

Netzwerktests ebener den Weg zur intelligenten Fabrik

Der 5G-Mobilfunk bringt alle Voraussetzungen mit, um die intelligente Fabrik der Zukunft drahtlos zu vernetzen. Doch damit das gelingt, sind Netzwerktests unabdingbar.

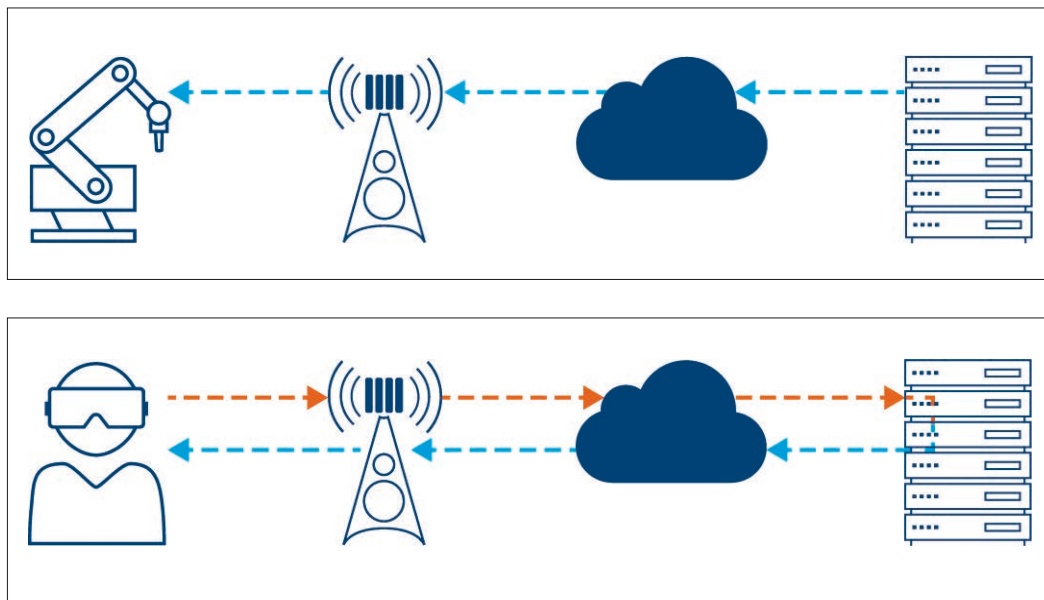


Bild 1: Die Einweg-Latenz ist die Signallaufzeit vom Sender zum Empfänger (oberes Bild), während die Umlauf-Latenz, Round-Trip- oder Antwortzeit die Verarbeitungsdauer durch den Empfänger und die Rücklaufzeit beinhaltet

Die 5G-Technologie wurde in 3GPP Release 15 standardisiert, das die Grundlage der aktuellen 5G-Netze bildet. Vom Release 16, das stark von der 5G Automotive Association (5GAA) und der 5G Alliance for Connected Industries and Automation (5G-ACIA) beeinflusst wird, sind weitere deutliche Verbesserungen bei der Latenzzeit, der Netzwerksynchronisierung und der Integration in industrielle Ethernet-Netzwerke zu erwarten. Damit entwickelt sich 5G zu einer geeigneten Technologie, um die Anforderungen intelligenter Fabriken (Industrie 4.0) zu erfüllen. Diese zeichnen sich durch eine datengetriebene Echtzeitsteuerung aller Prozesse aus sowie durch die Möglichkeit, Produktionslinien schnell und flexibel umzugestalten. Voraussetzung dafür ist eine so umfassende Vernetzung der Maschinen, Menschen, Anlagen, Logistik und Produkte, wie sie nur über Funk machbar ist. Schnelle Funkstrecken auf 5G-Basis werden deshalb das Adergeflecht bilden, das den komple-

xen Fabrikorganismus am Leben erhält. Da eine auch nur kurzzeitige Beeinträchtigung des Datenflusses gravierende Folgen – und Kosten – nach sich ziehen kann, ist das Funknetz mit großer Sorgfalt zu konzipieren, einzurichten und zu überwachen. Das geschieht in mehreren (Test-)Phasen, die nachfolgend erläutert werden.

Die wichtigsten KPIs in der mobilfunkvernetzten Fabrik

Eine intelligente Fabrik ist eine kritische Umgebung, die strenge Anforderungen an die Konnektivität und Zuverlässigkeit der Maschinen sowie an die Daten- und Mitarbeitersicherheit erfüllen muss, insbesondere wenn die Konnektivität durch Drahtlostechnologien bereitgestellt wird.

Ein probates Mittel zur Erhöhung der Zuverlässigkeit ist Redundanz. Jeder Standort in der funkvernetzten Fabrik sollte von mindestens vier drahtlosen Zugangspunkten aus versorgt werden können. Ob das gewährleistet ist, kann nur ein Test

vor Ort klären, und zwar nicht nur bei der Erstinstallation, sondern nach jeder Umgestaltung des Maschinen- oder Gebäude-Layouts, da bauliche Veränderungen sich auf die Ausbreitungsbedingungen der Funkwellen auswirken können.

Die zuverlässige drahtlose Erreichbarkeit jeder Stelle ist eine notwendige, aber noch keine hinreichende Voraussetzung für den reibungslosen Betrieb. Zusätzlich muss die Performance stimmen, die sich nicht nur nach dem erzielbaren Datendurchsatz bemisst, sondern – in vielen Fällen wichtiger – auch nach der Latenzzeit, also der Zeit, die ein Signal benötigt, um das System zu durchlaufen. Die Latenzen bisheriger Mobilfunktechnologien bis hin zu 4G waren nicht kurz genug, um den Anforderungen einer Echtzeitsteuerung zu genügen. Dieser Hinderungsgrund ist mit 5G entfallen, das Latenzen von wenigen Millisekunden ermöglicht.

Man unterscheidet zwischen Umlauf- (Round-Trip-) und Einweg-Latenz (Bild 1). Augmented- bzw. Virtual-Reality-Anwendungsfälle benötigen beispielsweise eine kurze Umlauf-Latenzzeit, denn wenn der Techniker mit AR/VR-Brille seinen Kopf bewegt, muss der Bildinhalt sehr schnell aktualisiert werden, um die eingeblendeten Daten mit dem Live-Bild konsistent zu halten. Die Echtzeit-Steuerung einer nicht autonomen Maschine erfordert hingegen eine niedrige Einweg-Latenzzeit. Die Steuerbefehle müssen hier unmittelbar zur Aktion führen, etwa der Haltebefehl an einen Roboter.

Die fünf Phasen des Netzwerktests

Wie die Fabrikplanung als Ganzes folgt auch die Implementierung eines Funknetzes einem Phasenmodell. Dieses beinhaltet einen fünfstufigen Testplan. Bild 2 zeigt die ersten vier Stufen, die verifizieren sollen, dass das Netz die strengen Zuverlässigkeits- und Performance-Anforderungen erfüllt.

Arnd Sibila
Rohde & Schwarz
GmbH & Co. KG

Lehrvideos und weitere
Informationen bietet eine
spezielle Smart-Factory-
Webseite:
www.rohde-schwarz.com/mnt/smart-factory

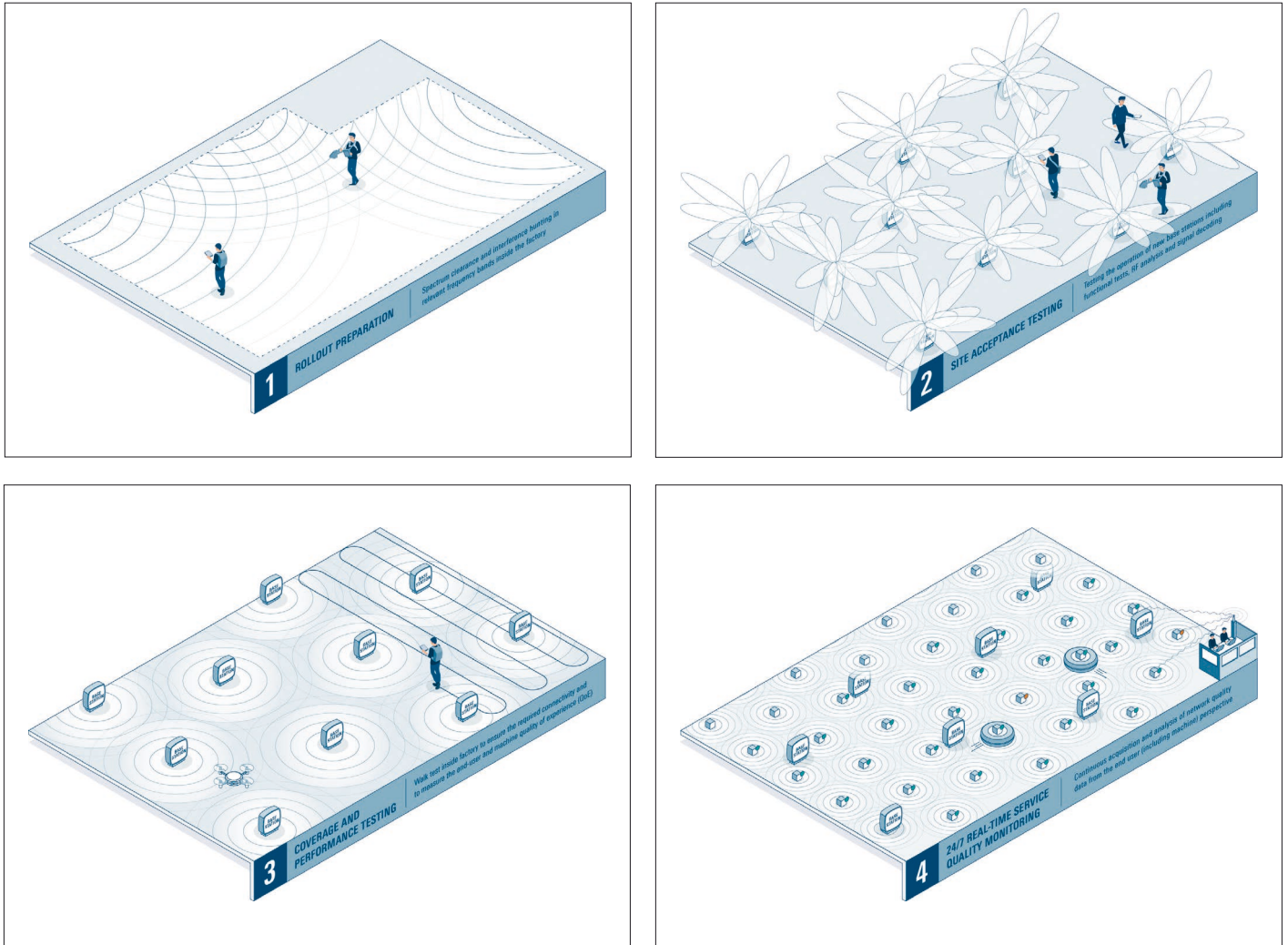


Bild 2: Netzwerkttestphasen 1 bis 4 von der Vorbereitung bis zur 24/7-Überwachung der Dienstqualität im Regelbetrieb

In manchen Ländern, so in Deutschland, sind 5G-Frequenzen für Campus- bzw. private Netze reserviert, deren Nutzung von Fabrikbetreibern beantragt werden kann. Auch die Errichtung und der Betrieb des Netzes sind dann privat zu organisieren, werden in der Regel aber an Dienstleister ausgelagert. In Ländern ohne dedizierte Campus-Frequenzen führt der Weg zur Fabrikvernetzung über die Buchung von Ressourcen bei einem der großen Netzbetreiber, der sein Basisstationsnetz um die Fabrik herum verdichten oder zusätzliche Basisstationen in der Fabrik installieren wird, um den Anforderungen gerecht zu werden.

Phase 1: Vorbereitung der Einführung

Soll das Netz auf Basis eines Campus-Frequenzbands aufgebaut werden, ist zunächst festzu-

stellen, ob das Spektrum frei von Interferenzen ist. Die Erfahrung zeigt, dass das für neu zugewiesenes, bisher unbewirtschaftetes Spektrum nicht vorausgesetzt werden kann. Bei den fälligen Messungen kommen Netzwerkschanner (R&S TSMx6), Handheld-Spektumanalysatoren (R&S FPH/FSH) oder tragbare Funkmessempfänger (R&S MNT100, R&S PR200) zum Einsatz.

Phase 2: Abnahmeprüfung vor Ort

In der zweiten Phase wird der Betrieb der neu aufgestellten Basisstationen getestet und validiert. Das umfasst einfache Funktionstests wie Download/Upload-Tests und Umlauf-Latenz-Messungen, ferner HF-Spektumanalysen over the air (OTA) sowie die Decodierung der Signale zur Verifizierung von PCI-, SSB- und

SIB-Informationen für 5G- und LTE-Ankersignale.

Die Signaldecodierung hilft außerdem bei der Fehlersuche bei bestimmten Parametern im Falle von Problemen oder unerwarteten Ergebnissen.

Auch für diesen Aufgabenkreis hält das Rohde&Schwarz-Produktportfolio die passenden Messgeräte bereit. Für die Funktionstests (DL, UL, Ping/TWAMP) bietet sich QualiPoc Android an, eine Smartphone-basierte Messsoftware, die die Mobilfunkversorgung aus der Nutzerperspektive bewertet. Für OTA-Spektrummessungen empfiehlt sich der Handheld-Spektumanalysator R&S FPH (SpectrumRider), während die 5G Site Testing Solution R&S 5G STS ein umfassendes mobilfunktechnisches Lagebild liefert, mit dem etwaige Schwachstellen und Problemfelder schnell aufgedeckt werden können.

Phase 3: Abdeckungs- und Leistungstest

Jetzt folgt die Probe aufs Exempel. Es gilt sicherzustellen, dass das Netz im gesamten Werkbereich die geforderten Leistungsdaten erbringt.

Mit Netzwerk-Scannern (R&S TSMx6) misst man flächendeckend über das ganze Fabrikareal, wie viele verschiedene Netzwerk-Zugangspunkte mit gutem Empfangssignalpegel (RSRP) und guter Qualität (SINR) an jedem Ort empfangen werden können. Wie oben schon erwähnt, ist eine mindestens vierfache Redundanz wünschenswert.

QualiPoc Android kann die Echtzeitfähigkeit der Verbindung testen, indem es das emulierte Verkehrsverhalten, die Latenzmessung und die Übertragungsqualität in einem einzigen Interaktivitätstest kombiniert (s. Kasten).

Exkurs: Ein neues Verfahren zur Messung der Netzwerk-Performance

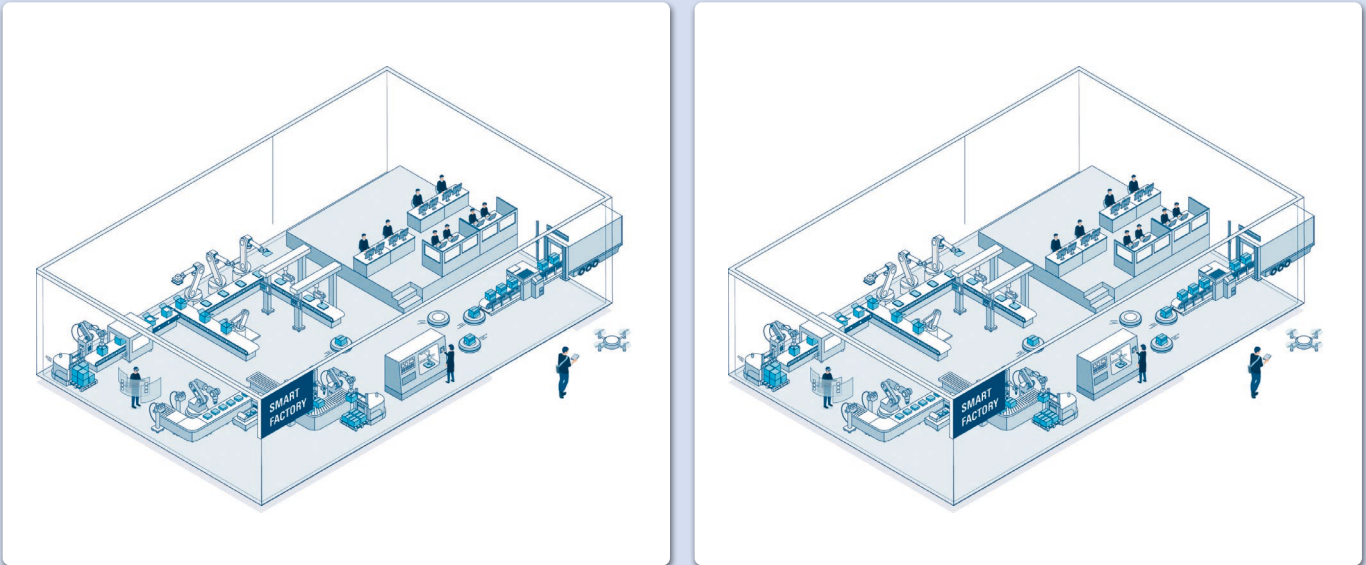


Bild 1: Mit dem auf TWAMP basierenden Interaktivitäts-Test (Two Way Active Measurement Protocol) kann man nicht nur die Laufzeit (Latenz) zwischen zwei IP-Knoten präzise ermitteln, sondern auch andere Performance-KPIs wie Paketverluste

Die Sicherstellung einer flächendeckend hohen Netzwerk-Performance ist für Fabrikfunknetze essenziell. Latenz und Datendurchsatz müssen an allen Stellen des Abdeckungsbereichs die Mindestanforderungen erfüllen. Ein neues in der Smartphone-basierten QualiPoc-Android-Software implementiertes Verfahren macht entsprechende Messungen einfach und verlässlich.

Latenzzeiten werden traditionell über Ping-Echos gemessen. Ping ist ein Bestandteil des Internet Control Message Protocol (ICMP), das zum Austausch von Diagnose- und Fehlermeldungen

in Rechnernetzen dient. Ping hat aber inhärente Nachteile, wenn es um die Genauigkeit geht, was sich insbesondere bei den niedrigen Latenzen auswirkt, wie sie für ein 5G-Fabriknetz gefordert sind. Für präzise Messungen ist es ungeeignet.

Ein besseres Verfahren basiert auf dem Protokoll TWAMP (Two Way Active Measurement Protocol), das von der Internet Engineering Task Force spezifiziert wurde, um die Ende-zu-Ende-Performance zwischen zwei Knoten eines IP-Netzwerks zu messen. Was TWAMP in einer Messapplikation leistet, hängt stark

von seiner Implementierung ab. Die Rohde&Schwarz-Lösung als Bestandteil der QualiPoc-Android-Mess-Software bildet aus mehreren Metriken einen aussagefähigen Gesamt-Score. Das Verfahren ist in dieser Form neu und wurde zur Standardisierung vorgeschlagen.

Das QualiPoc-Smartphone sendet über das UDP-Transportprotokoll einen Strom von applikationsspezifischen Datenpaketen, die ein realistisches Verkehrsprofil emulieren, an einen TWAMP-fähigen Server (TWAMP-Reflektor), der ihn umgehend zurückschickt (Bild 1).

Aus den reflektierten Daten ermittelt die QualiPoc-Software die

Umlauf-Latenz, deren Variationsspanne (minimaler und maximaler Messwert) sowie die Paketfehler-rate und verknüpft diese drei KPIs zu einem Interaktivitäts-Score. Dieser repräsentiert ein skalierbares QoE-Modell, das auf verschiedene Anwendungsklassen zugeschnitten werden kann. Bild 2 zeigt den Score-Verlauf für beispielhafte Anwendungsfälle.

Die Software ist also nicht nur für Versorgungsmessungen in der Fläche interessant, sondern für jede Echtzeitanwendung über Funk. Passende Profile werden zusammen mit der einschlägigen Industrie erarbeitet.

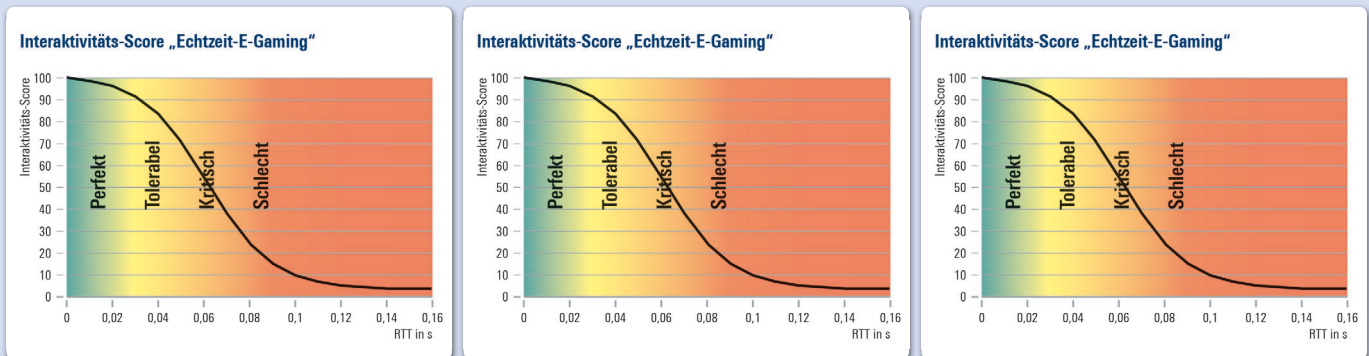


Bild 2: Interaktivitäts-Score für verschiedene Anwendungsklassen. Die S-förmige Kurve über der Latenzzeit durchläuft ein Band von Qualitätszonen, deren Lage und Breite von Anwendung zu Anwendung variiert

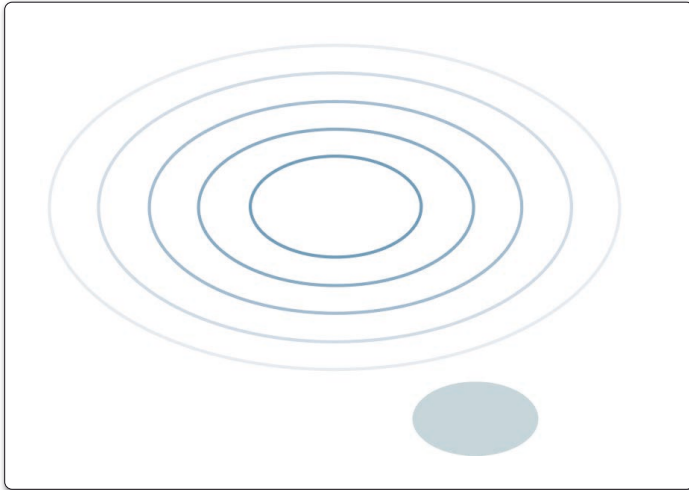


Bild 3: Die Umgebung des funkvernetzten Werks muss periodisch auf Störaussendungen hin untersucht werden, die unter Umständen von der eigenen Installation ausgehen

Mit der Echtzeit-Optimierungssoftware R&S SmartONE lassen sich die Messergebnisse unmittelbar visualisieren und Problembereiche gezielt verbessern.

Phase 4: Überwachung der Dienstqualität

Die Messungen der Phase 4 sind in Fabriken notwendig, in denen das Funknetz eine kritische Infra-

struktur darstellt, deren Dysfunktion einen hohen Verlust an Rentabilität und Produktivität bedeuten würde. Der Fabrikeigner wird deshalb ein eng tolariertes Service Level Agreement (SLA) mit seinem Netzbetreiber abschließen – und kontrollieren wollen, ob es auch eingehalten wird. Zu diesem Zweck verteilt man speziell zugeschnittene HF-Sonden

überall in der Fabrik und in den AGVs (Automated Guided Vehicles) und AMRs (Automatic Mobile Robots). Sie messen regelmäßig die Verbindungsqualität inklusive der Latenzzeit an jeder Position und melden die Ergebnisse an die Überwachungszentrale, wo sie auf einem Echtzeit-Dashboard visualisiert werden. Eine tiefer gehende Offline-Datenanalyse bieten Tools wie SmartAnalytics. Die Software identifiziert Trends und Anomalien mit Methoden des maschinellen Lernens und weist rechtzeitig auf Fehlentwicklungen hin, sodass präventiv Verbesserungsmaßnahmen ergriffen werden können, bevor der Fehlerfall tatsächlich eintritt.

Phase 5: Überprüfung der vorgeschriebenen Verträglichkeit mit der Außenwelt

Mit eingeschwungener Phase 4 ist der Aufbauprozess abgeschlossen und das Netz operativ. Als Letztes bleibt sicherzustellen, dass es die Lizenzbedingungen für private Netzwerke einhält, die insbesondere fordern, dass Lecksignale außerhalb

des vorgesehenen Abdeckungsreichs unter den festgelegten Limits bleiben. Schließlich sollen potenzielle Nachbarn, die das gleiche oder ein benachbartes Frequenzband nutzen, nicht gestört werden. Den Nachweis hat der Fabrikeigner zu führen, der sich zu diesem Zweck einer Walk-Test-Lösung wie dem R&S Freerider 4 oder einem an einer Drohne montierten Netzwerk-Scanner bedient (Bild 3).

Fazit

Die Umwandlung heutiger Fabriken in intelligente Fabriken wird in einigen Branchen schon bald zu einer kommerziellen Notwendigkeit. Traditionell organisierte Betriebe werden mit den Flexibilitäts- und Kostenvorteilen der neuen Fabrikgeneration nur noch schwer konkurrieren können. Einer ihrer Merkmale ist die vollständige Vernetzung der Betriebsmittel über latenzarmen (5G-)Funk. Errichtung und Betrieb dieser Netze sind mit der passenden messtechnischen Begleitung kein Hexenwerk. Netzbetreiber finden im Rohde&Schwarz-Portfolio alle dafür notwendigen Produkte. ◀



Digitale Oszilloskope
Der Weg zum professionellen Messen

Joachim Müller
Format 21 x 28 cm, Broschur, 388
Seiten, ISBN 978-3-88976-168-2
beam-Verlag 2017, Preis 24,95 Euro

Aus dem Inhalt:

- Verbindung zum Messobjekt über passive und aktive Messköpfe
- Das Vertikalsystem – Frontend und Analog-Digital-Converter
- Das Horizontalsystem – Sampling und Akquisition
- Trigger-System
- Frequenzanalyse-Funktion – FFT
- Praxis-Demonstrationen: Untersuchung von Taktsignalen, Demonstration Aliasing, Einfluss der Tastkopfmimpedanz

- Einstellungen der Dezimation, Rekonstruktion, Interpolation
- Die „Sünden“ beim Masseanschluss
- EMV-Messung an einem Schaltnetzteil
- Messung der Kanalleistung

Weitere Themen für die praktischen Anwendungs-Demos sind u.a.: Abgleich passiver Tastköpfe, Demonstration der Blindzeit, Demonstration FFT, Ratgeber Spektrumdarstellung, Dezimation, Interpolation, Samplerate, Ratgeber: Gekonnt triggern.

Im Anhang des Werks findet sich eine umfassende Zusammenstellung der verwendeten Formeln und Diagramme.