad (long channel) ausgeführt. Für Long-Channel-Tests gibt es vom

USB Implementers Forum (USB-IF) veröffentlichte Dateien mit S-Parametern für unterschiedliche Kabel- und Leiterbahnlängen. Bei den Tests zeichnet das Oszilloskop je eine Clock- und Datensignalsequenz mit 200 µs Länge auf. Diese werden anschließend mit der USB-IF-Analysesoftware SigTest auf Standardkonformität geprüft. Die Konformitäts-Testpattern muss jedes USB-Device im Testmodus selbst erzeugen: Für USB3.2 Gen1 sind dies die Pattern CP0 (Data) und CP1 (Clock) und für USB3.2 Gen2 die Pattern CP9 (Data) und CP10 (Clock). Durch das Senden von kurzen LFPS-Sequenzen an den Receiver im USB-Device wird jeweils auf das nächste CP-Pattern geschaltet.

Das R&S®RTP unterstützt den Konformitätstest für USB3.2 Gen1 (13-GHz-Modell erforderlich) und für Gen2 (16-GHz-Modell) (Bild 1). Die erforderliche Analysesoftware SigTest ist in die Option R&S®RTP-K101 (USB-3.2-Konformitätstest) integriert und der dazugehörige Messablauf automatisiert. Die Option führt anhand einer grafisch unterstützten Anleitung

komfortabel durch die Messung. Mit der integrierten 2-kanaligen 100-MHz-Generatoroption erfolgt das Umschalten auf die einzelnen Testpattern automatisch. Eine weitere Bedienungserleichterung ist der gleichzeitige Test von Short und Long Channel. Die Messkurve vom Short-Channel-Setup wird mit „Embedding“-Filtern, die auf der Grundlage der S-Parameter-Dateien vom USB-IF erstellt wurden, zu einer Long-Channel-Messkurve verarbeitet (Bild 2). Die Ergebnisse des gesamten Tests werden zu einem detaillierten Bericht aufbereitet.

Beispiel für einen Fehler in einem USB-3.2-Device

Bild 3 zeigt im Ergebnisbericht zu einem USB-3.2-Gen1-Device Fehler beim Test „Transmitted Eye“. Besonders auffällig ist der Random Jitter (RJ), der mit dem Clock Pattern (CP1) ermittelt wird. Das entsprechende Augendiagramm für das Daten-Pattern (CP0) zeigt ebenfalls hohen Jitter und Rauschen. Die Analysewerkzeuge des R&S®RTP erlauben es nun, den Ursachen auf den Grund zu gehen.

Schneller Überblick mit dem Datenauge

Die Datenaugenanalyse ist eine der bekanntesten Methoden für schnelle Signalintegritätstests. Dazu werden die einzelnen Daten-Bits einer Signalsequenz übereinandergelegt (Bild 4). Kritisch dabei ist die Wahl der richtigen Zeitbasis zur Bit-Zerlegung. Für alle Generationen des USB-Standards ist Clock Data Recovery (CDR) zweiter Ordnung mit unterschiedlichen Transferfunktionen definiert.

Die im USB-Standard festgelegten Augenmasken haben die Form eines Hexagons (Bild 5). Die minimale Höhe der Augenöffnung ist für Gen1 mit 100 mV und für Gen2 mit 70 mV spezifiziert. Die minimale Augenweite ergibt sich aus der Bit-Länge (Unit Interval – UI) abzüglich des maximalen Gesamt-Jitters (Total Jitter – TJ), der für eine Bitfehlerrate von 10^{-12} definiert ist. Für USB3.2 Gen1 entspricht dies 68 ps, für Gen2 28,6 ps.

Das R&S®RTP ist zum Generieren von Augendiagrammen mit einer konfigurierbaren CDR ausgestattet, die in Hardware realisiert ist und sich als Trigger nutzen lässt. Damit ist bei stetig laufender CDR ein großer Beobachtungszeitraum für den Signalstrom gegeben, mit dem sporadische Fehler erfasst werden können. Die Maske in der Augenmitte ist so konfigurierbar, dass die Erfassung bei einer Maskenverletzung stoppt.

Bild 6 zeigt den Augentest für das eingangs beschriebene fehlerhafte USB-3.2-Gen1-Device. Wie schon beim Konformitätstest weist das Datenauge einen hohen Jitter- und Rauschanteil aus. Das zusätzliche Histogramm an der rechten Augenseite verdeutlicht die zeitliche Verteilung der Bit-Flanken und damit den Jitter. In der bimodalen Histogrammform steckt die zusätzliche Information, dass im Signal auch hoher deterministischer Jitter enthalten ist.

Fehlerquellen aus Jitter- und Rauschkomponenten beseitigen

Ein Histogramm im Augendiagramm kann erste Erkenntnisse über Jitter und Rauschen im Testsignal geben. Um aber weitere Details über die Störquellen zu gewinnen, ist die Aufschlüsselung des Gesamt-Jitters und Gesamt-rauschens in die einzelnen Grundkomponenten sehr hilfreich (Bild 7).

Ein hoher zufälliger Jitter (RJ) bzw. hohes Rauschen (RN) weisen beispielsweise auf Probleme im Halbleiter selbst hin (thermisches Rauschen, Schrotrauschen), oder auf einen instabilen Taktoszillator. Deterministische periodische Anteile (PJ) haben ihren Ursprung beispielsweise in einer instabilen PLL oder in Einkopplungen durch Schaltnetzteile. Die datenabhängigen Komponenten (DDJ)

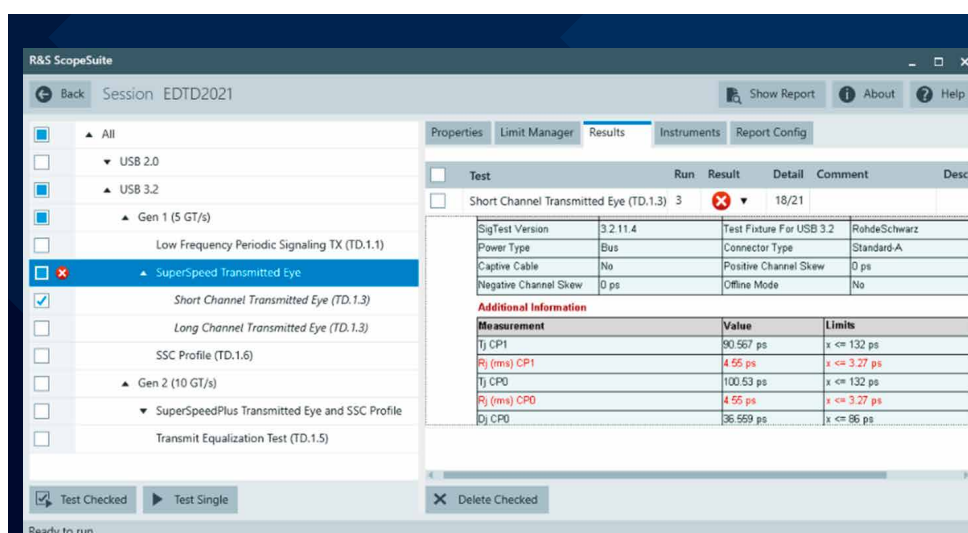


Bild 3: Der Bericht aus einem Konformitätstest für USB 3.2 Gen1 zeigt übermäßig hohen Jitter in der Ergebnistabelle (oben) und im Augendiagramm (rechts).

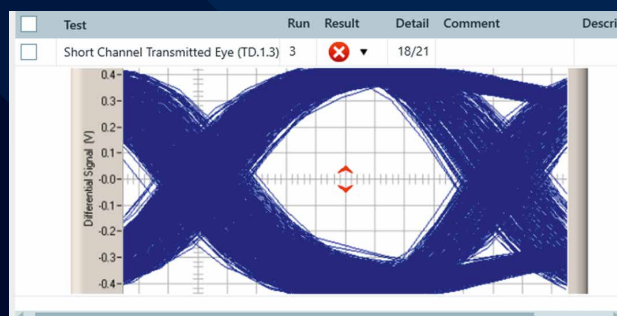
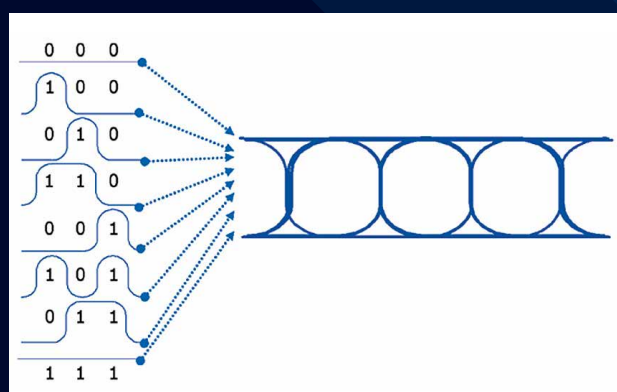


Bild 4: Das Datenauge entsteht durch die Überlagerung von Bit-Sequenzen.



unterteilen sich in ungleiche pulsbreiten-basierte Fehler (DCD), beispielsweise verursacht durch unsymmetrische Signalfanken, sowie in Inter-symbolinterferenz (ISI). Letztere kann beispielsweise von Übertragungsverlusten durch zu geringe Bandbreite der Leiterbahnen oder von Reflexionen an Durchkontaktierungen oder Steckern herrühren.

Nach dem Abschluss der Jitter-Separierung stehen detaillierte Ergebnisse zur Verfügung (Bild 8). In der Ergebnistabelle rechts oben ist zu sehen, dass der periodische Jitter (PJ) den deterministischen Jitter dominiert und dass auch der zufällige Jitter (RJ + (O)BUJ) auffällig hoch ist. Das Histogramm des PJ zeigt eine Verteilung, die auf eine sinusförmige Störung hinweist. In der zweiten Tabelle

rechts unten werden die geschätzten periodischen Jitter-Komponenten aufgelistet. Hier fallen hohe Jitter-Werte bei 100 MHz auf. Dies sind in der Regel wertvolle Informationen, mit denen sich die Störfrequenzen den entsprechenden Funktionsblöcken zuordnen und entsprechende Maßnahmen zur Reduzierung der Einkopplung treffen lassen. Eine typische Schwachstelle ist die

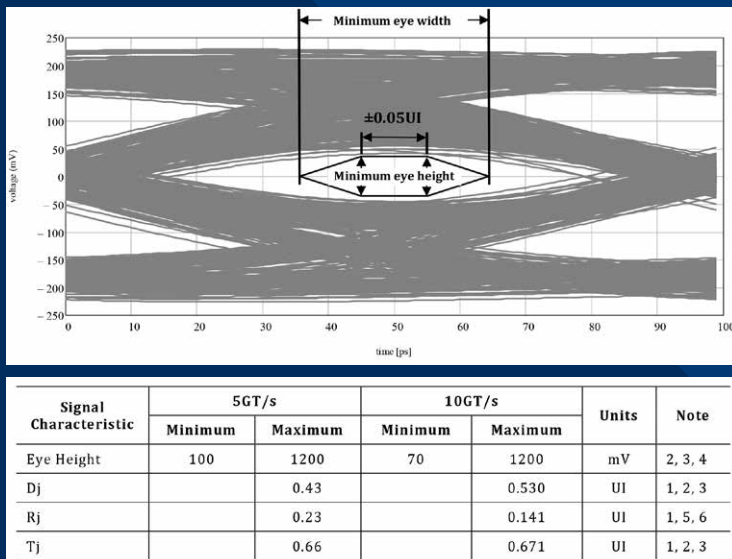


Bild 5: Maskendefinition aus der Universal Serial Bus 3.2 Specification, Revision 1.0.

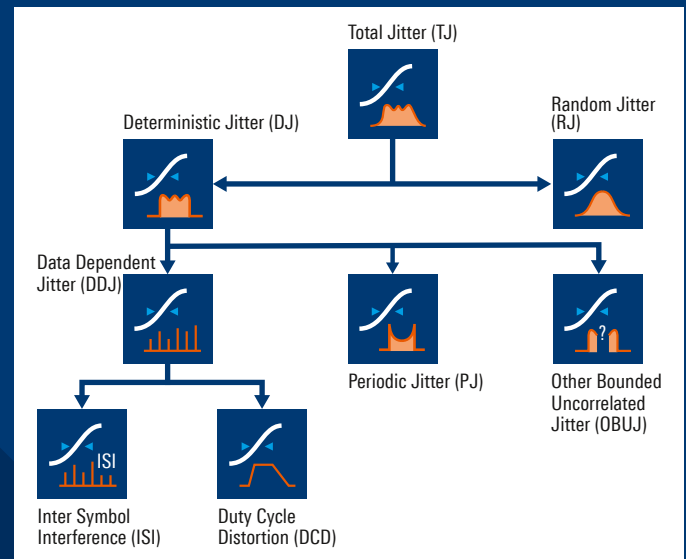


Bild 7: Der Gesamt-Jitter ist unterteilbar in zufällige (random) und deterministische Komponenten.

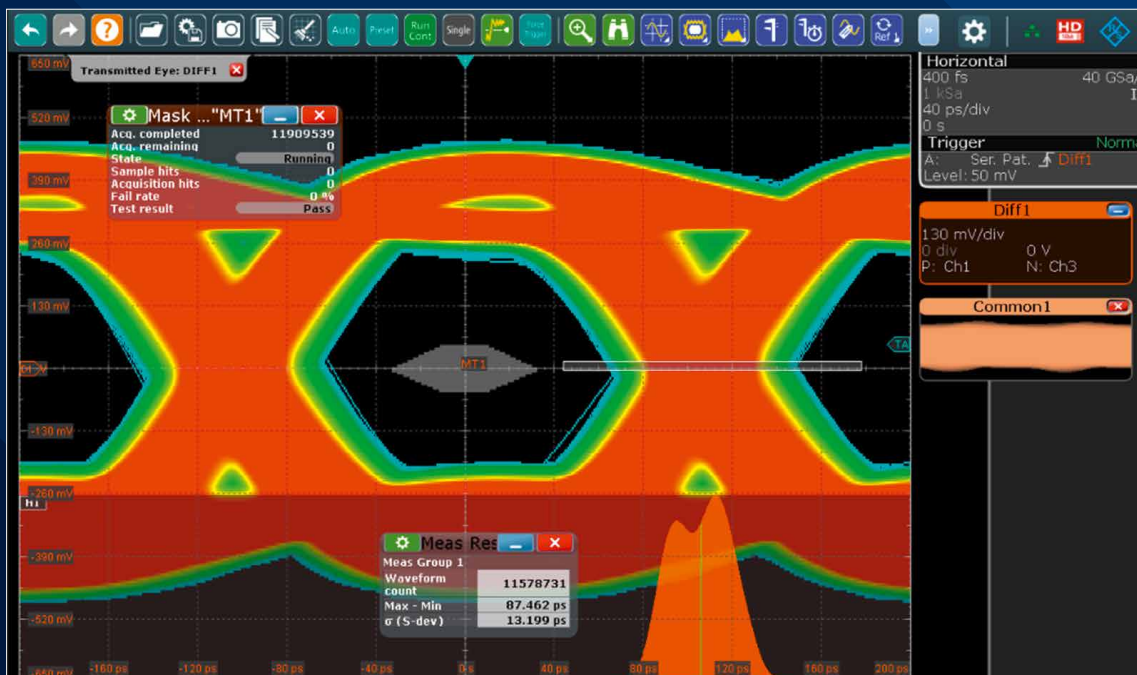


Bild 6: Echtzeit-Datenauge des fehlerhaften USB-Device mit Hardware-basierter CDR, Maskentest und Histogramm mit dem Oszilloskop R&S®RTP164.

Spannungsversorgung. Über deren Versorgungsleitungen und Masseflächen kann es leicht zur Einkopplung von Signalen kommen. In diesem Beispiel ist für einen Testaufbau die im R&S®RTP integrierte Generatordoption mit der 5-V-Spannungsversorgung des USB-Testobjekts verbunden. Das eingekoppelte Generatorsignal verursachte die periodische Störung von 100 MHz, das zusätzliche Rauschen bewirkte den starken zufälligen Jitter (Bild 9), wie ein Vergleich mit der Situation nach Ausschalten der Störquelle belegt (Bild 10). Ohne den Störer wird der Jitter-Test bei der Konformitätsprüfung ohne Weiteres bestanden.

Signalpfad mit TDR prüfen

Neben der Analyse der aktiven Signale ist bei Signalintegritätsproblemen auch die Kontrolle der Signalpfade wichtig. Das Augenmerk liegt dabei auf Transmissionsverlusten sowie dem Impedanzverlauf und der Impedanzstabilität entlang des Signalpfads. Die Bandbreite der Signalpfade auf der Leiterplatte, der Konnektoren, der Kabel etc. muss passend zum Signal entworfen und ausgewählt sein. Ebenso sind Reflexionen verursachende Impedanzsprünge zu vermeiden.

Die entsprechenden Messungen werden üblicherweise mit Netzwerkanalysatoren durchgeführt. Eine Alternative bietet das R&S®RTP mit der integrierten Zeitbereichsreflektometrie (TDR). Als Stimulus dient die differenzielle 16-GHz-Pulsquelle, über deren Referenzgänge die reflektierten Signale mit den Oszilloskopkanälen vermessen werden.

Die Applikationssoftware unterstützt bei der vorbereitenden Kalibration des Setups und bei der Messung. Mit der TDR können die Impedanz und der Reflexionskoeffizient entlang des Signalpfads vermessen werden.

Bild 11 zeigt als Beispiel die Vermessung eines USB-Prüfadapters. Die

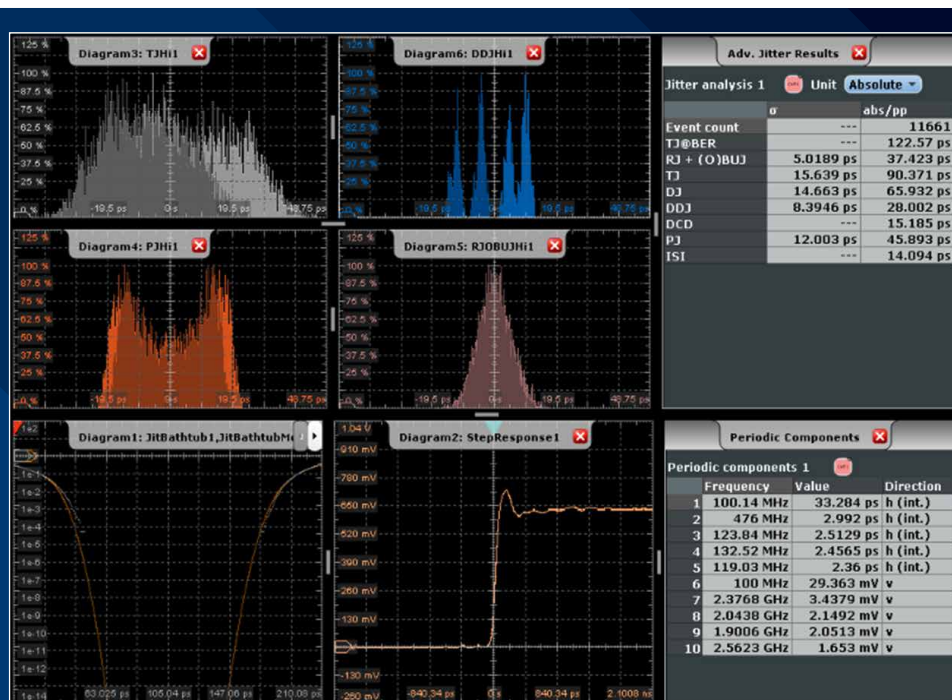


Bild 8: Ergebnisse der Jitter-Separierung für das fehlerhafte USB-3.2-Gen1-Device.

Bild 9: Periodischer und zufälliger Jitter werden durch die Einkopplung von Signalen aus dem R&S®RTP-Generator in die 5-V-Spannungsversorgung des USB-Device verursacht.

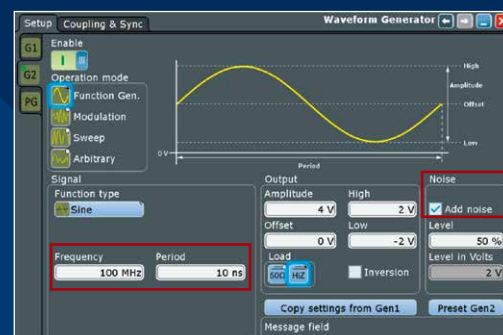
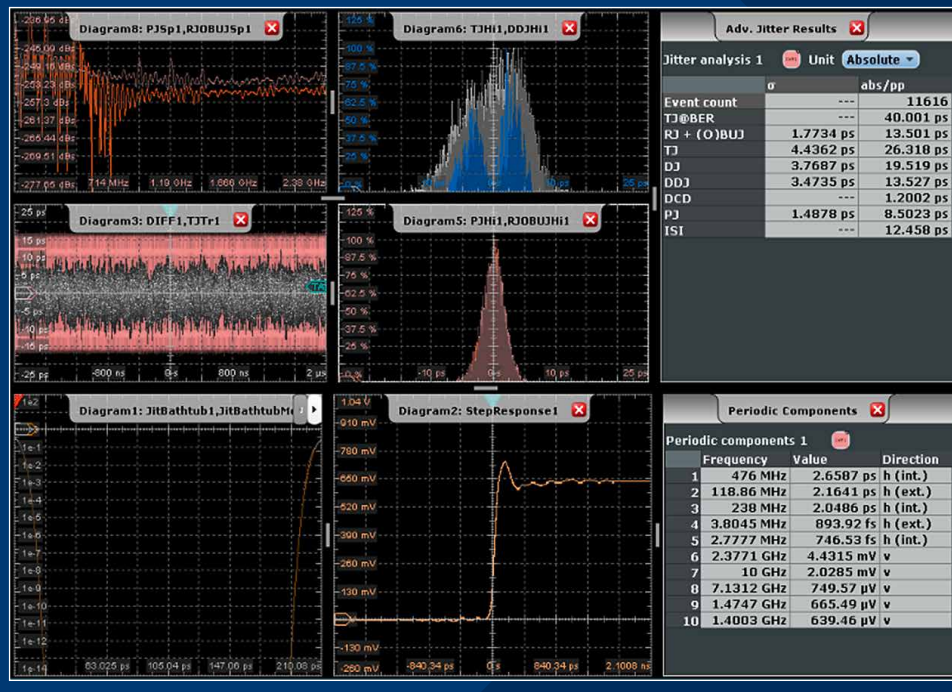


Bild 10: Jitter-Ergebnisse nach dem Ausschalten der Störquelle.



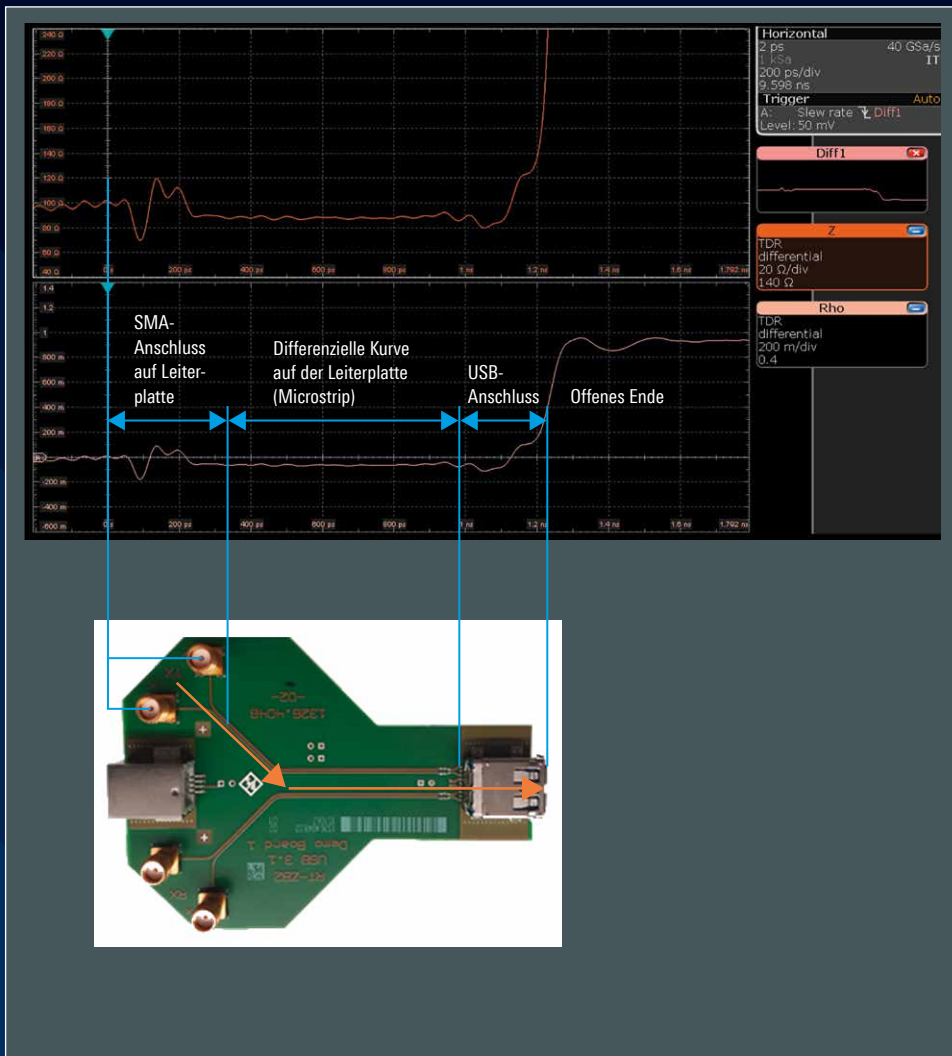
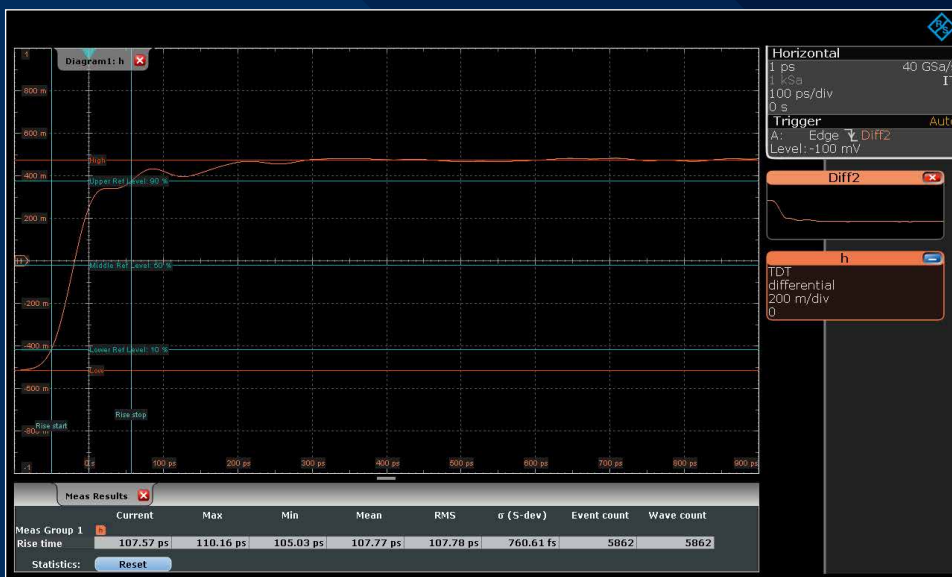


Bild 11: TDR-Messung am USB-Prüfadapter: oben Impedanz, unten Reflexionskoeffizient.

Bild 12: TDT-Messung am USB-Prüfadapter: Die Anstiegszeit des Pulses am Ausgang beträgt 108 ps.



differenzielle Pulsequelle wurde für diese Messung an die SMA-Konnektoren angeschlossen, die USB-Type-A-Buchse blieb offen, sodass das eingespeiste Pulssignal vollständig reflektiert wurde. Die Impedanz und der Reflexionsfaktor sind sowohl über die Zeit wie auch über die Wegstrecke darstellbar und lassen sich so leicht lokalen Abschnitten auf dem Messobjekt zuordnen. Gut zu sehen sind beispielsweise der Impedanzsprung beim Übergang von den SMA-Konnektoren zur Leiterplatte, der konstante Impedanzverlauf entlang der Leiterbahn und die Reflexion an der USB-Buchse.

Eine weitere Messmöglichkeit besteht in der Zeitbereichstransmissionsanalyse (TDT). Dabei wird ebenfalls ein kurzer Puls in den Signalpfad eingespeist. Dessen Ausgang ist dazu mit dem Oszilloskopkanal verbunden, sodass die Übertragungsverluste ermittelt werden können. Das Ergebnis der TDT zeigt die durch Transmissionsverluste geprägte Pulsform. Die im Beispiel von Bild 12 gemessene Anstiegszeit lässt auf eine Bandbreite von etwa 3,2 GHz schließen ($BW = 0,35/t_{\text{rise}}$).

Fazit

Konformitätstests an seriellen Buschnittstellen sind wichtige Messungen, um Interoperabilität zwischen elektronischen Geräten und deren Zubehör zu gewährleisten. Bei Fehlern ist geeignete Messtechnik entscheidend, um die Ursachen schnell ermitteln zu können. Das Oszilloskop R&S®RTP bietet neben Softwareoptionen für automatisierte Konformitätstests auch eine Vielzahl an leistungsfähigen Werkzeugen für die Fehlersuche bei Signalintegritätsproblemen.

Guido Schulze

STRÖME UND SPANNUNGEN UNTER DEM MIKROSKOP

Akkugeräte werden immer kleiner. Mit ihnen schrumpft der Stromverbrauch auf Größenordnungen, die kaum noch messbar sind. Doch Source Measure Units können das. Und mehr noch: Sie liefern Spannungen und Ströme in feinsten Abstufungen.

Smartwatches und andere Mini-Gadgets arbeiten mit Strömen bis hinab in den Nanoamperebereich. Um solche Kleinstverbraucher auf einer sicheren technischen Grundlage entwickeln zu können, werden Stromversorgungen benötigt, die extrem kleine Ströme und Spannungen sowohl messen als auch stabil bereitstellen können. Wie die neue Produktreihe R&S®NGU (Bild 1). Sie erweitert die Palette der Rohde&Schwarz-Netzgeräte um eine Klasse von Präzisionsgeräten, die als Source Measure Units (SMU) bezeichnet werden.

Zwei Modelle stehen zur Wahl. Beide können als Quelle und Senke arbeiten (Zwei-Quadranten-Betrieb). Das R&S®NGU401 kann außerdem sowohl positive als auch negative Spannungen erzeugen und messen, etwa für die Vermessung von Halbleiterbauelementen (Vier-Quadranten-Betrieb).

Weite Messbereiche, üppige Ausstattung

Die eingestellten bzw. gemessenen Werte kommen mit bis zu 6½ Stellen auf einem großen Touch-Display zur Anzeige, das auch Strom-/Spannungs-Messverläufe und andere Grafiken mit hoher Auflösung darstellt. Beide Modelle können Leistungen bis 60 W abgeben oder aufnehmen, mit Strömen bis zu 8 A. Die Ausregelung schneller Lastwechsel dauert nicht länger als

30 µs (im Spannungsprioritätsmodus) bzw. 50 µs (im Stromprioritätsmodus).

Die Geräte bauen in Bedienung und Ausstattung auf den Spezialnetzgeräten der Baureihe R&S®NGL/NGM auf. So sind die Schnittstellen (LAN, USB, GPIB) wie auch die Sicherheitsfunktionen für die Begrenzung von Strom, Spannung, Leistung und Temperatur identisch.

Die Möglichkeiten zur Beeinflussung der Ausgangsgrößen wurden in den neuen Topgeräten weiter verfeinert. So lassen sich mit der QuickArb-Funktion bis zu 2048 Strom- oder Spannungs-Stützwerte pro Zyklus mit Abständen bis hinab zu 100 µs vorgeben, zwischen denen interpoliert werden kann, um die Auflösung noch feiner abzustufen. Analyseseitig bringt die FastLog-Funktion mit Abtastraten bis 500 ksample/s extrem kurzzeitige Strom- und Spannungsänderungen ans Licht (Bild 2).

Das speziell für Anwendungen im Bereich Wireless Communication konzipierte R&S®NGU201 kann optional in einen grafisch unterstützten Batteriesimulator verwandelt werden, der mithilfe der integrierten Innenwiderstandsregelung frei konfigurierbare Batterien und Akkus originalgetreu nachbildet. Hilfreich ist auch das optionale Digitalvoltmeter, das unabhängig vom versorgten Messkanal arbeitet und damit ein Extramessgerät in vielen Fällen entbehrlich macht.



Bild 1: Mit dem Zwei-Quadranten-Gerät R&S®NGU201 und seinem Vier-Quadranten-Pendant R&S®NGU401 (im Bild) steigt Rohde & Schwarz in den Markt für Präzisionsnetzgeräte (Source Measure Units) ein.

Wem die Modellierung der Strom- und Spannungsverläufe mit der QuickArb-Funktion noch nicht flexibel genug ist, kann im Vier-Quadranten R&S®NGU401 beliebige Kurvenformen über einen Modulationseingang einspeisen. So lässt sich das Gerät in eine Wechselstrom-/Wechselspannungsquelle verwandeln oder zur Simulation von Störungen oder instabilen Arbeitsbedingungen nutzen.

Im Vergleich mit konventionellen Netzgeräten weisen die R&S®NGU-Modelle zwei weitere für die Messpraxis wichtige Merkmale auf:

Echte Stromregelung

Normale Labornetzgeräte können nur die Spannung schnell regeln. Auch wenn sich eine Strombegrenzung einstellen lässt und die Geräte im Konstantstrom-Modus eine Stromregelung suggerieren, ist diese bauartbedingt immer um ein Vielfaches langsamer als die Spannungsregelung. Dadurch entstehen große Stromüberschwinger beim Einschalten und bei Lastwechseln. Empfindliche Verbraucher wie Laserdioden überleben diese Überströme oft nicht. Die R&S®NGU-Geräte haben deshalb eine echte Stromregelung. Ihre Regelzeit ist nahezu genauso kurz wie die Spannungsregelung ($< 50 \mu\text{s}$) und vermindert Überschwinger auf ein Minimum (Bild 3).

Hochkapazitätsmodus

Eine häufige Fehlerquelle bei Strom-/Spannungs-Versorgungsmessungen ist der Eingangskondensator, der sich in vielen Messaufbauten findet. Dieser bildet zusammen mit den Anschlussleitungen einen Tiefpass, der das Messergebnis verfälscht. An den R&S®NGUs lässt sich ein mehrstufiger Kapazitätsmodus einstellen, der die Eingangskapazität kompensiert und bewirkt, dass nur der Strom gemessen wird, der tatsächlich in die Messschaltung fließt (Bild 4).

Fazit

Zur Entwicklung akkubetriebener Mobil- und IoT-Geräte werden präzise messende Netzgeräte benötigt, die mit Strömen und Spannungen im Nanoampere- und Mikrovoltbereich umgehen können. Mit der R&S®NGU-Baureihe erweitert Rohde & Schwarz sein Netzgeräteprogramm um solche Modelle, im Fachjargon Source Measure Units genannt. Während das Zwei-Quadranten-Modell R&S®NGU201 auf Anwendungen im Bereich Wireless abzielt, ist das Vier-Quadranten-Gerät R&S®NGU401 für Halbleitertests prädestiniert. Neben einer Fülle von Ausstattungsmerkmalen, die die Messpraxis erleichtern, zeichnen sich die Geräte durch eine gern übersehene oder vielmehr überhörte Eigenschaft aus, die der Laboringenieur

aber schätzen wird: Dank großzügig dimensioniertem Kühlkörper und kaum hörbarer Lüfter sind sie extrem leise. Wer empfindliche Schaltungen oder autonome IoT-Geräte entwickelt, wird an diesen Geräten nicht vorbeikommen.

Andreas Schütz

Bild 2: Mit der FastLog-Funktion werden auch extrem kurzzeitige Spannungsänderungen erfasst, die sonst vielleicht übersehen würden.

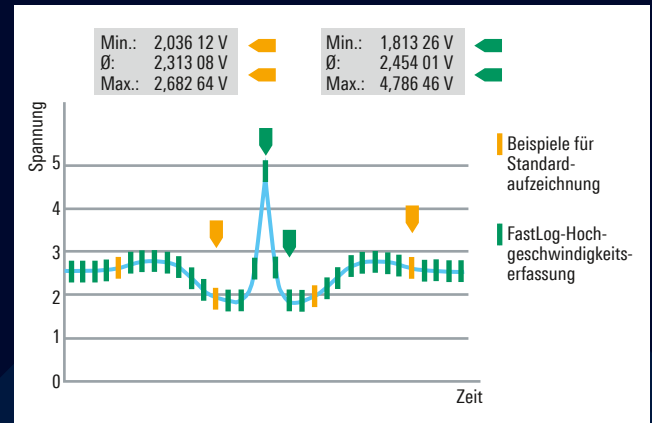


Bild 3: Standardnetzgeräte sind für schnelle Spannungsänderungen optimiert. Starke Stromüberschwinger werden in Kauf genommen (links), können für empfindliche Messobjekte wie LEDs aber zerstörend sein. Der wählbare Stromprioritätsmodus der R&S®NGU-Geräte kehrt die Verhältnisse um (rechts).

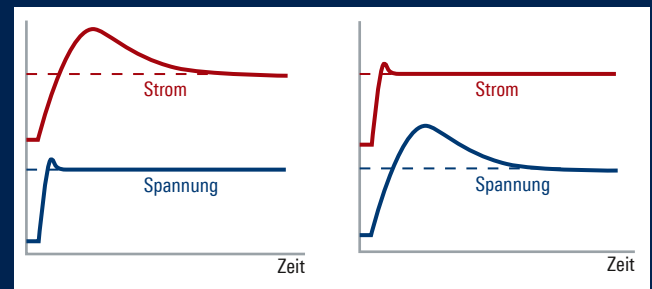
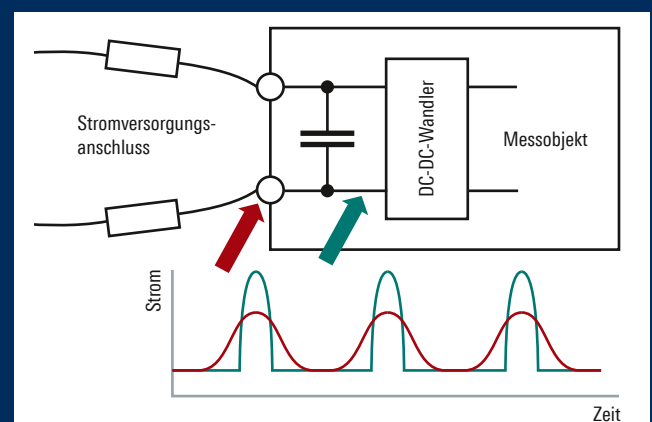


Bild 4: Die Eingangskapazitäten vieler Schaltungen verfälschen das Messergebnis, indem sie den Versorgungsstrom glätten (rot). Der Hochkapazitätsmodus der R&S®NGU-Modelle bewirkt, dass der wirklich in die Schaltung fließende Strom gemessen wird (grün).



HF-SYSTEME REALITÄTSNAH SIMULIEREN

Heutzutage beginnen die meisten HF-Entwicklungen mit einer Simulation des geplanten Systems über ein EDA-Tool (Electronic Design Automation). Realistische Ergebnisse sind dabei aber nur zu erwarten, wenn der Simulator mit Signalen gespeist wird, die das reale System später verarbeiten soll. Durch die Anbindung leistungsfähiger R&S-Signalerzeugungs- und -Analysesoftware an einen verbreiteten Simulator ist das jetzt einfach möglich.

Die Verwendung identischer Signale bei der Simulation und der späteren Hardware-Evaluierung lässt direkte Vergleiche zu und erleichtert den reibungslosen Übergang vom Design zum Produkt. Ein verbreitetes HF-Simulationswerkzeug ist der AWR® Visual System Simulator™ (VSS) der Firma Cadence®. Mit ihm lassen sich komplexe Systeme mit allen Funktionsblöcken und Submodulen entwerfen und auf die geforderten Leistungsdaten hin optimieren, etwa ein HF-Frontend mit Filtern, Verstärkern und Phased-Array-Antennensystem.

Neueste Signalformate sekundenschnell an jedem Punkt der Schaltung

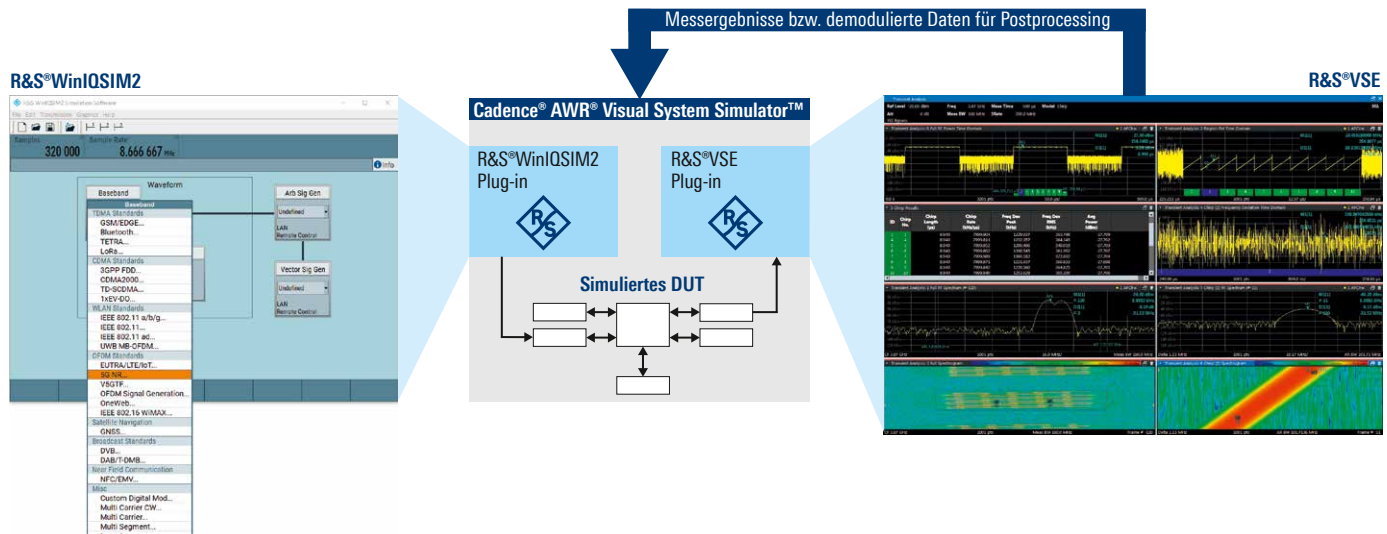
Zur Versorgung des simulierten Systems mit authentischen Signalen direkt aus der Simulationsumgebung heraus kann jetzt als Quelle die funktionsmächtige Signalsimulations-Software R&S®WinIQSIM2 als Plug-in im VSS verankert werden, ebenso die Signalanalyse-Software R&S®VSE als Senke (Bild 1). Beide Plug-ins samt den nötigen Lizenzen sind im Produkt R&S®VSESIM-VSS zusammengefasst.

Der Datentransfer zwischen den Tools erfolgt auf Dateibasis in einem assistierten Modus.

Sowohl R&S®WinIQSIM2 als auch R&S®VSE unterstützen alle wichtigen Kommunikationsstandards einschließlich 5G und neuester Wi-Fi-Varianten und erlauben den Umgang mit eigenen Modulationsschemata, wie sie in Satellitenverbindungen verwendet werden. Daneben enthält das R&S®VSESIM-VSS-Paket die neue Messoption R&S®VSE-K18, die bei der Entwicklung von HF-Frontends im Allgemeinen und von Leistungsverstärkern im Besonderen sehr nützlich ist (Bild 2). Neben Standardmessungen wie Frequenzgang, Verstärkungskompression, AM/AM- bzw. AM/PM-Verzerrung bietet es automatische EVM- und ACLR-Messungen an einem beliebig modulierten Signal, ohne dass die Analysesoftware darauf eingestellt werden muss.

Darüber hinaus kann man – basierend auf den Nicht-linearitätsmessungen – verschiedene digitale Vorverzerrungsmethoden (DPD) ableiten und anwenden. Bei

Bild 1: Die Signalsimulations-Software R&S®WinIQSIM2 und der Vektor Signal Explorer R&S®VSE lassen sich als Plug-ins in der HF-Simulationsumgebung AWR® Visual System Simulator™ der Firma Cadence® verankern, um authentische Signale aus dem Simulator heraus generieren und analysieren zu können.



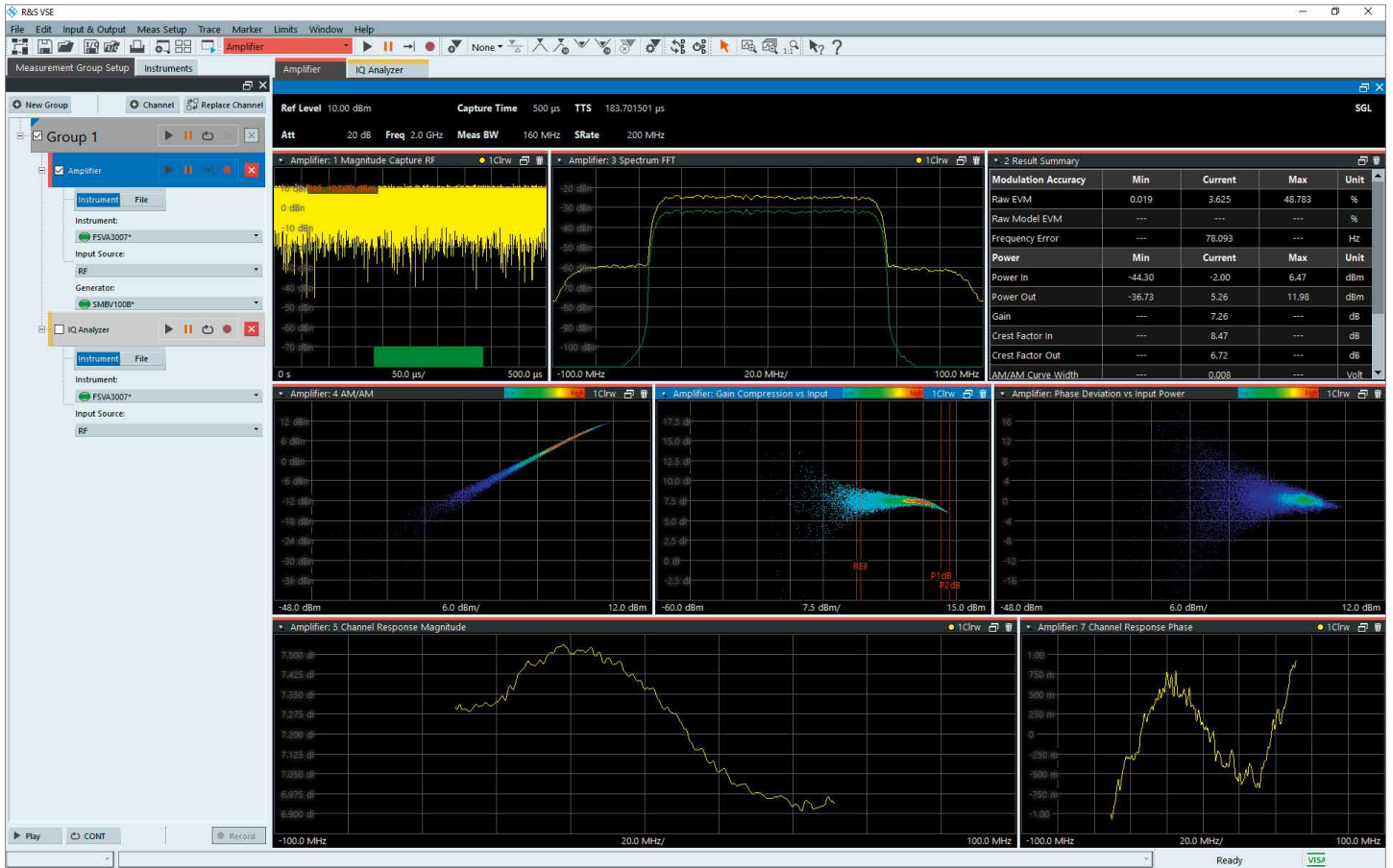


Bild 2: Das Verstärker-Messpaket R&S®VSE-K18 gehört wie viele andere Signalgenerierungs- und -analyseoptionen zum Lieferumfang von R&S®VSESIM-VSS.

der Optimierung des HF-Frontends mit seinem Verstärker auf besten Wirkungsgrad unter Einhaltung von Zielvorgaben wie Frequenzbereich, Verstärkung und Nichtlinearität hat es der Entwickler mit einer mehrdimensionalen Aufgabe zu tun. Variationsmöglichkeiten ergeben sich beim Design des HF-Frontends und bei der Vorverzerrung zwecks Linearisierung. AWR® VSS mit integriertem R&S®VSESIM-VSS bietet alle dazu nötigen Stellschrauben. Das System ermöglicht die Verifizierung der möglichen Verstärkerleistung in Verbindung mit DPD-Techniken unter Verwendung des Rohde&Schwarz-Direct-DPD-Ansatzes bereits in der Simulation. Diese neue Erweiterung zur Speicherpolynom-DPD erzeugt ein Modell mit benutzerdefinierbarer Komplexität in Speichertiefe und Polynomordnung, das in einer Echtzeimplementierung verwendet werden kann. Die Anwendung des exakt gleichen DPD-Ansatzes auf die Hardware in einem späteren Schritt gewährleistet eine optimale Korrelation zwischen Simulation und physikalischem Hardwaretest nach dem Tape-Out.

Da AWR® VSS zum Entwurf kompletter Systeme dient, werden manche Komponenten früher in Hardware vorliegen als andere. Um diese mit den gleichen Signalen – dann allerdings als „echte HF“ – zu beaufschlagen, mit

denen die virtuelle Blaupause stimuliert wurde, kann das Speisesignal an passender Stelle im Simulator abgegriffen und dem Sink-Block der R&S®VSE zugeführt werden. Dieser erzeugt daraus eine I/Q-Datei, die sich mit einem Vektorsignalgenerator wie dem R&S®SMW200A abspielen lässt.

Ständig aktuell

Das Lizenzkonzept für R&S®VSESIM-VSS folgt der Struktur von Cadence. Die Lizenzierung wird entweder über einen Fileserver abgewickelt oder mithilfe eines USB-Dongles, wie er von gängigen R&S®VSE-Installationen bekannt ist. Die Laufzeit der Lizenz ist auf ein Jahr festgelegt und muss dann erneuert werden. Dank dieses Modells profitiert der Nutzer automatisch von Funktionserweiterungen durch unterjährliche Updates, beispielsweise, wenn mit einem neuen 5G-Release weitere Modulationsschemata hinzukommen. Einmal in den AWR® VSS eingebettet, können die Testsignale auch in anderen angebotenen Cadence®-Produkten wie der Schaltungsdesign-Software Microwave Office® oder der IC-Layout-Suite Virtuoso® verwendet werden.

Markus Lörner

BIS IN DEN LETZTEN WINKEL

Der Kleinleistungssender R&S®TLV9 schließt Versorgungslücken in DAB+-Netzen



R&S®THV9evo

- ▶ Energieeffizienz bis zu 50 %
- ▶ Bis 30 kW

Bereits in 35 Ländern und Regionen ist DAB+ etabliert, teils neben dem altbewährten UKW, teils auch schon als alleiniges terrestrisches Hörfunkmedium. Seine Vorteile liegen auf der Hand. Zur einfachen Bedienung gesellen sich hohe Klangqualität, Störungsfreiheit, ein großes Programmangebot und die Möglichkeit, begleitende Bilder und Texte zu übertragen. DAB+-Radioempfänger können zusätzlich auch immer das UKW-Signal empfangen, sodass keine Entwerder-oder-Entscheidung zu treffen ist. Eine EU-Richtlinie schreibt ohnedies vor, dass zumindest alle Autoradios in Neuwagen DAB+-fähig sein müssen. In manchen Ländern, so auch in Deutschland, gilt das auch für höherwertige Heim- und Mobilgeräte.



Da Empfangsgeräte ohne entsprechendes Programmangebot keinen

Sinn machen, sind die Radionetzbetreiber in einigen Ländern verpflichtet, eine DAB+-Infrastruktur neben den FM-Netzen zu unterhalten. Dieser Auf-

trag ist in der Regel mit unveränderter Personal- und Kostenstruktur zu erfüllen, deshalb steht Kosteneffizienz ganz oben im Pflichtenheft der Betreiber. Dazu gehört neben den laufenden Betriebskosten auch die Robustheit der Technik. Wenn ein UKW-Sender ausfällt, ist nur ein einziges Radioprogramm im Versorgungsbereich dieser Anlage betroffen. Bei DAB+ werden aber mehrere Programme als Multiplex über den selben Sender ausgestrahlt. Daher sind bei einem Ausfall bis zu 15 Stationen offline, was neben



R&S®TMV9evo

- ▶ Energieeffizienz bis zu 50 %
- ▶ Bis 4,3 kW

Bild 1: Netzbetreiber können ihr DAB+-Netz komplett mit Sendern von Rohde & Schwarz aufbauen und von den Vorteilen des One-Stop-Shopping profitieren.



R&S®TLV9

- ▶ Energieeffizienz bis zu 30 %
- ▶ Bis 300 W



Bild 2: Mit Ausgangsleistungen von 50 W bis 300 W ist der luftgekühlte Kleinleistungssender R&S®TLV9evo ideal zum Schließen von Versorgungslücken in DAB+-Netzen.

der Verärgerung der Hörer hohe Ausfallstrafen für den Netzbetreiber nach sich zieht.

Technische Zuverlässigkeit ist eine Eigenschaft, die Rohde & Schwarz-Sender neben ihren sonstigen Qualitäten seit jeher auszeichnet. So auch den neuen Kleinleistungssender R&S®TLV9 (Bild 2). Er komplettiert die aktuelle DAB+-Senderplattform, die im Hoch- und Mittelleistungsbereich schon mit den Produktlinien R&S®THV9evo und R&S®TMV9evo besetzt war (Bild 1). Mit dem Kleinleistungsmodell, das typischerweise dazu genutzt wird, als Füllsender bestehende Versorgungslücken zu schließen, reicht das Leistungsspektrum jetzt von 50 W bis 30 kW. Rundfunknetze werden üblicherweise in mehreren Phasen ausgebaut, wobei die großflächige Abdeckung mit Hochleistungssendern zunächst im Vordergrund steht, um einem Großteil der Bevölkerung so schnell wie möglich Zugang zu dem neuen Medium zu verschaffen. Der Ausbau zur Vollversorgung folgt in der Regel in ein bis zwei weiteren Phasen,

wofür der R&S®TLV9 im Licht der Ausbausituation vieler DAB+-Länder gerade recht kommt.

Die Rohde & Schwarz-DAB+-Senderplattform zeichnet sich durch eine Reihe von Eigenschaften aus, die sie für Netzbetreiber attraktiv macht:

Alle Leistungsklassen von einem Lieferanten

Mit der Verfügbarkeit der Kleinleistungssender kann das gesamte Netz auf der selben technischen Basis errichtet werden, mit Vorteilen nicht zuletzt bei Netzüberwachung und Service.

Abgesicherte Dienstqualität

Die Sender stellen eine konstant hohe Signalverfügbarkeit und Qualität über ihre gesamte Betriebszeit sicher.

Höchste Energieeffizienz

Bis zu 50 % Energieeffizienz schlagen vor allem im Mittel- und Hochleistungsbereich zu Buche. Dafür sorgt neben dem ausgefeilten Verstärker-Grunddesign das Feature

R&S®Efficiency Optimization, das die Betriebsparameter bei jeder Setup-Änderung optimal aufeinander abstimmt.

Lange Lebensdauer

Dank der zigtausendfach bewährten Plattform mit hochwertigen HF-Komponenten, die sich die DAB+-Sender mit den TV-Sendern teilen, und einem ausgeklügelten thermischen Design ist Langlebigkeit garantiert.

Integrierte Performanceanalyse

Die neue Selbstüberwachungsfunktion mit intelligenter Leistungsanalyse liefert sofortiges Feedback zu Betriebsparametern und klare Diagnoseinformationen.

Bereits 1995 führte Rohde & Schwarz den ersten DAB-Sender ein und war dann maßgeblich an der Entwicklung des DAB+-Standards beteiligt. Die neue Plattform ist das Ergebnis dieser in Jahrzehnten gewachsenen Kompetenz.

Silke Kürmayer

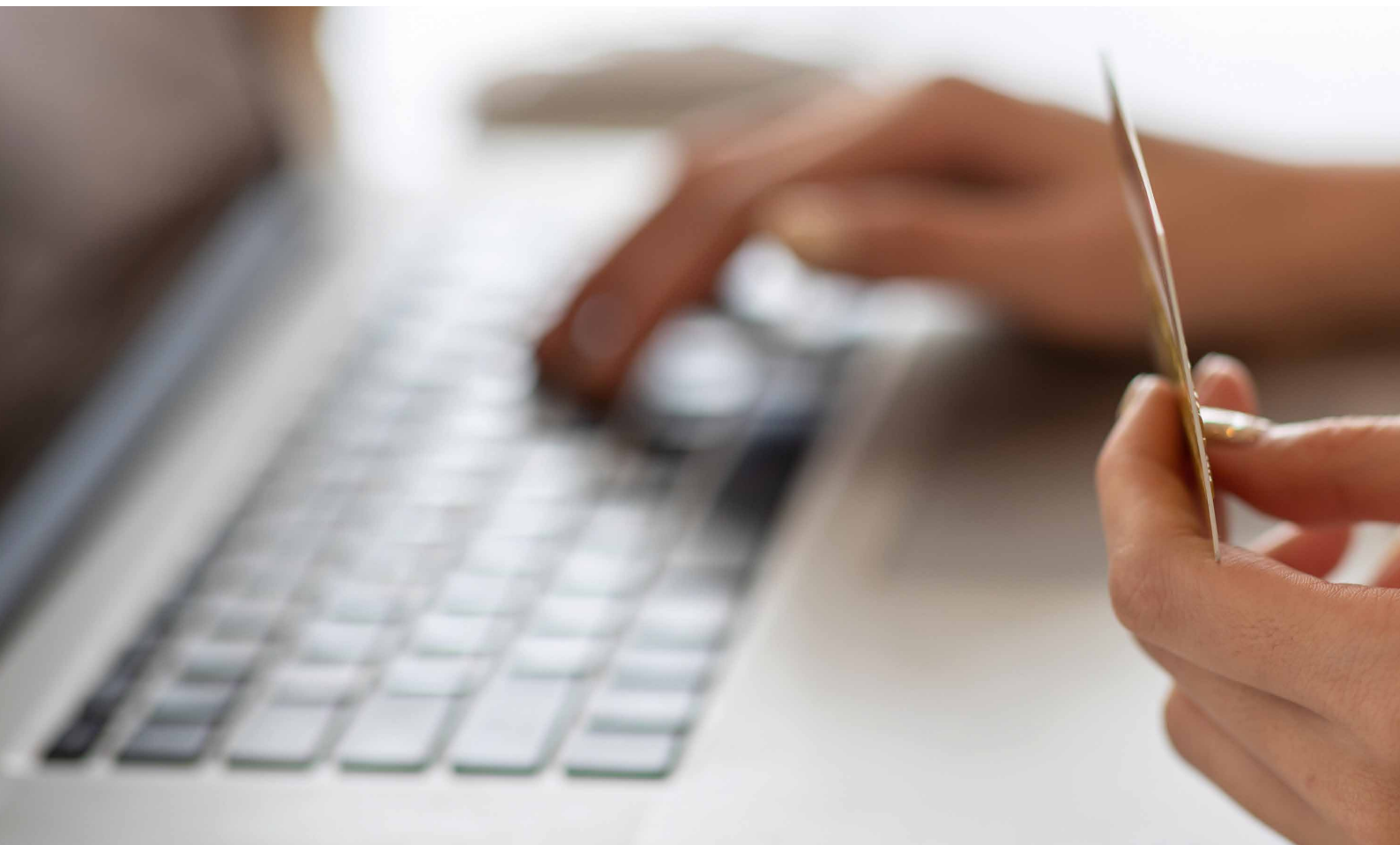
SICHERES ARBEITEN IM HOMEOFFICE

Hochsichere Software-Tools ermöglichen es auch Behörden und Unternehmen mit hohen Sicherheitsanforderungen, ihre Mitarbeitenden ins Homeoffice zu schicken.

Bei der coronabedingt oft überstürzten Verlagerung von Bürotätigkeiten ins Homeoffice hatten Datensicherheitsbelange nicht immer die höchste Priorität. Nun da es sich abzeichnet, dass die Arbeit in Zukunft viel dezentraler organisiert werden wird als in Vor-Corona-Zeiten, gilt es, eventuelle Schwachstellen nachhaltig zu beseitigen. Mit Produkten von Rohde&Schwarz Cybersecurity lässt sich die Arbeit in verteilten Organisationen verlässlich absichern – selbst das einfache Handling von Verschlusssachen ist kein Problem.

VS-NfD-Kommunikation von daheim und unterwegs BSI-konform gestalten

Als es coronabedingt nötig wurde, konnten viele Unternehmen einem Großteil ihrer Belegschaft binnen kurzer Zeit Heimarbeitsplätze anbieten. Zum Schutz der Unternehmensdaten ist es dann aber unabdingbar, verschlüsselt zu kommunizieren, wozu man die entfernten Mitarbeitenden über einen VPN-Tunnel (Virtual Private Network) ans Unternehmensnetz anbindet. Die



verbreiteten Software-VPNs bieten dafür einen guten Grundschutz, sind aber nicht unantastbar. Ihre Schwachstelle ist die Tatsache, dass sie bei der Installation auf das Betriebssystem aufgesetzt werden. Befällt eine Schadsoftware Windows, dann ist auch der VPN-Client betroffen und Angreifer könnten die sichere Verbindung ausschalten. Die Daten würden dann, vom User unbemerkt, unverschlüsselt zum Angreifer abfließen. Das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) empfiehlt deshalb, dass VPN-Lösungen, die für eingestufte, also besonders schützenswerte, Informationen zum Einsatz kommen, betriebssystemunabhängig arbeiten. Das ließ sich bisher nur mit zusätzlicher Hardware – VPN-Boxen – realisieren. Behörden, deren Daten in der Regel als „Verschlussache – nur für den Dienstgebrauch“ (VS-NfD) eingestuft sind, konnten ihre Mitarbeitenden daher nicht in gleichem Umfang von einem Tag auf den anderen ins Homeoffice schicken wie die Privatwirtschaft. Zu viele VPN-Boxen hätten kurzfristig beschafft werden müssen.

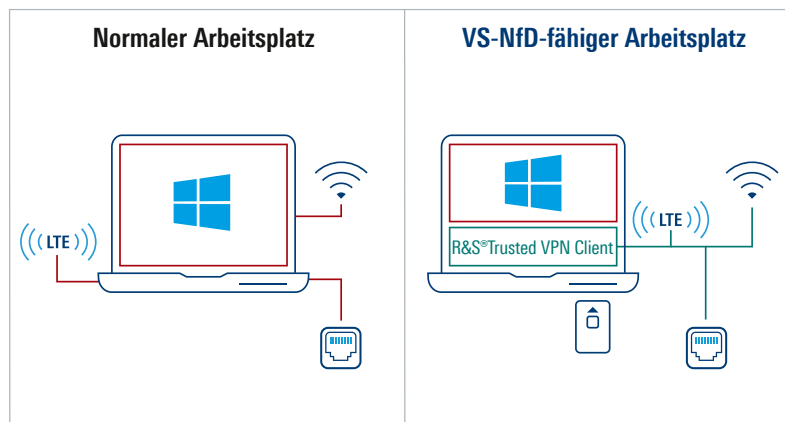


Bild 1: Normalerweise kontrolliert das Betriebssystem (rot) die Datenschnittstellen wie Wi-Fi, Mobilfunk und Ethernet. Der R&S®Trusted VPN Client (grün) entzieht ihm die Kontrolle und sorgt für sichere Verhältnisse. Der Nutzer identifiziert sich über eine Smartcard.

Doch in Zukunft ist hochsichere Kommunikation auch von zuhause und unterwegs auf einfache Weise möglich. Mit dem R&S®Trusted VPN Client erhielt erstmals eine reine Softwarelösung die BSI-Zulassung für die Geheimhaltungsstufen VS-NfD, NATO RESTRICTED und RESTREINT UE/EU RESTRICTED. Für die Authentifizierung des Nutzers braucht es lediglich eine Smart Card, die am Laptop eingeschoben wird.

Der R&S®Trusted VPN Client ist eine Zero-Trust-Lösung, bei der kein Vertrauen in potenziell unsichere Komponenten wie ein Betriebssystem bestehen muss. Das Prinzip dahinter ist die rigide Kontrolle der Schnittstellen. Dem Betriebssystem wird der Zugriff auf alle Netzwerkschnittstellen der Rechnerhardware verwehrt. Umgesetzt wird das mithilfe einer virtuellen Maschine. Eine solche auch als Hypervisor bezeichnete Software wird zwischen die Rechnerhardware und das Betriebssystem eingeschoben und kontrolliert den Datenaustausch zwischen beiden. Der R&S®Trusted VPN Client stellt sicher, dass Windows als einzige Netzwerkschnittstelle den VPN-Client erkennt (Bild 1). Nur über diesen kryptografisch nach BSI-Anforderungen gehärteten Kanal können Daten gezielt das Endnutzerbetriebssystem verlassen. Der physische Zugang erfolgt wie üblich über LAN, WLAN und Mobilfunknetze. Verbindungen über sogenannte Captive Portals z. B. in Hotels oder ICE-Zügen werden ebenfalls unterstützt. Erkennt der VPN-Client ein sicheres Netzwerk („friendly network detection“), etwa im Büro, deaktiviert er sich selbst. Somit ist sichere Kommunikation unter allen Bedingungen garantiert („always on“). Funktional gibt es kaum Einschränkungen. Alles was ein Homeoffice-Arbeitsplatz verlangt, ist möglich, insbesondere



auch VoIP-Telefonate und Videokonferenzen. Damit letztere selbst dann geschützt durchgeführt werden können, wenn externe Teilnehmende über eine potenziell unsichere Verbindung eingebunden sind, empfiehlt sich der Einsatz eines virtualisierten Browsers wie R&S®Browser in the Box, siehe unten.

Das größte Einfallstor für Malware schließen

Der abgegrenzte Bereich der eigenen Organisation lässt sich über VPNs wie den R&S®Trusted VPN Client sehr sicher machen. Kritisch wird es immer, wenn die Kommunikation diese bekannten Gestade verlässt und externe Adressen ansteuert. Der Browser ist das mit Abstand häufigste Einfallstor für Cyberangriffe. Die Nutzung von Applikationen, Kollaborations-Tools, E-Mails und Downloads über den Browser kann zur Einschleusung von böartigem Code führen, der nicht nur den eigenen Rechner schädigt, sondern schnell ein ganzes Netz befällt. Der gemeinsam mit dem BSI entwickelte R&S®Browser in the Box sorgt dafür, dass solche Schadsoftware chancenlos ist. Das wird durch eine vollständige Trennung vom Betriebssystem erreicht. Der Browser – wahlweise Chrome oder Firefox – läuft in einer virtuellen Umgebung, die auf einem gehärteten Linux aufsetzt. Dateisystem und Schnittstellen sind dem direkten Zugriff des Browsers entzogen, sodass eine eingefangene Malware nicht auf Rechnerhardware und Netz übergreifen kann. Heruntergeladene Dateien landen zunächst in einer sicheren isolierten Umgebung („docs in the box“) und können gefahrlos mit den mitgelieferten Viewern für Office- und PDF-Dokumente geöffnet werden.

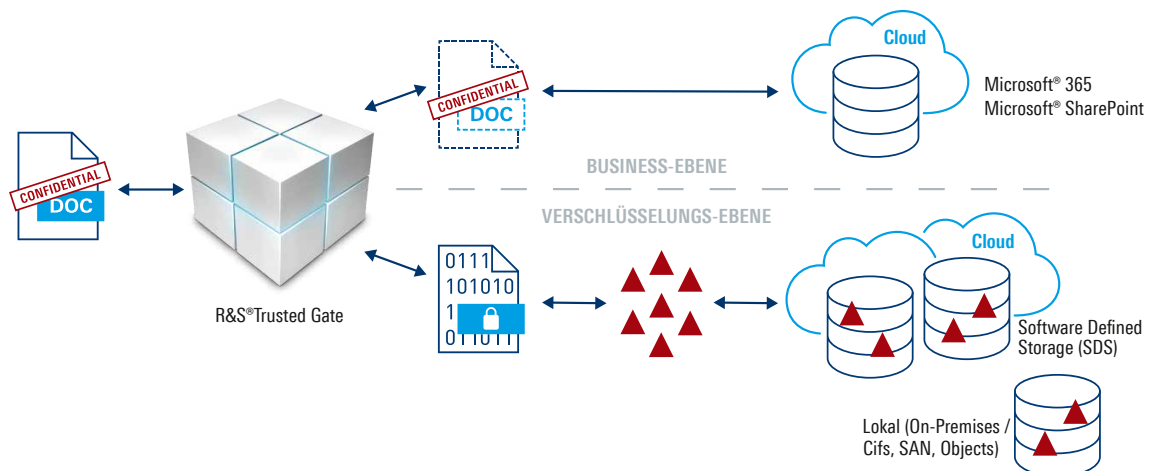
Wichtig in einer Zeit der verstärkten Home-office-Nutzung ist die Unterstützung von Webkonferenzen durch den Browser. Sicherheitskritisch sind hier nicht zuletzt Mikrofon und Kamera. Gelingt es einem Angreifer, diese Ressourcen unbemerkt zu kapern, sodass sie auch nach Beendigung einer Konferenz noch in seiner Hand sind, kann beträchtlicher Schaden entstehen. Durch die Einbeziehung der audiovisuellen Schnittstellen in die virtuelle Umgebung von R&S®Browser in the Box wird dieser Gefahr ein Riegel vorgeschoben. Ab der Version 6.0 hat der Nutzer, sofern der Administrator es erlaubt hat, unbedingte Verfügungsgewalt über Kamera und Mikro. Nach Abschaltung über die Benutzeroberfläche oder Beendigung des Browsers sind beide garantiert offline. Das Feature ist kompatibel mit Videokonferenz-Tools wie Microsoft Teams, Zoom, GoToMeeting, Jitsi oder Circuit.

Die Bedienung des R&S®Browser in the Box ist so einfach wie gewohnt. Auch die PC-Performance wird nicht gemindert. Dafür ermöglicht er Unternehmen, akademischen Einrichtungen und Behörden eine beispiellos sichere Nutzung des Internets.

Den Datenaustausch über Kollaborations-Tools absichern

Wer mit dem R&S®Browser in the Box surft oder an Videokonferenzen teilnimmt, ist vor Malware sicher. Nicht aber per se auch vor einem ungewollten Abfluss ausgetauschter Dateien und Chat-Nachrichten. Zwar wird die Sicherheit beliebter Tools wie Microsoft Teams kontinuierlich durch Maßnahmen der Anbieter erhöht,

Bild 2: Wenn R&S®Trusted Gate das Datenmanagement für Cloud-Applikationen übernimmt, werden nur leere Dateihüllen mit unverfänglichen Metadaten in öffentliche Clouds wie Microsoft® 365 hochgeladen. Die eigentlichen Daten lagern stark verschlüsselt und fragmentiert auf frei definierbaren Servern. Sie werden beim Öffnen rekonstruiert und auf sicherem Wege zugestellt.



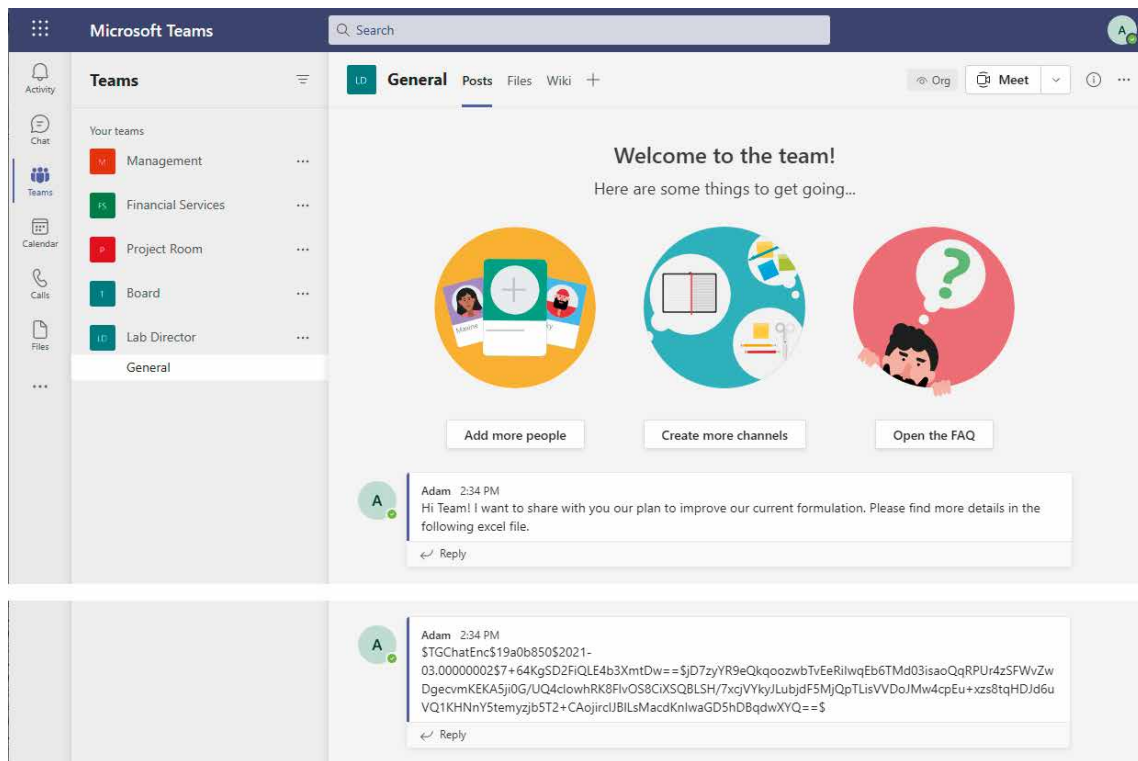


Bild 3: Nutzt man Microsoft® Teams in Verbindung mit R&S®Trusted Gate, sehen ungebetene Zaungäste nur Datensalat in der Chatkonversation (Ausschnitt unten). Auch hochgeladene Dateien sind dem unautorisierten Zugriff entzogen.

aber Organisationen mit hohem Sicherheitsbedarf sollten nur auf Schutzlösungen vertrauen, über die sie die volle Hoheit haben, insbesondere was die Verschlüsselung und Datenspeicherung betrifft. Hierfür ist R&S®Trusted Gate eine probate Lösung.

R&S®Trusted Gate ist eine Cloud-Sicherheitslösung, die einen konsequent datenzentrischen Ansatz verfolgt. Der Zugriff auf die Daten wird dabei nicht in erster Linie über Nutzerrechte geregelt, sondern durch die Schutzklasse definiert, die man den Daten zugewiesen hat, zum Beispiel firmenvertraulich oder geheim. Nur Personen mit Rechten für diese Klasse können die Daten sehen, lesen oder bearbeiten. Sie werden verschlüsselt und in kleine Pakete (Chunks) zerhackt, die sich auf frei definierbaren lokalen oder Cloud-Speichern DSGVO-konform ablegen lassen (Bild 2).

Die Software kann nahtlos und für die Nutzer unsichtbar in Kollaborations-Tools wie Microsoft 365, Teams, OneDrive und SharePoint eingebunden werden. Der Cloud-Provider hat zu keiner Zeit Zugriff auf die Originaldaten. Dank der Möglichkeit des pseudonymisierten Zugriffs auf diese Cloudservices ermöglicht R&S®Trusted

Gate trotz des vom europäischen Gerichtshof für ungültig erklärten Privacy-Shield-Abkommens zwischen der EU und den USA ihre rechtskonforme Nutzung, da personenbezogene Daten nicht in außereuropäische Clouds gelangen.

Die Funktionalität von R&S®Trusted Gate wird Zug um Zug erweitert. So unterstützt die Software in ihrer aktuellen Version auch den verschlüsselten Datei- und Chat-Austausch über Microsoft Teams. Über diesen Dienst kommunizierte Daten bleiben so garantiert vertraulich (Bild 3).

Fazit

Auch im Homeoffice ist der sichere Umgang mit sensiblen Daten ohne Weiteres möglich. Spezielle Hardware wird dafür nicht benötigt. Behörden, geheimschutzbetrente Unternehmen, Betreiber kritischer Infrastrukturen und Organisationen mit hohen Sicherheitsanforderungen finden bei Rohde & Schwarz Cybersecurity modernste, BSI-geprüfte Software-Lösungen, die allen rechtlichen Anforderungen genügen und so einfach zu bedienen sind wie weniger sichere Standard-Tools.

(Red)

ICARUS FLIEGT



Über ICARUS wird seit September 2020 unter anderem das interkontinentale Wanderverhalten von Amseln und Drosseln verfolgt.

© Marcel Schauer – stock.adobe.com

Das ISS-gestützte Projekt, mit dem die Wanderungsbewegung einer Vielzahl von Tierarten untersucht werden soll, hat den Betrieb aufgenommen. Funktechnik von Rohde & Schwarz sorgt für den Datentransfer.

Bevor die Projektbeteiligten auf den Start des ICARUS-Regelbetriebs anstoßen konnten, war eine lange Durststrecke zu überwinden. Professor Martin Wikelski, Direktor am Max-Planck-Institut für Verhaltensbiologie in Radolfzell und Initiator sowie Mastermind des Projekts, hatte die Idee zur weltraumgestützten Tierbeobachtung schon vor 20 Jahren. Und arbeitete seither mit unermüdlicher Ausdauer und hoher Frustrationstoleranz an ihrer Verwirklichung. Rückschläge gab es zuhauf. So zeugt der Projektname denn auch vom Galgenhumor Wikelskis: Die desinteressierte NASA hatte prophezeit, das Projekt werde niemals fliegen, und dem mythologischen Icarus wurden seine hochfliegenden Ambitionen ja auch zum Verhängnis. Die europäische ESA winkte ebenfalls ab. Doch dank der russischen Raumfahrtagentur Roskosmos, einem der Hauptbetreiber der ISS, und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) bekam der neuzeitliche ICARUS schließlich Wind unter die Flügel – und der Name wurde, wie es sich für ein seriöses Projekt gehört, zum sinntragenden Akronym: International Cooperation for Animal Research Using Space.

Von der Utopie zur Wirklichkeit

Die Idee war natürlich auch allzu kühn und rückblickend mit dem Stand der Technik der frühen 2000er Jahre gar nicht zu machen. Die Vorstellung, tausende von solar betriebenen Winz-Computern, vollgepackt mit Sensor- und Funktechnik, könnten von überall auf dem Globus eigenständig mit dem Weltraum kommunizieren und so eine Art Internet der Tiere bilden, hätte einem Science-Fiction-Autor zur Ehre gereicht.

Dank der rasanten Fortschritte in der Miniaturisierung von Elektronik und Sensorik sowie in der Akku- und Solarzellentechnik konnte die Utopie in den letzten Jahren aber wahr gemacht werden. Das kleine auf Satellitenkommunikation spezialisierte Start-up INRADIOS, von Postdoktoranden der Uni Dresden gerade erst ins Leben gerufen, war mit dem herausfordernden Entwurf der Funktechnik betraut worden, wobei ihm raumfahrttechnisch versierte Spezialisten

Bild 1: Der ICARUS-Tag ist kaum größer als ein Cent-Stück. Um seinen Datenspeicher vollständig auszulesen, ist ein spezielles Handfunkgerät erforderlich, mit dem die Tags im Umkreis von einigen Kilometern zur Übertragung ihrer Daten veranlasst werden können. Das Funkgerät leitet sie per WLAN an ein Smartphone oder Tablet weiter, über das auch die Bedienung erfolgt.



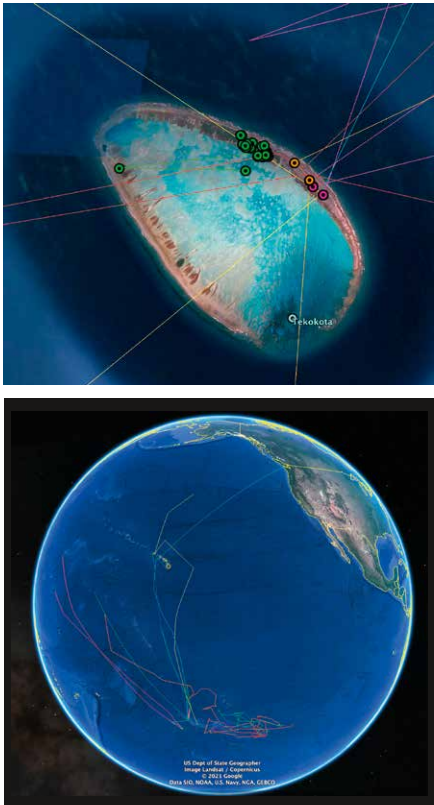


Bild 2: Von klein- bis großräumig: Die Tierbewegungen lassen sich über beliebige Strecken verfolgen wie in diesem Beispiel aus Polynesien.

der Firma SpaceTech und der DLR zur Seite standen. Inzwischen entwickelt INRADIOS als Mitglied des Rohde&Schwarz-Konzerns die ICARUS-Technik eigenständig im Schulterschluss mit dem Max-Planck-Institut (MPIAB) weiter. Rohde&Schwarz fertigt die Funkgeräte (Bild 1).

Ganz nah am Tier

Die wichtigste Rahmenbedingung für einen praxistauglichen Tiersender (Tag) ist seine Verträglichkeit für die Arten, die ihn tragen sollen. Mehr als drei Prozent des Körpergewichts sollte er nach der Empfehlung von Ethik-Kommissionen möglichst nicht auf die Waage bringen, um das Tier nicht in seinem Verhalten zu beeinflussen oder es gar zu gefährden. Da man auch kleine Tiere ausstatten wollte, ergaben sich somit für Größe und Gewicht anspruchsvolle Obergrenzen. Die bis dahin üblichen, auf Mobil- oder Analogfunk basierenden Tracker kamen für Tiere unter einem Kilogramm nicht in Betracht, was 75 Prozent aller Vögel und Säugetiere von der Beobachtung ausschloss. Die Amsel übernahm für das MPIAB die Rolle eines Referenztiers, da die



Bild 3: Die Hudson-Schnepfe, von der es weltweit nur noch rund 50 000 Individuen gibt, fliegt nonstop von Chile nach Nordamerika und ist dabei eine Woche lang unterwegs, bevor es sie weiter nach Kanada zieht. Über ihre Routen und Rastgebiete liefert ICARUS detaillierte Daten. Das Projekt wird von chilenischen Biologen begleitet.

gefiederten Sangeskünstler schon länger im Fokus der Beobachtung standen. Prototypen des ICARUS-Tags wurden bevorzugt an diesen scheinbar so vertrauten Vögeln erprobt, deren Zugverhalten immer noch Fragen aufwirft, die sich nur durch lückenlose Überwachung beantworten lassen. Mit seinen 4,5 g ist die leichteste Tag-Version gerade noch „amselverträglich“, wenn man den Einsatz auf ausgewachsene männliche Tiere beschränkt. Bei allen anderen Arten, die nach aktueller Planung im Rahmen von ICARUS besendert werden sollen, wird die Empfehlung sicher eingehalten.

Die Tags beinhalten neben der Funk- und Ortungstechnik mehrere Sensoren und genügend Speicher, um die Bewegungs- und Umweltdaten eines Individuums über ein ganzes Tierleben hinweg zu sammeln (siehe Kasten nächste Seite). Zur ISS werden bei jedem Überflug, der in der Regel täglich, in höheren Breiten in Abständen von bis zu drei Tagen erfolgt, bis zu 20 Positionsdaten übertragen. Dieses Limit ist dem kurzen Kontaktfenster von nur 15 Sekunden (von denen 3 Sekunden für die Übertragung genutzt werden)* und der geringen Bandbreite

* Die ISS hat aufgrund ihrer hohen Umlaufgeschwindigkeit von 28 000 km/h und der geringen Orbithöhe von rund 400 km eine so hohe Winkelgeschwindigkeit über Grund, dass sie für einen Bodensender nur kurz in Reichweite kommt.

der Funkverbindung geschuldet. Dass ein Mini-Funkgerät mit nur 6 Milliwatt Sendeleistung einen Satelliten anfunken kann, ist ja ohnehin schon eine staunenswerte Tatsache, die sich nur den großen, empfangsstarken Antennen der ISS und der ausgeklügelten Funktechnik verdankt.

Die Tags berechnen aus den ihnen regelmäßig übermittelten Bahndaten der ISS und ihrer eigenen Position die nächste Kontaktzeit und halten sich dann empfangs- und sendebereit, während sie ansonsten meist im Stand-by-Modus schlummern, um Strom zu sparen. Aus den regelmäßig gesendeten Bewegungsdaten, die in der Datenbank movebank.org zusammenlaufen, lassen sich bereits wertvolle Erkenntnisse gewinnen (Bilder 2 und 3). Um jedoch den gesamten Datenschatz der Tags inklusive der Umweltdaten zu heben, ist eine weitere Komponente erforderlich. Zugvögel sind nicht permanent unterwegs, sondern kommen in ihren Winter- und Sommerquartieren für längere Zeit zur Ruhe. Bei den meisten anderen Arten ist der Bewegungsradius überschaubar. Deshalb können die Biologen sie in ihren Refugien aufsuchen und mithilfe eines ICARUS-Handfunkgeräts (Bild 1) kontaktieren. Am Boden lässt sich über eine Funkdistanz von bis zu einigen Kilometern eine stabile und deutlich schnellere Verbindung aufbauen und die Tag-Speicher ohne Zeitdruck darüber auslesen.

Die Verknüpfung der diversen Sensordaten mit exakten Ortsinformationen erlaubt ganz neue Einblicke in die Lebensumstände und das Verhalten der Tiere, zumal dann, wenn externe

Wetter- und Umweltdaten mit einbezogen werden. Überhaupt – das Wetter! Sind erst einmal tausende „ICARUS-Vögel“ unterwegs, könnten sie als meteorologische Drohnen dienen und ein globales Wetterüberwachungssystem mit Daten füttern. Dafür wären dann aber ein Update der Übertragungstechnik und weitere Satelliten im Orbit notwendig. Letzteres ist ohnehin die Vision Wikelskis. Der Betrieb der ISS ist nur bis 2025 gesichert. Sollten sich die Betreiberstaaten nicht auf eine Fortführung einigen, könnten unabhängige ICARUS-Satelliten an ihre Stelle treten. Deren Finanzierung ist freilich eine Herausforderung, doch das MPIAB lässt sich davon nicht abschrecken, schließlich hat man schon andere Hürden gemeistert.

Eine Frage der Güterabwägung

Die Tags sind auf Langlebigkeit ausgelegt, da sie über ein Tierleben und darüber hinaus für eine Wiederverwendung funktionsfähig bleiben sollen. Diese an sich begrüßenswerte Eigenschaft kann zum Problem werden, wenn sie nach dem Tod des Trägertiers in der Wildnis zurückbleiben. Elektronik verrottet nicht. Deshalb wurden Mechanismen implementiert, die das Auffinden und Einsammeln erleichtern. Wenn ein Tag nicht mehr bewegt wird, ist seine GPS-Position stabil. Über das Handfunkgerät kann er in einen Ping-Modus versetzt werden, sodass er als Funkbake arbeitet, die sich mit dem Handgerät grob anpeilen lässt. Zusätzlich macht der Tag über eine blinkende LED auf sich aufmerksam. Für den Fall, dass eine unbeteiligte Person der Suche zuvorkommt, ist auf der Tag-Rückseite eine Kontaktadresse angebracht. Durch diese Maßnahmen, so die Hoffnung, sollte die überwiegende Mehrheit der ausgebrachten Tags den Weg zum MPIAB zurückfinden. Das Institut behält die Thematik wachsam im Auge. Schließlich ist man qua Profession und nicht zuletzt aus Überzeugung dem Schutz der Ökosysteme verpflichtet. Sollte ICARUS dereinst in eine neue Größenordnung hineinwachsen, wäre eine kritische Neubewertung unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten aber wohl unausweichlich. Organische Elektronik ist derzeit noch weit von der Einsatzreife entfernt. Vielleicht kommen den Entwicklern noch andere Ideen. Jetzt geht es erst einmal darum, das gerade erst flügge gewordene System hochzufahren und den Nutzen auszuschöpfen, für den es entwickelt wurde.

(Red)

Der Tiersender (Tag)

- Gewicht: < 5 g, abhängig von der Akkugröße
- Antennenlänge: 20 cm (Funk) bzw. 7,5 cm (GNSS)
- Sensoren: Magnetfeld, Beschleunigung, Temperatur, Feuchte, Druck
- Datenspeicher: 512 MByte
- Akkukapazität: 70/60/45 mAh
- GaAs-Solarzelle (aktuell leistungsfähigste Technologie)
- Sendeleistung: ca. 6 mW
- Sendefrequenz: 402,25 MHz, 1,1 MHz Bandbreite
- Empfangsfrequenz: 468,1 MHz
- Übertragene Datenmenge: 223 Byte/ISS-Kontakt

Globale

Singvogel-Wanderung

Milliarden Singvögel wandern jedes Jahr zweimal zwischen den Kontinenten. Singvögel leisten wichtige Ökosystemdienste, aber ihr Bestand ist in den letzten 20 Jahren um 30 % zurückgegangen. Man weiß nicht genau, wie man sie schützen kann und will deshalb mehr über ihre Lebensumstände herausfinden.

Tiere schützen Tiere

Ranger sind wichtig für den Schutz der Wildtiere, indem sie Wilderer fernhalten. Doch sie können nicht überall gleichzeitig sein – die Tiere aber schon. Aus ihrem kollektiven Verhalten lässt sich auf die Anwesenheit von Raubtieren oder Wilderern schließen, sodass die Ranger gezielt eingreifen können.

Pandemie-Vorhersage

Der Lebensraum vieler Tiere wird immer mehr beschnitten, was auch eine Zunahme der Kontakthäufigkeit und -intensität zwischen Mensch und Wildtier zur Folge hat. Dadurch können Krankheitserreger überspringen. Corona steht ja ebenfalls im Verdacht, auf diese Art in die Welt gekommen zu sein. Zu den „üblichen Verdächtigen“ im Tierreich gehören die Fledermäuse. Dabei sind sie nur Zwischenträger. ICARUS soll helfen, die eigentlichen Krankheitserreger zu identifizieren.

EINIGE LAUFENDE UND GEPLANTE ICARUS-PROJEKTE



Alle Fotos: ©MPIAB



Die „verlorenen Jahre“ verstehen

Die schwierigste Zeit für die meisten Tiere ist der Wegzug aus ihrem Geburtsraum. Bei vielen Arten verschwinden die Jungtiere für Jahre vom Radarschirm der Biologen. ICARUS soll diese Wissenslücke schließen. Im Fokus stehen sowohl Säugetiere als auch Schildkröten und Seevögel.



Zug von Mensch-Tier-Gemeinschaften

Seit der Frühgeschichte ziehen Menschen mit ihren Nutztieren umher. In einigen entlegenen Gebieten sind diese gemeinsamen Wanderungen noch immer zu beobachten. Wer führt wen, wer lernt von wem? Das soll in Bhutan (Himalaya), der südlichen Sahelzone, Bolivien und in der hohen Arktis untersucht werden.



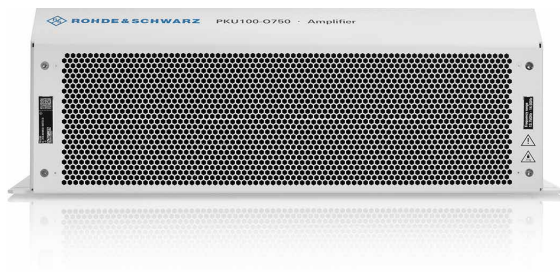
Zug von Küsten- und Seevögeln

Viele Küstenvögel verbinden die Hemisphären der Erde. Während ihrer langen Reisen sind sie auf Ufer-Refugien zum Auftanken angewiesen, die aber durch die menschliche Omnipräsenz zunehmend rar werden. Wo muss man Schutzgebiete einrichten? Seevögel gehören zu den rätselhaftesten Arten. Welche Meeresgebiete wählen sie aus? Wie navigieren sie? Wie schlafen sie? Seevögel sind auch gute Wächter für Klimaphänomene wie El Niño, können permanent Winde, Salzgehalte und Meeresströmungen messen und melden, wo sich der nächste Taifun oder Hurrikan aufbaut.

INTELLIGENTER UPLINK-VERSTÄRKER

Die Satelliten-Uplink-Verstärker der R&S®PKU100-Reihe waren mit ihren eingebauten Überwachungs- und Steuerungsfunktionen schon immer die intelligentesten ihrer Art. Jetzt beherrschen sie auch die Selbstverwaltung von Reservekonfigurationen.

Bild 1: Das Outdoor-Modell R&S®PKU100-0750 mit einer Ausgangsleistung von 750 W.



Rohde & Schwarz adressiert mit seinen Verstärkern der R&S®PKU100-Reihe Satelliten-Uplink-Stationen, auch Teleports (telecommunications ports) genannt. Klassischerweise wird das Satellitenfernsehen über solche Teleports an geostationäre Satelliten gesendet, die die Versorgung

der Haushalte in der Zielregion übernehmen. Seit Jahren bestimmen aber schon Datendienste wie Internet über Satellit die Entwicklungsdynamik im Orbit. Allein in den kommen-

den zwei Jahren werden geostationäre Internet-Satelliten mit einer Übertragungskapazität von mehr als 4000 Gbit/s in die Umlaufbahn geschossen – eine Verdopplung der bisherigen Kapazität.

Die Anbindung an die irdischen Daten-Backbones übernehmen die Teleports. Um den enormen Datendurchsatz pro Teleport zu bewältigen, muss das zugewiesene Spektrum durch Einsatz höherwertiger Modulationsverfahren wie 64APSK maximal ausgeschöpft werden. Damit steigen die Anforderungen an die Signalqualität deutlich. Zusätzlich unterliegen Teleports

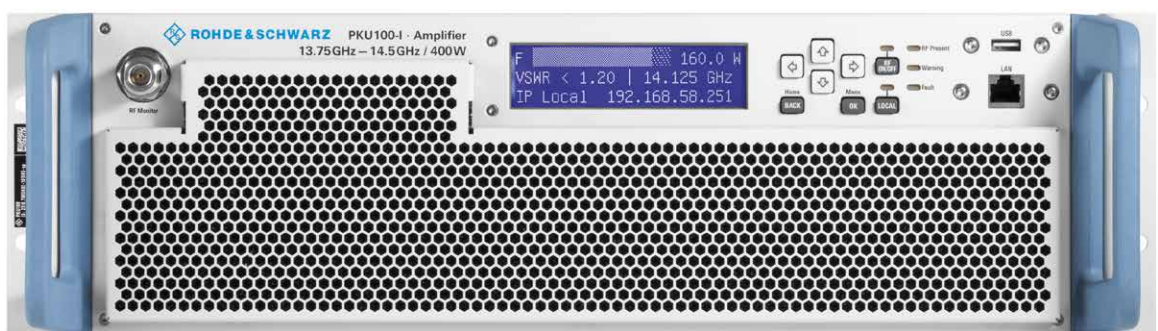
der Hochverfügbarkeitsanforderung. Beides hat Konsequenzen für die eingesetzten Uplink-Verstärker. Während auf dem Markt noch Röhrenverstärker dominieren, setzt Rohde & Schwarz mit der R&S®PKU100-Reihe (Bilder 1 und 2) auf Transistortechnik – mit Vorteilen bei Signalqualität, Betriebskosten, Lebensdauer und Ausfallsicherheit.

Betriebsunterbrechung verboten!

Letztere wird durch ein Bündel von Maßnahmen sichergestellt. So verhindern Selbstschutzmechanismen Schäden aus Übertemperatur oder zu starken Reflexionen am HF-Ausgang. Lüfter und Netzteile können redundant ausgelegt und im laufenden Betrieb ersetzt werden, sodass deren Ausfall gar keine Auswirkung auf den Betrieb hat. Selbst beim Defekt eines Transistors stehen weiter mehr als 75 % der nominalen Ausgangsleistung an, während eine defekte Wanderfeldröhre zum sofortigen Verstärkerwechsel zwingt.

Dennoch gehen Teleport-Betreiber schon aus Haftungsgründen auf Nummer sicher und sorgen mit Komplet-Redundanzen für alle Eventualitäten vor. Wo bei einer Lösung mit Röhren aber permanent ein zweiter Verstärker im wahrsten Wortsinn heiß mitlaufen muss, um im Notfall

Bild 2: Das 400-W-Indoor-Modell R&S®PKU100-1400.



sofort übernehmen zu können (aktive Reserve), bleibt ein Transistor-Ersatzverstärker energiesparend im Cold-Stand-by (passive Reserve). Oder macht sich anderweitig nützlich. Denn der redundante R&S®PKU100 fungiert gleichzeitig als Systemcontroller, der alle Betriebszustände im Auge behält, sie über das Web-GUI anzeigt (Bild 4), bei Abweichungen vom Sollzustand eigenständig Alarmer absetzt und vor allem in Sekundenbruchteilen aus dem Kaltzustand heraus die Verstärkerrolle übernimmt, wenn eines der aktiven Geräte ein Problem bekommt.

Abhängig davon, ob ein einzelner horizontal oder vertikal polarisierter Satellitentransponder zu versorgen ist oder mehrere verschieden polarisierte, werden ein oder zwei Verstärker auf eine Antenne geschaltet, die für beide Polarisationsrichtungen ausgelegt ist. In beiden Fällen konfiguriert man das System in der Regel als N+1-Reserve (Bild 3). Im 1+1-Fall ist ein R&S®PKU100-System vollkommen symmetrisch aufgebaut. Die beiden Geräte überwachen sich gegenseitig. Damit gibt es keinen Single-Point-of-Failure mehr – ein Novum im Bereich der Uplink-Verstärker. Der „diensthabende Controller“ übernimmt die Kommunikation zum Bediener hin. Ist die Funktion des aktiven Verstärkers gestört, geht diese Rolle nahtlos auf den Gerätezwilling über. Auch in einem 2+1-System ist keine zusätzliche Kontrolleinheit erforderlich.

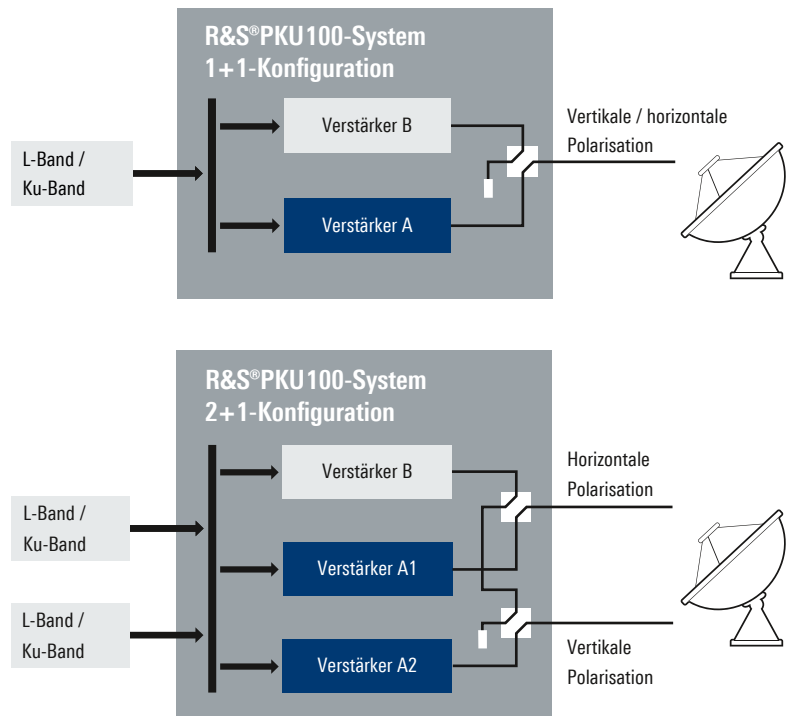


Bild 3: Sowohl in 1+1- als auch in 2+1-Konfigurationen kommt ein R&S®PKU100-System ohne externe Kontroll- und Steuertechnik aus.

Dadurch gestalten sich Installation und Betrieb des schlanken Systems sehr einfach.

Die Summe ihrer Eigenschaften macht R&S®PKU100-Systeme zu einer in jeder Beziehung sicheren Investition für den Betreiber.

Maurice Uhlmann



Bild 4: Eine Gruppe von R&S®PKU100-Uplink-Verstärkern, hier in 2+1-Redundanz konfiguriert, verwaltet sich autonom. Bei Ausfall eines Verstärkers übernimmt in Sekundenbruchteilen das Reservegerät.



STÖRENFRIED IN SICHT!

Das auf Funkerfassung basierende Drohnenwarn- und -abwehrsystem R&S®ARDRONIS hat Augen bekommen. Jetzt lassen sich einfliegende Drohnen auch visuell beurteilen.

Das Aufspüren und Abwehren von Mikrodrohnen gehört inzwischen zum Standardrepertoire der Sicherheitsbehörden. Zu viele Vorfälle in den letzten Jahren, sei es auf Flughäfen, sei es bei Veranstaltungen, haben das Problem dringlich werden lassen und die Entwicklung der unterschiedlichsten Erfassungs- und Abfanglösungen veranlasst. Rohde&Schwarz setzt mit seinem System R&S®ARDRONIS auf Funkerfassung. Deren Vorteil: Ortung nicht nur der Drohne, sondern auch des Piloten, und das schon

beim Einschalten der Fernbedienung, noch bevor die Drohne in der Luft ist. Außerdem lässt sich am Funk-Fingerabdruck der Drohnentyp erkennen, was dabei helfen kann, die Bedrohung einzuschätzen und die Beweissicherung erleichtert. Auch bei der Abwehr kommt Funk zum Einsatz. Durch ein genau auf die Drohne abgestimmtes Störsignal wird deren Funkverbindung zur Fernsteuerung unterbrochen (smart jamming), sodass sie in den Failsafe-Modus schaltet und entweder landet oder zum

Ausgangspunkt zurückfliegt. Letzteres kann unterbunden werden, indem man auch das GPS-Signal stört, was die Drohne orientierungslos macht und zur Landung zwingt. Auch wenn solche Eingriffe minimal-invasiv erfolgen, versteht es sich, dass nur autorisierte Behörden davon Gebrauch machen dürfen.

Konnte der R&S®ARDRONIS-Operator den Drohnenflug bisher nur auf der eingeblendeten Karte oder einem gespeicherten Luft- bzw. Satellitenbild



Bild 1: Die Software-Erweiterung R&S®ARDN-PTC ermöglicht die Ansteuerung motorisch einstellbarer Schwenk-Neige-Köpfe und Kameras. Die beiden angebotenen Kameramodelle bieten hohe Zoomfaktoren und eingebaute Infrarot-Spotlights für die Anleuchtung der Zielobjekte bei Nacht.

Bild 2: Ein Vorzug der Funkerfassungsmethode ist die Ortbarkeit der Fernsteuerung und damit auch des Drohnenpiloten. Die R&S®ARDRONIS-Kameras machen ihn mit ihrer Infrarot-Optik auch bei Nacht sichtbar.



verfolgen, steht ihm jetzt auch eine weitere Echtzeit-Beobachtungsmöglichkeit zur Verfügung. Die Software-Option R&S®ARDN-PTC erweitert das System um die Fähigkeit, Videokameras und Richtantennen zu steuern und automatisch auf ein erfasstes Ziel auszurichten. Zwei Kameras stehen zur Wahl. Beide liefern Bilder bis zur Full-HD-Auflösung und arbeiten sowohl im sichtbaren Spektrum wie auch im Infrarotbereich, um Nachtbetrieb zu unterstützen. Die graue Kamera R&S®ARDN-PTZ (links im Bild 1) ist eine sinnvolle Ergänzung des reinen Erfassungssystems R&S®ARDRONIS-D (D für Direction), während das schwarze Modell R&S®ARDN-PTH mit einer in beiden Achsen mitdrehenden Richtantenne R&S®HL040E ausgestattet werden kann, die das Jamming-Signal

gezielt auf die abzufangende Drohne strahlt. Diese Option ist als Ergänzung der Systemkonfiguration R&S®ARDRONIS-P gedacht (P für Protection). Beide Kameras holen das Flugobjekt mit hohen Zoomfaktoren ins Bild und haben ein eingebautes Infrarot-Spotlight zur Anleuchtung der Zielobjekte bei Nacht (Bild 2). Nach der sekundenschnell erfolgten automatischen Ausrichtung kann der Operator über Joystick oder Maus die weitere Verfolgung übernehmen und den Zoomfaktor nach Bedarf variieren. Zur besseren Orientierung wird der aktuelle Bildausschnitt in einem

360°-Panorama der Umgebung markiert (Bild 3 rechts). R&S®ARDRONIS kann als modulares System flexibel an die Überwachungsaufgabe angepasst und skaliert werden. Ausgedehnte Areale wie Flughäfen erfordern eine großflächige Verteilung der Sensoren und Abfangmittel. Kameras und Störsender lassen sich in der nötigen Stückzahl integrieren. Für die Einbindung in Drohnenabwehrsysteme, die auch andersartige Sensoren, etwa Radare, und robuste Abfangmethoden umfassen, ist die Systemchnittstelle von R&S®ARDRONIS offengelegt.

(Red)

Bild 3: Das R&S®ARDRONIS-Monitorbild zeigt alle relevanten Informationen auf einen Blick. Rechts: das Live-Bild der ausgewählten Kamera sowie die Position des Bildausschnitts im 360°-Panorama. Unten: Eine Liste der erfassten Drohnen sowie die Drohnen- und Fernsteuerungspositionen im Luftbild.

