

## Liebe ITG-Mitglieder,

in einer Zeit, der es mit Coronavirus, wieder aufflammender Flüchtlingskrise und Klimadebatte an Aufregern nicht mangelt, fand Ende Februar in Berlin der VDE Tec Summit 2020 statt. Das Virus war zwar allgegenwärtiges Thema, der Teilnahme hat es aber nicht geschadet. Das Event war wieder eindrucksvoll und hat alle begeistert. Beherrschendes Thema war das Commitment zur Unterstützung klimapolitischer Ziele sowie zum verantwortungsvollen Umgang mit Technologie. „Technologie für Mensch und Umwelt“ war das Leitmotiv vieler Vorträge.

Auch die ITG war auf dem VDE Tec Summit aktiv mit dabei. Auf der ITG-Mitgliederversammlung konnte ich über die sehr erfreuliche Bilanz unserer Aktivitäten mit zahlreichen gut besuchten Konferenzen, aktiven Fachgremien, Preisen für besondere Verdienste und wichtigen Positionspapieren berichten. Unser neuestes Positionspapier zur Technologischen Souveränität

wurde im Rahmen einer eigenen Session vorgestellt und fand dabei so großes Interesse, dass wir beschlossen haben, dieses Thema fortzuführen. Auch die mit der ETG zusammen durchgeführten Untersuchungen zur wechselseitigen Abhängigkeit und Sicherheit unserer Energie- und Informationsnetze führte zu lebhaften Diskussionen.

Über die Bedeutung von 5G für die digitale Transformation in Industrie und Gesellschaft wurde hier schon oft gesprochen. Auch diese ITG-news berichten wieder von zwei Aktivitäten unserer Mitglieder zu diesem Thema. Während der Workshop „5G for Verticals – Challenges and Solutions“ unseres Fachausschusses KT2 direkt mehrere Anwendungsfälle diskutiert hat – unter anderem den weltweit ersten über 5G teleoperierten Zugbetrieb –, werden in dem Beitrag zur Ende-zu-Ende-Dienstgüte in industriellen Netzen besonders 5G-Anwendungs-

Der VDE TecSummit war wieder eindrucksvoll und hat alle begeistert.



szenarien – insbesondere TSN-basierte – in der Produktion betrachtet.

Viel Spaß beim Lesen der ITG-news, Ihr

**PROF. DR.-ING. HANS D. SCHOTTEN**  
ITG-Vorsitzender

## ITG-POSITIONSPAPIER

# Technologische Souveränität: Systematisierung und Handlungsempfehlungen

Die Vorstellung des Positionspapiers „Technologische Souveränität“ stieß bei seiner Vorstellung auf dem Tec Summit 2020 auf reges Interesse. Die Übertragung des Begriffs „Souveränität“, worunter sowohl die Befähigung als auch die Möglichkeit zu eigenständigem und unabhängigem Handeln verstanden wird, auf wirtschaftspolitisches Handeln erfordert ein genaues Verständnis der mit der Anwendung von Technologien verbundenen Anforderungen an eine Souveränität.

Die Teilnehmer zeigten sich sehr interessiert an der vorgestellten Methodik, die Anforderungen entlang der Wertschöpfungskette und aufgeschlüsselt für verschiedene Technologiefelder systematisch zu erfassen und bewertbar zu machen. Die ITG wird das Interesse anderer Verbände, Branchen und Länder aufgreifen und ist zuversichtlich, das Positionspapier entsprechend weiterentwickeln zu können.

// [www.vde.com/de/itg/publikationen](http://www.vde.com/de/itg/publikationen)

## Inhalt

Meldungen	02
Thema	
5G & Industrie 4.0	03
Termine	08

## ITG-FA KT 2 „KOMMUNIKATIONSNETZE UND -SYSTEME“

## Neue Fachausschussleitung und Workshop „5G for Verticals – Challenges and Solutions“

Der ITG-Fachausschuss KT 2 traf sich am 26. 9. 2019 bei Vodafone in Düsseldorf zu einem Workshop „5G for Verticals – Challenges and Solutions“ sowie zur turnusgemäßen Fachausschusssitzung.

Den Workshop eröffnete Kerstin Larsson-Knetsch, Bereichsleiterin Customer Solutions and Projects bei Vodafone Business Germany. Sie stellte die Aktivitäten von Vodafone Deutschland im Umfeld von 5G mit Schwerpunkt Business Pilots vor. Erste 5G-Piloten von Vodafone sind eine Fabrikhalle bei dem Aachener Elektroautohersteller e.GO, ein 5G Fixed Wireless Access Pilot auf Usedom sowie 5G bei der Erzgebirgsbahn.

Joachim Sachs, R&D Ericsson Stockholm, gab einen Überblick über das kommende 3GPP 5G Release 16, welches weitere Features in 5G vor allem für die industrielle Kommunikation enthalten wird.

Peter Schneider, Nokia Bell Labs, beleuchtete ein sehr wichtiges Thema, die Sicherheit bei 5G, und ging auf Fragestellungen ein, was im Vergleich zu früheren Generationen verbessert wurde, was beim Network Slicing zu beachten ist.

Christian Wietfeld, TU Dortmund, stellte das in NRW aufgebaute Kompetenzzentrum für 5G vor, welches die Einführung und Validierung von 5G speziell im industriellen Umfeld zum Ziel hat. Eine Kernkomponente des Kompetenzzentrums ist ein mobiles 5G-Labor, welches es ermöglicht, unter Einsatz von SDN/SDR-Technik ein Ad-hoc-5G-Campus-Netz für die Realisierung von 5G Use Cases zu ermöglichen.

Ingo Willimowski, Vodafone Innovation Park, stellte die Hintergründe und die technische Lösung für den weltweit ersten über 5G teleoperierten Zug vor, der zusammen mit dem Smart Rail Connectivity Campus, Thales und der DLR an der Teststrecke der Erzgebirgsbahn von Anaberg-Buchholz nach Schwarzenberg entwickelt worden ist und am 17.9.2019 im Bahnhof Schlettau auf die ferngesteuerte Reise geschickt wurde.

Der Workshop wurde vor Ort von ca. 60 Teilnehmern besucht, die parallel stattfindende Videoübertragung per Vodafone Tube nutzten ca. 140 Teilnehmer.

Auf der sich anschließenden Sitzung des FA wurde Prof. Andreas Timm-Giel, TU Hamburg-Harburg, einstimmig als neuer Vorsitzender gewählt; er übt dieses Amt zusammen mit Dr. Joachim Sachs, Ericsson, aus, der gleichfalls einstimmig im Amt bestätigt wurde. Die Anwesenden dankten Prof. Christian Wietfeld, TU Dortmund, für die langjährige engagierte Tätigkeit als Vorsitzender des FA.

Der FA trifft in Zukunft seine Struktur, die Fachgruppen werden in



Foto: Christian Wietfeld

Impression vom Besuch des Vodafone Innovation Park Labs

den FA-überführt, da sich in der Vergangenheit immer stärker überlappende Tätigkeitsbereiche ergaben und so eine bessere Bündelung der Aktivitäten erreicht wird.

Nach der FA Sitzung besuchten die vor Ort Anwesenden die Vodafone Innovation Park Labs: das 5G Lab und das IoT Future Lab. Britta Rudolphi, Abteilungsleiterin Technology Innovation, und Ingo Willimowski, Executive Customer Lab Manager, stellten 5G-Technologien an anschaulichen Beispielen für Beam-Forming-Antennen, Network Slicing und latenzoptimierter Übertragung vor und gaben einen Einblick in die Messkammern und das Rechenzentrum der Labs. Tejaswi Katam, Managerin Innovation Garage in den Labs, erläuterte die Möglichkeiten, die Vodafone den Bildungseinrichtungen bei Praktika sowie Bachelor- und Masterarbeiten bietet.



Foto: Ingo Willimowski

Neue und alte Fachausschussleitung (v.l.): Prof. Dr.-Ing. Andreas Timm-Giel, Dr.-Ing. Joachim Sachs, Prof. Dr.-Ing. Christian Wietfeld

**DR.-ING. JOACHIM SACHS**  
**PROF. DR.-ING. ANDREAS TIMM-GIEL**

Leitung des ITG-Fachausschusses KT 2  
„Kommunikationsnetze und -systeme“



Bilder: stock.adobe.com\_wladimir1804

## 5G & INDUSTRIE 4.0

# Ende-zu-Ende-Dienstgüte in industriellen Netzen

*Einer der kritischen Wegbereiter für Industrie 4.0 ist die skalierbare und überall verfügbare Konnektivität zwischen Maschinen und Nutzern. 5G spielt hierbei eine Schlüsselrolle, um drahtgebundene Kommunikation teilweise zu ersetzen oder existierende drahtgebundene Netze zu erweitern. Mit Release 16 hat die 3GPP nun wesentliche Technologien eingeführt, um hochzuverlässige niedriglatente Kommunikation (URLLC) zu ermöglichen.*

### Einführung

Um neue Anwendungen im industriellen Umfeld mithilfe von 5G zu ermöglichen, benötigt es eine Ende-zu-Ende-Integration der Dienste sowie die Garantie ihrer Güte. Dies ist notwendig, um die richtige Dienstgüteanforderung (QoS; Quality of Service) für jeden Dienst auch innerhalb des Mobilfunknetzes zu wählen. Andern-

falls würden entweder wertvolle Frequenzressourcen verschwendet oder nicht angemessene Dienstgüten angeboten. Ende-zu-Ende-Garantien der Dienstgüte werden auch dadurch erschwert, dass es eine Vielzahl von industriellen Kommunikationsprotokollen gibt, mit denen eine mobile Anbindung integriert werden müsste. Da eine separate Standardisierung jeder dieser Integrationsmöglichkeiten

nicht praktikabel ist, konzentriert sich dieser kurze Artikel auf eine Integration mit Ethernet (IEEE 802.3) und im Speziellen mit IEEE 802.1Q sowie IEEE Time Sensitive Networking (TSN) – eine Technologie, welche Ethernet mit Echtzeitfähigkeit erweitert.

Im Folgenden gehen wir kurz auf QoS-Verfahren in Profinet sowie IEEE TSN ein, bevor wir das QoS-Konzept



vorstellen, welches in 3GPP Release 16 standardisiert wurde und die Garantie von harten Echtzeitanforderungen ermöglicht. Anschließend erläutern wir Dienstgüteeanforderungen an teilweise virtualisierte Anwendungen und abschließend diskutieren wir die Herausforderungen einer Ende-zu-Ende-Dienstgüteeanforderung über Domänengrenzen hinweg.

## QoS in drahtgebundenen industriellen Netzen

Die Quality of Service (QoS) beschreibt die Qualität der bereitgestellten Dienste in einem Kommunikationsnetz. Er wird üblicherweise durch mehrere charakteristische Größen, wie Durchsatz, Bitfehlerrate, Verfügbarkeit oder Latenz, beschrieben. Der einfachste Fall von QoS ist ein „Best Effort“-Modell, bei dem jeder Dienst gleich behandelt wird, keine Garantien ausgesprochen werden und somit keine verkehrsspezifische Behandlung erfolgt.

Eines der am weitesten verbreiteten industriellen Kommunikationsprotokolle ist Profinet, welches auf IEEE 802.3 Ethernet basiert. Profinet unterscheidet drei Kommunikationsklassen: nichtkritischer Verkehr (Best Effort), echtzeitkritischer Verkehr (RT) und isochroner Echtzeitverkehr (IRT). Die Kommunikation ist in Zyklen organisiert, welche in IRT-Intervalle und offene Intervalle aufgeteilt sind. Um die harten Dienstgüteeanforderungen für IRT umzusetzen, unterliegt die Übertragung des IRT-Intervalls einem exakten Schedule, welcher anhand der Netzwerktopologie, der Netzwerktechnologie und der Geräteeigenschaften durch ein Planungstool errechnet wird. Dieser Schedule wird anschließend an alle Profinetgeräte einschließlich Netzwerkgeräte verteilt, sodass jedes der üblicherweise als 2-Port-Bridge agierenden Geräte die Weiterleitung der IRT-Datenpakete und das Abgreifen und Einfügen der eigenen IRT-Prozessdaten kontrollieren kann. Damit ermöglicht IRT eine äquidistante, das heißt Jitter-minimierte Übertragung.

Echtzeitverkehr (RT) wird durch eine Verkehrsklassifikation auf der Basis des VLAN Priority Code Points (PCP) umgesetzt. Diese Klassifikation

ermöglicht eine Priorisierung von Verkehr, um zum Beispiel zu vermeiden, dass Best-Effort-Verkehr kritischen niedriglatenten Verkehr behindert. Durch Planung der zu erwartenden Verkehrsflüsse, Paketgrößen und Netzwerktopologie ist es dann möglich, Garantien für maximale Latenzen auszusprechen.

Neben Profinet existieren weitere industrielle Kommunikationsprotokolle, welche teilweise auf Ethernet aufbauen und proprietär sind, wodurch eine sehr heterogene Protokolllandschaft entstanden ist. Mit IEEE Ethernet TSN wird aktuell eine Konvergenztechnologie standardisiert, die für eine breite Anwendungspalette, heterogene Einsatzszenarien und sehr unterschiedliche Anforderungen geeignet ist. Zu diesem Zweck definiert IEEE TSN Funktionen für die Zeitsynchronisation, Ressourcenreservierung, verschiedenartige Weiterleitungs- und Warteschlangenmechanismen und für die Zuverlässigkeit. IEEE TSN erweitert IEEE 802.1 und im Wesentlichen IEEE 802.1Q (neben weiteren elementaren Bestandteilen). IEEE TSN kann in drei Konfigurationsmodelle unterteilt werden – das zentrale Konfigurationsmodell, das verteilte Konfigurationsmodell sowie ein hybrides Konfigurationsmodell. Das zentrale Konfigurationsmodell erlaubt die genaue Zuteilung von Ressourcen zu einzelnen Kommunikationsströmen, um auch anspruchsvollen IRT-Anforderungen zu genügen. Das verteilte Konfigurationsmodell nutzt hingegen verschiedene Reservierungsprotokolle und ermöglicht so die dynamische Reservierung von Netzwerkressourcen und die Garantie von RT-Anforderungen.

Die wesentlichen QoS-Parameter in einem TSN-Netzwerk sind zum einen die Latenz auf den einzelnen Ethernetlinks, zum anderen die Latenz, welche beim Weiterleiten von Paketen in einer Bridge entsteht. Im verteilten Konfigurationsmodus können zudem noch Bandbreitengarantien pro Verkehrsklasse betrachtet werden (Credit-based Shaping).

## QoS in Mobilfunksystemen

Die grundsätzlichen Elemente der QoS-Architektur im 3GPP-5G-System

(5GS) sind in Bild 1 dargestellt und verteilen sich auf das Endgerät (User Equipment, UE), den Funkzugang (Radio Access Network, RAN) und das Kernnetz (Core Network, CN). Die Ende-zu-Ende-Kommunikation erfolgt über eine PDU Session, welche zwischen UE und User Plane Function (UPF) aufgebaut wird. Innerhalb einer PDU Session werden ein oder mehrere QoS Flows aufgebaut; jeder dieser QoS Flows wird eindeutig einer ID sowie mithilfe eines 5G QoS Identifier (5QI) einem QoS-Profil zugeordnet. Ein QoS-Profil kann entweder standardisiert und damit vordefiniert sein oder es kann dynamisch definiert werden.

Teil des QoS-Profiles sind unter anderem die Regelung der Priorität zur Zulassungskontrolle (Allocation and Retention Priority, ARP), die Ende-zu-Ende-Latenz innerhalb des 5G-Systems (Packet Delay Budget, PDB), die Paketfehlerrate (Packet Error Rate, PER), die maximale Anzahl Bytes eines Paketbündels (Maximum Data Burst Volume, MDBV), Zusatzinformationen zur Steuerung von zeitsensitiver Kommunikation (Time Sensitive Communication Assistance Information, TSCAI) sowie die Priorität. Die TSCAI beinhaltet zusätzliche Informationen zur erwarteten Ankunft von Paketen und kann gemeinsam mit dem MDBV dazu verwendet werden, Ressourcen für periodische zeitkritische Prozesse zu reservieren. Ähnlich der Priorisierung in IEEE 802.1Q kann zudem die Priorität eines 5QI genutzt werden, um Pakete innerhalb einer PDU Session zu priorisieren. Informationen zu den QoS-Profilen werden in der Policy Control Function (PCF) gespeichert und durch die Session Management Function (SMF) angewandt, das heißt auf der Basis einer Verbindungsanfrage eines UE und der Informationen in der PCF wählt die SMF den passenden 5QI aus, um das 5G-System entsprechend zu konfigurieren.

Nachdem eine PDU Session und die dazugehörigen QoS Flows aufgebaut wurden, werden die entsprechenden QoS-Regeln durch das UE angewandt, um eingehenden Verkehr dem jeweiligen QoS Flow zuzuordnen. Diese QoS-Regeln können entweder vorkonfiguriert oder dynamisch

zugewiesen werden. Basierend auf den Regeln der Radio Ressource Control (RRC) werden schlussendlich die einzelnen QoS Flows auf Radio Bearer im Funkzugangsnetz abgebildet. Hierzu gehört auch die Ableitung der entsprechenden QoS-Regeln und Parameter im Funkzugang, basierend auf den Informationen im QoS-Profil. Ressourcen im Funkzugang (PHY Layer) können entweder dynamisch auf Anfrage des UE zugeordnet werden oder sie werden statisch reserviert (UL Configured Grants), um minimale Latenzen zu ermöglichen. Auf diese Weise können durch ein 5G-Funknetz garantierte Latenzen deutlich unter 1 ms bei hoher Zuverlässigkeit erreicht werden.

Nach Empfang der Daten an einer Basisstation (gNB) werden Datenpakete auf Tunnel abgebildet, welche zum Datenaustausch zwischen Basisstation und UPF genutzt werden. Um die entsprechenden Ende-zu-Ende-QoS zu garantieren, kann unter anderem die DiffServ-Markierung genutzt werden oder die Verbindung zwischen UPF und gNB wird möglichst kurz gehalten. Abschließend ist die UPF dafür verantwortlich, die Ende-zu-Ende-QoS zu überwachen und entsprechend Prioritäten im angeschlossenen Datennetzwerk durchzusetzen.

## QoS der IT-Plattformen

Aktuelle Steuerungssysteme, vor allem wenn sie zeitkritische Anwendungen ausführen, werden auf spezifischen

Steuerungsrechnern ausgeführt, welche über dedizierte Ressourcen für die jeweilige Anwendung verfügen. Abhängig von den Ende-zu-Ende-Dienstgüteeanforderungen werden dann die Anwendungen isochron zum Netzwerk oder losgelöst von der Taktung des Netzwerks ausgeführt. Zudem unterliegen die Anwendungen selbst auch Echtzeitanforderungen, um die geforderten Ausgangsparameter zu berechnen und dem Netzwerk zu übergeben.

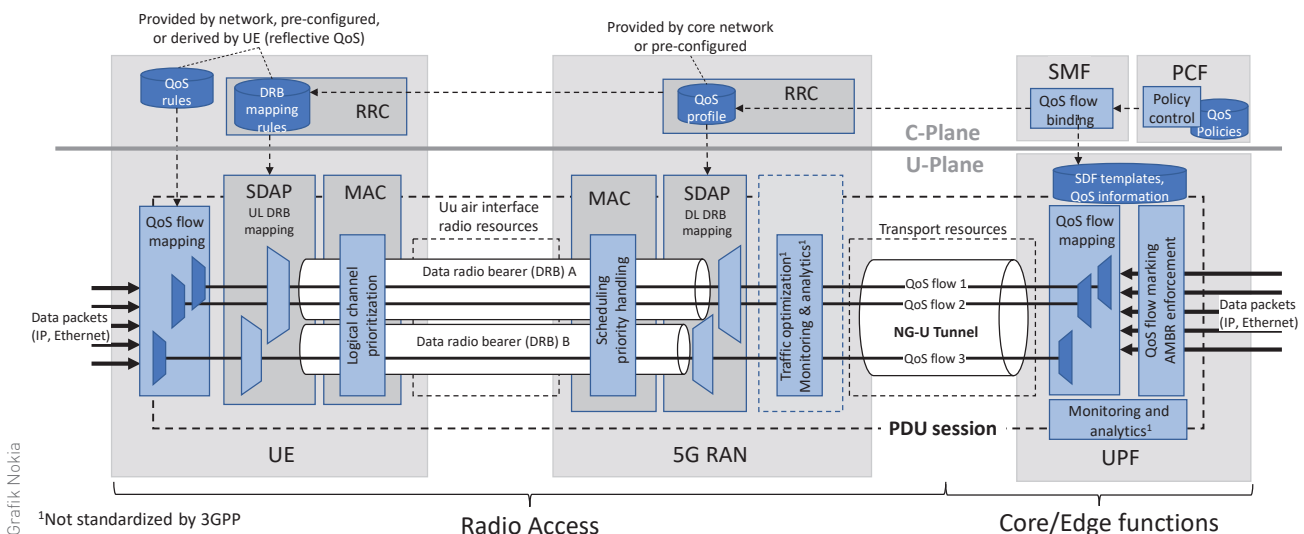
In vielen IT-Systemen hingegen wird mittlerweile ein Großteil der Anwendungen auf virtualisierten Rechenplattformen ausgeführt, das heißt entweder in virtuellen Maschinen (VM) oder isolierten Umgebungen wie Containern. In beiden Fällen können Ressourcen flexibel zugeordnet und damit auch effizienter genutzt werden. Das Ziel ist, dass unterschiedliche Anwendungen sich Ressourcen, wie CPU und Speicher, teilen, um so Synergieeffekte zu erzielen. Zudem kann ein Großteil der Anwendungslogik zentral anstatt auf den einzelnen Geräten ausgeführt werden.

Containerbasierte Virtualisierung ist ein Betriebssystemmerkmal, welches erlaubt, mehrere parallele, isolierte User-Space-Instanzen zu betreiben. Die wahrscheinlich bekanntesten Implementierungen sind Docker und Kubernetes. Im Gegensatz dazu abstrahiert eine virtuelle Maschine einen vollständigen Rechner einschließlich der Hardware und eine VM beinhaltet eine vollständige Kopie des

Betriebssystems, wodurch VM mehr Datenspeicher und eine höhere Initialisierungszeit benötigen.

Einzelne Dockerinstanzen erscheinen als eigenständige Betriebssysteminstanzen gegenüber der Anwendung; teilen sich aber die vorhandenen Rechenressourcen. Dies ist von besonderer Bedeutung für echtzeitkritische Anwendungen, da es zu Seiteneffekten bei der Ressourcennutzung kommen kann und somit unter Umständen keine Garantien bezüglich der Rechenzeiten gegeben werden können. Es gibt jedoch spezialisierte RTOS und IoT-Images für Docker, welche in der Lage sind, Echtzeitanforderungen zu erfüllen.

Zeitkritische Anwendungen unterliegen ähnlichen Dienstgüteeanforderungen wie zeitkritische Kommunikation, zum Beispiel die garantierte Zeit, in der die Anwendung die erforderlichen Ausgangsdaten errechnet hat, die Verfügbarkeit der Anwendung sowie die Robustheit gegenüber Kommunikationsfehlern. Ein wesentlicher Vorteil von zentralisierten und teilweise virtualisierten Anwendungen ist die Möglichkeit, bei einem Ausfall der Anwendung auf andere Rechenressourcen auszuweichen, das heißt zu migrieren. Dadurch kann die Verfügbarkeit der Anwendung erheblich erhöht werden. Im Fall von zeitkritischen Anwendungen muss jedoch die Migration einer Anwendung hinreichend schnell erfolgen, um den Steuerungsprozess nicht zu beeinflussen. Mit aktuellen Technologien sind die



<sup>1</sup>Not standardized by 3GPP

Bild 1: Die 3GPP-5G-QoS-Architektur

	Parameter	Mobile Robots	Motion Control	Remote Control	Plant Asset Management (monitoring)
<b>Kommunikationsanforderungen</b>	E2E-Latenz	< Transfer-Intervall	< 50% Transfer-Intervall	< Transfer-Intervall	< Transfer-Intervall
	Transfer-Intervall	1 ms ... 50 ms	0,5 ms ... 2 ms	10 ms ... 100 ms	100 ms ... 60 s
	Synchronisation	<< 10 ms	0,25 µs ... 5 µs	—	—
	Anzahl Geräte	100	20 ... 100	100	1 000 ... 100 000
	Nachrichtengröße	40 ... 250 Byte	20 ... 50 Byte	15 ... 250 kByte	20 ... 255 Byte
	Verfügbarkeit	>10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup> ... 10 <sup>-9</sup>	>10 <sup>-6</sup>	~10 <sup>-4</sup>
	Max. Ausfallzeit	< Transfer-Intervall	< Transfer-Intervall	< Transfer-Intervall	≥3 × Transfer-Intervall
<b>Verarbeitungsanforderungen</b>	Ausfallzeit	< Transfer-Intervall	< Transfer-Intervall	< Transfer-Intervall	< 3 × Transfer-Intervall
	Verfügbarkeit	<< 10 <sup>-6</sup>	<< 10 <sup>-5</sup> ... 10 <sup>-9</sup>	<< 10 <sup>-6</sup>	<< 10 <sup>-4</sup>
	Verarbeitungszeit	<< 1 ms ... 50 ms	<< 1 ms ... 50 ms	<< 1 ms ... 50 ms	<< 100 ms ... 60 s

Tabelle 1: Beispielhafte Kommunikationsanforderungen

notwendigen Migrationszeiten von wenigen Millisekunden noch nicht umsetzbar.

Ein weiterer Vorteil von teilweise virtualisierten Anwendungen ist die Möglichkeit, diese an unterschiedlichen Stellen im Netzwerk auszuführen. So ist es zum Beispiel sinnvoll, eine sehr zeitkritische Anwendung nahe der Basisstation auszuführen, während weniger zeitkritische Anwendungen zentraler ausgeführt werden können. Zudem ermöglicht dies, zentrale Ressourcen als Backup zu nutzen.

### Ende-zu-Ende-QoS

Neben der drahtgebundenen und mobilen Kommunikation muss zur Beurteilung der Ende-zu-Ende-Anforderungen auch die Dienstgüte der Anwendungen betrachtet werden. Im Fall, dass teilweise virtualisierte IT-Plattformen genutzt werden, müssen die Anforderungen an diese entsprechend der Ende-zu-Ende-Anforderungen sowie der Dienstgüte der Kommunikation gewählt werden. Es ist letztlich wenig zielführend, wenn IEEE TSN und 3GPP 5G für eine Latenz in der Größenordnung von

1 ms bei einer Verfügbarkeit von 99,9999% sorgen, aber die Migrationszeit oder Reaktionszeit einer Anwendung mehrere 100 ms beträgt.

Eine Verzahnung der QoS-Modelle entlang der Signalkette ist notwendig, um eine resultierende Ende-zu-Ende-Dienstgüte steuern zu können. In 3GPP Release 16 werden notwendige Schnittstellen zur Integration von 3GPP 5G und dem zentralen Konfigurationsmodell von IEEE TSN standardisiert. Basierend auf diesen Schnittstellen ist es möglich, Dienstgütereigenschaften des Mobilfunknetzes in entsprechende Parameter umzusetzen, welche zum Beispiel durch ein IEEE Ethernet TSN genutzt werden. Da sich das 3GPP-5G-System gegenüber dem IEEE TSN wie eine Bridge verhält, werden wesentliche Dienstgütereigenschaften, wie Latenz und Durchsatz, durch standardisierte Parameter abgedeckt, welche für die Planung der Ende-zu-Ende-Kommunikation notwendig sind. In diesem Beispiel übernimmt das Netzwerkmanagement wie zum Beispiel der IEEE TSN Centralized Network Configuration (CNC) die Gesamtsteuerung des Netzwerks.

Im Betrieb ist das 3GPP-5G-System in der Lage, die Verkehrsklassifikation basierend auf PCP entsprechend auf 5G-QoS-Prioritäten umzusetzen. Die garantierte Latenz pro Verkehrsklasse wird entsprechend auf den PDB abgebildet, um sicherzustellen, dass der zentral bestimmte Schedule eingehalten werden kann. Weiterhin kann 3GPP 5G Informationen der zentralen Steuerung der TSN-Streams nutzen (IEEE 802.1Qci), um Ressourcen innerhalb des Funkzugangs zu reservieren (TSCAI). Darüber hinaus betrachtet 3GPP Release 16 auch die Konfiguration statischer Filterregeln, Topologieinformationen mithilfe von LLDP, Synchronisation auf der Basis von IEEE 802.1AS sowie die Konfiguration von VLAN. Dem entsprechend bietet 3GPP Release 16 alle notwendigen Werkzeuge für eine erfolgreiche Einbindung beider Domänen und eine Ende-zu-Ende-Garantie der Kommunikationslatenz.

Eine Steuerung und Einflussnahme auf die Dienstgüte der Rechnerplattform ist mit derzeitigen Technologien noch nicht möglich, das heißt die Dienstgüte der Anwendung bzw. der zugrunde liegenden IT-Plattform muss

entweder separat konfiguriert werden oder es werden stets harte Dienstgüteanforderungen angenommen, wodurch es zu einer übermäßigen Bereitstellung von Ressourcen kommt. Europäische wie auch deutsche Forschungsprojekte erforschen aktuell die Möglichkeiten einer gemeinsamen Optimierung und Orchestrierung von Kommunikations- und Rechenanforderungen, so zum Beispiel im EU-Projekt 5G Transformer oder auch im BMBF-geförderten Projekt TACNET 4.0.

Tabelle 1 zeigt vier ausgewählte Anwendungsfälle und ihre Kommunikationsanforderungen, wie sie in 3GPP TS 22.104 beschrieben sind. Zudem sind exemplarisch Anforderungen an die zugrunde liegende Rechnerplattform aufgelistet. Als drei wesentliche Parameter sind dargestellt: die Ausfallzeit, das heißt die Zeit, bis eine Anwendungsinstanz neu gestartet bzw. migriert sein muss; die Verfügbarkeit, welche angibt, wie zuverlässig eine Anwendungsinstanz ausgeführt werden muss; und die Verarbeitungszeit, welche angibt, wie schnell das Berechnungsergebnis verfügbar sein muss.

Die Verarbeitungszeit wird durch die verfügbaren CPU und die Speicherressourcen gesteuert, welche zuvor abgeschätzt bzw. gemessen werden müssen. Zudem ermöglicht die meist vergleichsweise hohe Transferzeit, dass Synergien mit anderen Echtzeitanwendungen genutzt werden können solange diese nicht synchron auf der Rechnerplattform ausgeführt werden. Die Verfügbarkeit ist auch in modernen IT-Systemen bereits umsetzbar. Die größte Herausforderung stellt die maximale Ausfallzeit dar, das heißt die Zeit, die zur Verfügung steht,

um eine Anwendungsinstanz entweder neu zu starten oder anhand des letzten Zustands zu migrieren. Hierbei sind aktuell Werte im Bereich von mehreren 100 ms bis mehreren Sekunden erreichbar – abhängig von der Größe der Anwendung (bzw. Container/VM). Diese zu reduzieren und die Anforderungen an die Rechnerplattform zu orchestrieren, bleibt auch weiterhin ein Forschungsthema.

## Zusammenfassung

Der Erfolg der Einführung von 5G-Technologie in industriellen Kommunikationsnetzen wird maßgeblich davon abhängen, wie die einzelnen Netzwerkdomeänen integriert sind. Mit 3GPP Release 16 werden bereits wesentliche Mittel zur Verfügung gestellt, das heißt neben hochzuverlässiger und extrem niedriglatenter Kommunikation bietet 3GPP Release 16 auch vielseitige Integrationsoptionen mit Ethernet-basierten Netzwerken. Dazu gehören Konzepte zum flexiblen Aufbau von 5G-Netzen wie auch flexible und anpassbare Mechanismen zur Kontrolle der Dienstgüte. Diese Flexibilität sowie die neuen Anwendungsmöglichkeiten, welche durch Mobilfunk ermöglicht werden, machen 3GPP 5G zu einem Schlüsselement für die Umsetzung von Industrie 4.0.

Die Integration industrieller Anwendungen mit (teilweise) virtualisierten IT-Plattformen bedarf jedoch noch weiterer Forschung, um die Echtzeitanforderungen erfüllen zu können. Darüber hinaus wird in diesem Fall eine Integration der Rechen- und Kommunikationstechnologien benötigt.

**Dieser Artikel basiert auf Ergebnissen, welche im Rahmen des BMBF-geförderten Projekts TACNET 4.0 (KIS15GTI007) entstanden sind.**

### DR.-ING. PETER M. ROST

Senior Researcher/Research Project Manager  
Nokia Bell Labs, München

### DR.-ING. RAKASH SIVASIVA GANESAN

Radio Research Engineer, Nokia Bell Labs,  
München

### DIPL.-ING. ARNE NEUMANN

Wissenschaftlicher Mitarbeiter, inIT – Institut für  
Industrielle Informationstechnik, Lemgo

### DR.-ING. IEVGENII TSOKALO

Senior Researcher, Lehrstuhl für Kommunikations-  
netze, Technische Universität Dresden

## ITG-VORSTANDSWAHL 2020

# Mitgliederinformation zur Vorstandswahl 2020

Die Mitglieder werden aufgerufen, ihre Kandidatur an den Wahlausschuss (ITG@vde.com) bis zum 1. Mai 2020 anzumelden.



## Veranstaltungen

Hinweis: Weitere Veranstaltungen finden Sie auf den Seiten 46 und 47 des VDE dialog.

31.03.–01.04.2020, Tübingen

2. KuVS-Fachgespräch Network  
Softwarization

GI/ITG-FG KuVS

// [kn.inf.uni-tuebingen.de/kuvs-fg-netsoft/2020](http://kn.inf.uni-tuebingen.de/kuvs-fg-netsoft/2020)

02.–03.04.2020, Tübingen

ITG-Workshop on IT Security

ITG-FG 5.2.2

// [kn.inf.uni-tuebingen.de/itg-itsec/2020](http://kn.inf.uni-tuebingen.de/itg-itsec/2020)

02.–03.04.2020, Renningen

International Workshop on Auto-  
motive Radar for Fully Automated  
Driving

ITG, IMA

// [www.ihe.kit.edu/workshop.php](http://www.ihe.kit.edu/workshop.php)

04.–09.05.2020, Barcelona, Spanien

ICASSP 2020 – 45th International  
Conference on Acoustics, Speech,  
and Signal Processing

IEEE

// [2020.ieeeicassp.org](http://2020.ieeeicassp.org)

06.–08.05.2020, Verona, Italien

26th European Wireless (EW)

// [ew2020.european-wireless.org](http://ew2020.european-wireless.org)

13.–14.05.2020, Leipzig

21. ITG-Fachtagung Photonische  
Netze

ITG-FA KT 3, ITG-FG 5.3.3

// [www.vde.com/de/itg/veranstaltungen](http://www.vde.com/de/itg/veranstaltungen)

13.–14.05.2020, Osnabrück

25. ITG-Fachtagung Mobilfunk-  
kommunikation

ITG-FA KT 2

// [www.vde.com/de/itg/veranstaltungen](http://www.vde.com/de/itg/veranstaltungen)

25.–28.05.2020, Aachen

ARCS 2020 – 33rd International  
Conference on Architecture of  
Computing Systems

GI, ITG

// [arcs2020.itec.kit.edu/](http://arcs2020.itec.kit.edu/)

26.–29.05.2020, Bad Honnef

7th ITG International Vacuum Elec-  
tronics Workshop (IVEW) 2020 &  
13th International Vacuum Electron  
Sources Conference (IVeSC) 2020

ITG-FA MN6, European Steering  
Committee of IVeSC

// [www.ihe.kit.edu/kooperationen\\_itg.php](http://www.ihe.kit.edu/kooperationen_itg.php)

08.–10.06.2020, Potsdam

29. FKTG-Fachtagung 2020

FKTG

// [www.fktg.org/node/14881](http://www.fktg.org/node/14881)

14.–20.06.2020, Hamburg und

Timmendorfer Strand

ISOLDE 2020 – International Sym-  
posium on Locational Decisions

GOR

// [www.mathematik.uni-kl.de/opt/ISOLDE2020](http://www.mathematik.uni-kl.de/opt/ISOLDE2020)

ISOLDE2020

15.–18.06.2020, Leipzig

EUSAR 2020 – 13th European Con-  
ference on Synthetic Aperture Radar

ITG

// [www.vde.com/de/itg/veranstaltungen](http://www.vde.com/de/itg/veranstaltungen)

17.–18.06.2020, München

ISR 2020 – 52nd International  
Symposium on Robotics

ITG, VDMA

// [www.vde.com/de/itg/veranstaltungen](http://www.vde.com/de/itg/veranstaltungen)

22.–25.06.2020, Nürnberg

SMSI 2020 – Sensor and Measure-  
ment Science International

AMA

// [www.smsi-conference.com](http://www.smsi-conference.com)

08.–10.07.2020, Linz

WiSec 2020 – 13th ACM Conference  
on Security and Privacy in Wireless  
and Mobile Networks

JKU/INS

// [wisec2020.ins.jku.at](http://wisec2020.ins.jku.at)

## Call for Participation

13.–15.07.2020, Berlin

6th ITG/VDE Graduate Summer  
School on Video Compression and  
Processing – SVC2020

The Summer School aims at providing a forum for informal knowledge exchange and discussion of innovative research ideas among doctoral students working in the field of image and video communication and image signal processing. The atmosphere of the summer school is intended to be very informal and less restrictive than a typical workshop or conference, thus stimulating discussions and inspiring joint research among the participating PhD students. Contributions should focus on novel research aspects, but do not have to provide unpublished material. Presentations, posters, or demos should rather give an overview of the participant's research fields including challenges, open topics, and problems in current re-

search. The aim is to bring together young researchers with similar topics and provide a basis for fruitful scientific discussions, motivating future cooperation. To apply for a presentation, submit your title, a short abstract (approximately 200 words), and preference oral/poster. Upon acceptance, you need to register for the summer school. Participants without a presentation are welcome and requested to register.

// [www.3it-berlin.de/events/summer-school-on-video-coding-and-processing-svc2020](http://www.3it-berlin.de/events/summer-school-on-video-coding-and-processing-svc2020)

## Call for Papers

12.–15.05.2020, Chemnitz  
WFMN 2020 & Radar Tutorial  
Workshop

The scientific conference “Wave Propagation and Scattering in Microwave Remote Sensing, Communication, and Navigation” will address topics from wave propagation and scattering in microwave remote sensing, communications, navigation and other information systems. The conference programme will include a series of review and keynote presentations suited for both young scientists and experts alike. The one-day pre-conference tutorial workshop “Fundamentals of Modern Multi-Parameter Remote Sensing Radars: Physical Basics, Systems, and Applications” will cover fundamentals of modern multi-parameter remote sensing radars and their applications.

Paper submission deadline is 6th of April 2020. Abstracts should be sent in electronic form to: [WFMN20@etit.tu-chemnitz.de](mailto:WFMN20@etit.tu-chemnitz.de)

// [www.vde.com/de/itg/veranstaltungen](http://www.vde.com/de/itg/veranstaltungen)

## Impressum

### ITG-news

Herausgeber: Informationstechnische  
Gesellschaft im VDE, Frankfurt am Main

Redaktion: Dr. Volker Schanz,  
Silvia Buhlmann

Telefon: 069/6308-360/-362

E-Mail: [itg@vde.com](mailto:itg@vde.com)

Internet: [www.vde.com/itg](http://www.vde.com/itg)

Konzept und Realisation: HEALTH-CARE-  
COM GmbH, ein Unternehmen der VDE  
VERLAG GmbH, Projektleitung: Anne Wolf

Druck: Heenemann GmbH & Co. KG, Berlin