Mobilfunk

Open RAN – neue Spielregeln für den Mobilfunk



(Bild: Radachynskyi Serhii | Shutterstock)

Die Schnittstelle zwischen Mobilfunk-Endgeräten und dem Funkzugangsnetz ist offen standardisiert. Dagegen sind die Schnittstellen der Komponenten des Funkzugangsnetzes weitgehend proprietär. Open RAN will künftig mit interoperablen Schnittstellen eine Modularisierung des RANs ermöglichen.

Von Fabian Kurtz, Stefan Böcker und Prof. Dr. Christian Wietfeld

Wer ein Mobilfunknetz auf- oder ausbauen wollte, war in den vergangenen Jahren – nach einer Phase der Konsolidierung des Marktes für Mobilinfrastruktur – weitestgehend auf eine Handvoll Anbieter beschränkt. Laut Dell'Oro Group teilten 2021 vier Ausrüster 71 % des Marktes unter sich auf [1]. Aus verschiedenen Gründen und Perspektiven wird angestrebt, mehr Offenheit in den Bereich des Funkzugangsnetzes (RAN, Radio Access Network) zu bringen. Wichtige Stichworte sind dabei die Erhöhung der Flexibilität und technischen Souveränität bei der Evolution der Funkzugangsnetze.

Bisherige und zukünftige Mobilfunknetze wie 5G und 6G sind durch das 3rd Generation Partnership Project (3GPP), einem internationalen Zusammenschluss öffentlicher Gremien, Hersteller und Netzbetreiber, standardisiert und frei zugänglich dokumentiert. Dabei sind jedoch insbesondere die internen Schnittstellen im Funkzugangsnetz ausgenommen, was weitestgehend proprietäre Realisierungen

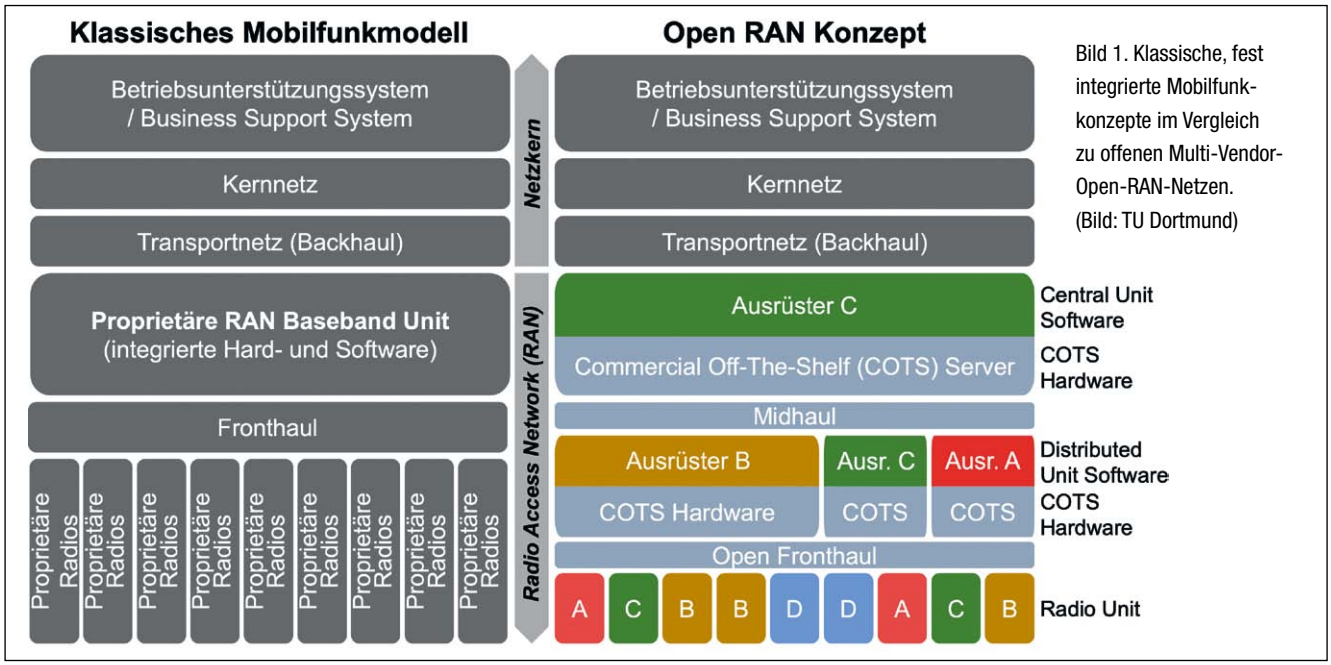
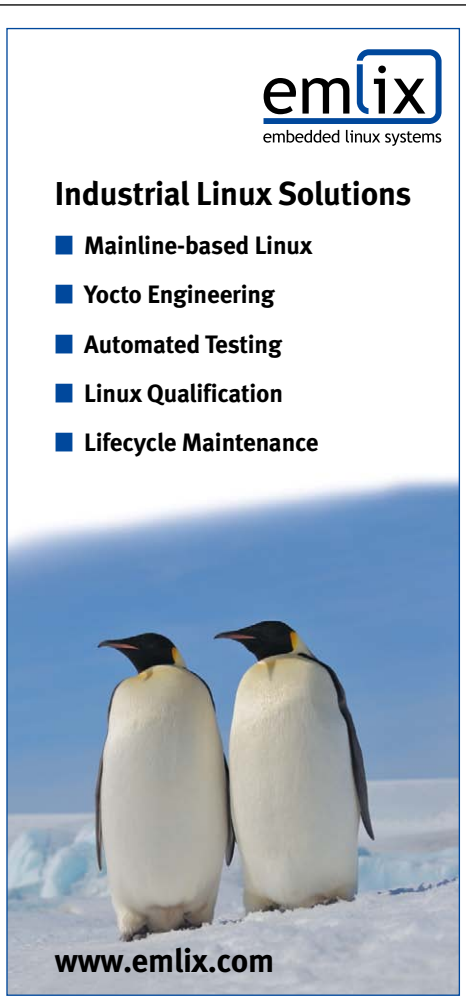


Bild 1. Klassische, fest integrierte Mobilfunkkonzepte im Vergleich zu offenen Multi-Vendor-Open-RAN-Netzen. (Bild: TU Dortmund)

der RAN-internen Schnittstellen zur Folge hat. Damit ist es bislang nur unter erheblichem Aufwand möglich, die Komponenten verschiedener Hersteller an dieser Stelle zu einem Gesamtnetz zusammenzufügen. Entsprechend langfristig ist die Bindung von Mobilfunknetzbetreibern an einzelne Hersteller, die sich aufgrund der vor allem im laufenden Betrieb hochkomplexen Migration auch mit jedem Umstieg auf eine neue Generation kaum kosteneffizient auflösen lässt. Für potenzielle neue Ausrüster ergeben sich derweil erhebliche Markteintrittsbarrieren, da die Entwicklung der notwendigen vollständig integrierten Ende-zu-Ende-Systeme mit signifikanten Aufwänden verbunden ist.

Ziel: Multi-Vendor RAN

Laut einer Studie der GSMA [2] entfallen ca. 50 % der Gesamtkosten (Total Cost of Ownership, TCO) des Mobilfunknetzes auf das RAN, wobei sich dieser Anteil bei 5G um bis zu 65 % steigern könnte. Das Einbringen neuer, offener Schnittstellen an dieser Stelle ist entsprechend eins der Kernziele des von Mobilfunknetzbetreibern verfolgten Open-RAN-Konzepts. So soll eine freie Wahl der Ausrüster für sämtliche Komponenten des Mobilfunknetzes – ein sogenanntes Multi-Vendor RAN – ermöglicht und somit der kostspielige und riskante Vendor Lock-in vermieden werden. Durch den Einsatz von Virtualisierung wird zudem, dem Konzept der Network Function Virtualization (NFV) folgend, eine Auftrennung in Hard- und Software angestrebt. Damit will Open RAN den Einsatz von seriengefertigten Produkten (Commercial Off-The-Shelf, COTS) wie Standard-Servern ermöglichen, auf denen zuweilen Cloud-basierte Software die jeweiligen Funktionen des RAN abbilden (**Bild 1**). Durch diese Entkopplung und das Aufbrechen bislang fest integrierter Komponenten in modulare Bestandteile erhoffen sich Mobilfunknetzbetreiber eine reduzierte Abhängigkeit von einzelnen Netzwerkausrüstern und Techniken (Disaggregation und Anbieterdiversifikation). Zudem wird eine höhere Transparenz des Mobilfunksystems – Aufbruch klassischer »Black Boxes« – und die Möglichkeit, Mobilfunknetze schneller und flexibler an die jeweiligen Erfordernisse verschiedenster Einsatzzwecke bzw. bereits vorhandener Infrastrukturen anpassen zu können, angestrebt. Zeitgleich sollen so die Markteintrittsschwellen gesenkt werden, da nun einzelne Funktionen von verschiedenen Anbietern bereitgestellt werden können. Dies erlaubt wiederum eine Auswahl anhand der jeweils optimalen Leistungsmerkmale, was seinerseits die Lieferkette auf breitere Füße stellt und so die Sicherheit erhöht. Neben internationalen Großkonzernen wie Microsoft könnten so auch Start-ups sowie die Forschungslandschaft von dieser Entwicklung



profitieren. Das entstehende Wirtschaftsökosystem verspricht damit eine Stimulierung des Wettbewerbs, indem es etablierte Anbieter unter Zugzwang setzt, was neben der von den Mobilfunknetzbetreibern angestrebten Kostenersparnis auch beschleunigte Innovationszyklen und damit schnellere Marktreife neuer Techniken bieten soll.

Disaggregation stellt neue Herausforderungen

Demgegenüber stehen signifikante Herausforderungen, die sich insbesondere in der Gewährleistung einer nahtlosen Interoperabilität aller beteiligten Systemkomponenten und Hersteller spiegelt. Dabei resultiert die Disaggregation des klassischen Mobilfunkmodells in der Notwendigkeit zentral organisierter Interoperabilitätstests. Ebenso ist die Frage zu beantworten, wer in einer Kette vieler unterschiedlicher Hersteller die Verantwortung für Ende-zu-Ende-Leistungsmerkmale bezüglich Dienstgütegarantien (Quality of Service, QoS) und Nutzererfahrung (Quality of Experience, QoE) trägt. Auch ist zu klären, wie eine effiziente Identifikation von Systemfehlern im Störungsfall gewährleistet werden kann.

Zur Lösung dieser Herausforderung wird eine gemeinsame Grundlage benötigt, die den einzelnen Ausrüstern die Chance eröffnet, sich auf spezifische Innovationen bzw. Alleinstellungsmerkmale zu fokussieren. Dabei steht die Interoperabilität der einzelnen RAN-Komponenten sowie deren Plug&Play-Fähigkeit durch Zero-Touch Provisioning bzw. Automatisierung mittels künstlicher Intelligenz und maschinellem Lernen im Vordergrund.

O-RAN Alliance

Entsprechend wurde im Februar 2018 die O-RAN Alliance auf dem Mobile World Congress in Barcelona ins Leben gerufen. Das erste Treffen der zehn technischen Arbeitsgruppen (**Bild 2**) fand noch im September desselben Jahres statt. Seitdem ist das Konsortium auf 29 Mobilfunkbetreiber, 265 Unternehmen, Forschungsinstitute sowie Universitäten von allen Kontinenten angewachsen. Im Mittelpunkt der Initiative steht zunächst die Standardisierung offener interoperabler Schnittstellen für 5G in Ergänzung zum 3GPP, die Definition von Tests sowie die Organisation von Plugfests, um eine umfassende Interoperabilität zu ermöglichen. Damit wird die OpenRAN-Initiative des Telecom Infra Project (TIP) ergänzt, die sich unabhängig von der Mobilfunkgeneration primär auf die Förderung des OpenRAN-Konzepts sowie darauf basierender Netze fokussiert und seinerseits auf die Standards der O-RAN Alliance verweist. Um die notwendigen Rahmenbedingungen durch die Entwicklung quelloffener Software (inkl. API) sowie Referenzdesigns auf Basis des O-RAN-Standards zu schaffen, wurde zudem die O-RAN Software Community mit Unterstützung der Linux Foundation gegründet.

In diesem Kontext bilden die Spezifikationen des 3GPP den Rahmen, der jedoch im Bereich des RAN die notwendigen offenen Schnittstellen ausklammert, wodurch eine herstellerübergreifende Interoperabilität mindestens erschwert wird. Bestehende Mobilfunkarchitekturen lassen sich dabei grob in das Kernnetz und das über Glasfaser (Backhaul) angebundene Funkzugangsnetz (RAN) mit seinen Basisstationen auf-

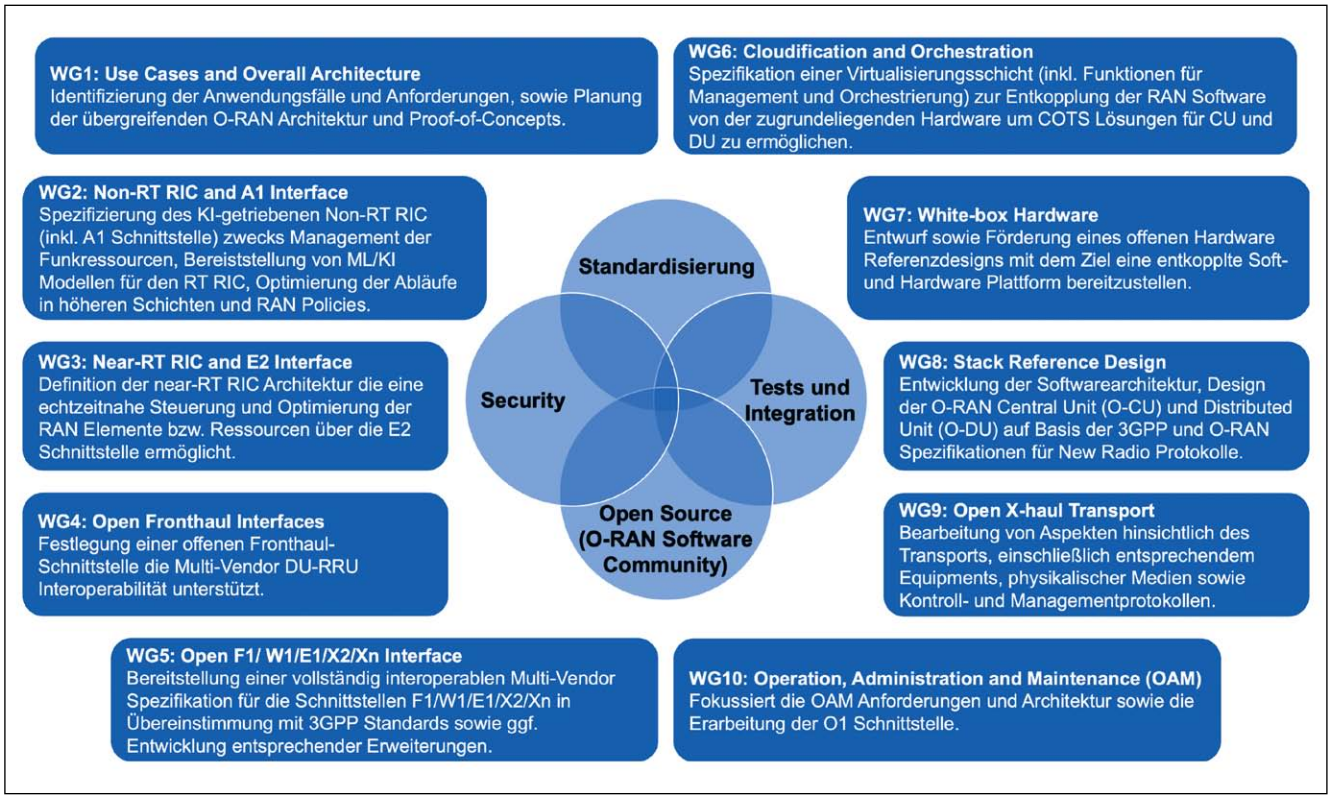
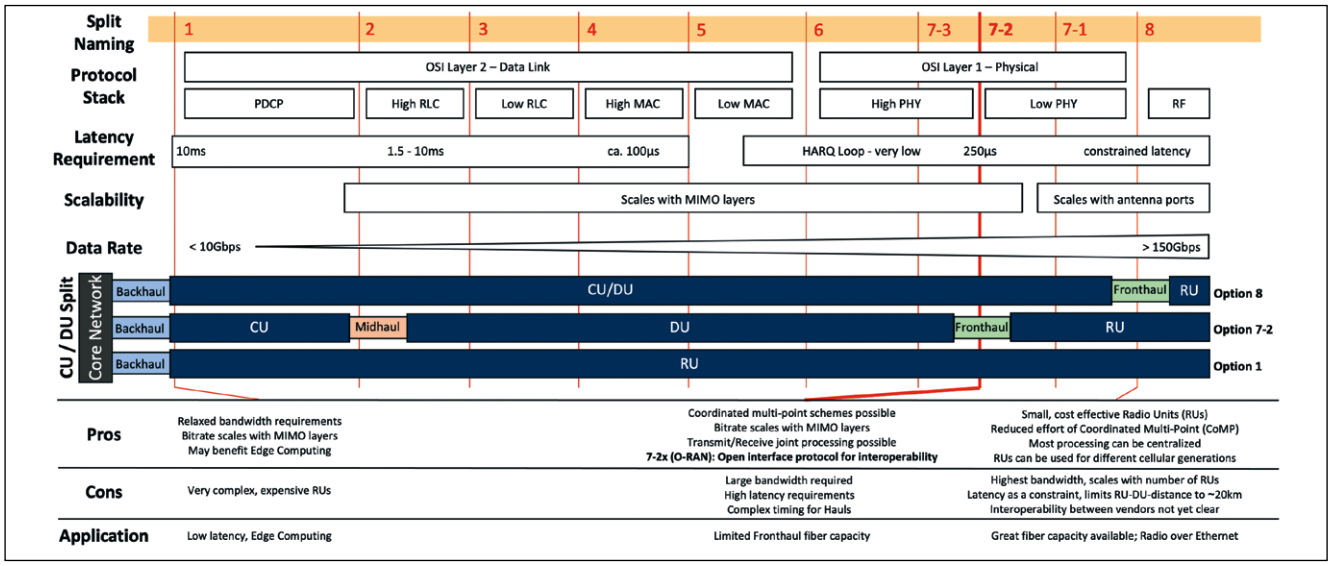


Bild 2. Struktur und Arbeitsgruppen der O-RAN Alliance (Bild: TU Dortmund)



(Bild: TU Dortmund, basierend auf [3])

Bild 3. Übersicht möglicher Splits zur Aufteilung der RAN-Funktionen zwischen Central Unit, Distributed Unit und Radio Unit, mit O-RAN Standard Split 7-2x.

teilen. Letztere umfassen typischerweise Antennen und abgesetzte Funkeinheiten (RRU, Remote Radio Unit) zur größtenteils analogen Verarbeitung des Sende- und Empfangssignals sowie Basisbandeinheiten (BBU, Baseband Units) für die digitale Datenverarbeitung. Die Verbindung zwischen RRU und BBU wird allgemein als Fronthaul bezeichnet und erfolgt via Glasfaser über das Common Public Radio Interface (CPRI). Diese Schnittstelle ist herstellerspezifisch und erzwingt entsprechend eine einheitliche Selektion der Komponenten. An die Stelle des herstellerspezifischen CPRI tritt bei O-RAN nun der offene Open Fronthaul bzw. eCPRI, das auf Ethernet aufsetzt und eine getrennte Auswahl von Hochfrequenz- und Signaltechnik ermöglicht (Bild 1).

O-RAN: neue Schnittstellen, Komponenten, Betriebssysteme

Ein weiterer Fokuspunkt von Open RAN ist das X2-Interface, das die Kommunikation einzelner Basisstationen untereinander erlaubt, sowie insbesondere bei der Migration von 4G zu 5G Non-Standalone (NSA) eine entscheidende Rolle spielt. Auch wird hierüber unter anderem das Interferenzmanagement zwischen einzelnen Funkzellen umgesetzt. In bisherigen Netzen ist diese Schnittstelle oft nicht oder nur proprietär implementiert, was ebenfalls den Betrieb von Multi-Vendor-Umgebungen hemmt.

Darüber hinaus wird die der Radio Unit – oRU in O-RAN-Nomenklatur – vorgeschaltete BBU in zwei unabhängige Einheiten, die O-RAN Central Unit (oCU) und die Distributed Unit (oDU), aufgespalten, die wiederum durch ein Midhaul getauftes Interface verbunden sind. Eine oCU übernimmt dabei für mehrere oDUs unter anderem die Signalisierung. Jede oDU leistet ihrerseits die echtzeitkritische und datenratenintensive Verarbeitung der Bitübertragungsschicht und bedient jeweils mindestens eine oRU bzw. Antenne. Dies eröffnet eine auf unterschiedliche Einsatzszenarien abstimmbare Aufteilung einzelner Signalverarbeitungsschritte, was unter der Bezeichnung »functional splits« zusammengefasst ist (**Bild 3**). So können je nach verfügbarer Glasfaserinfrastruktur, gewünschter Flexibilität und Reaktionszeiten Funktionen näher am jeweiligen Antennenstandort oder zentralisiert in Richtung Kernnetz und Cloud integriert werden. Ein Netz kann dabei verschiedene »Splits« beinhalten, wie beispielsweise AAUs (Active Antenna Units) oder Small Cells demonstrieren, die jeweils oRU und oDU in einer Plattform integrieren. Open RAN bezeichnet damit nicht eine einzelne starre Netzkonstellation, sondern eine breite Palette offener Architekturoptionen, um die jeweiligen Anwendungsszenarien der Mitglieder der O-RAN Alliance optimal zu bedienen.

Das Management all dieser Komponenten wird durch den RAN Intelligent Controller (RIC) übernommen (**Bild 4**). Dieser stellt eine Kerninnovation von Open RAN dar und kann als Betriebssystem des RAN gesehen werden. Er dient als Plattform zur Bereitstellung intelligenter Netzdienste durch modulare Software (Apps) mittels künstlicher Intelligenz (KI) bzw. maschineller Lernverfahren (ML) und erlaubt verschiedenen Herstellern die Bereitstellung von eng mit dem RAN verzahnten Apps. In Abhängigkeit von den konkreten Anforderungen der jeweiligen Dienste hinsichtlich ihrer Reaktionszeit werden diese durch den Non-Realtime RIC (rApps) oder Near-Realtime RIC (xApps) ausgeführt. Neben eher klassischen Aufgaben wie dem Fehlermanagement oder der Durchsetzung von Policies sollen hier Funktionen wie die dynamische Analyse und Optimierung des RAN, beispielsweise für Massive MIMO, Pufferung und Verarbeitung von Videodaten, feingranulares Network Slicing oder Dienste für private Funknetze im Kontext der Industrie 4.0, eingebettet werden. Innovative neue Konzepte und Funktionen sollen dadurch in Zukunft mit einem möglichst reibungslosen Software-Update implementiert werden können. Damit eröffnet diese Schnittstelle nicht zuletzt für Forschungseinrichtungen

einen direkten Pfad zur Erprobung neuer Konzepte. So wird an der TU Dortmund gegenwärtig unter anderem daran gearbeitet, das bisher nur für den jeweiligen Hersteller zugängliche Scheduling über diese offenen Schnittstellen zu optimieren. Dazu wird eine robuste und flexible, KI-basierte Allokation variabler Funkressourcen angestrebt, die so zur Hebung signifikanter Effizienzpotenziale in künftigen O-RAN-basierten Netzen beiträgt.

O-RAN ist Teil der 6G-Forschung

Ob und in welchem Umfang Open RAN die Versprechen einlösen kann, wird sich in den nächsten Jahren zeigen. Nach aktuellem Stand der Roadmap sind noch einige Hürden auf dem Weg zu einem umfassenden Standard zu nehmen. Auch bestehen große Herausforderungen im Bereich der komplexen Integration der angestrebten Multi-Vendor-RAN-Umgebungen. Dies bietet jedoch auch eine Chance für neue Akteure, die als Dienstleister für Mobilfunknetzbetreiber die erforderliche Integration von Hard- und Software unterschiedlicher Anbieter übernehmen können. Beispielsweise baut Rakuten, ursprünglich als Pendant zu Amazon gestartet, gegenwärtig als Quereinsteiger ein viertes Mobilfunknetz am japanischen Heimatmarkt auf. Das dabei erworbene Know-how wurde in der kürzlich unter dem Namen Rakuten Symphony gestarteten neuen Business Unit für Cloud-native Open RAN gebündelt und Dritten angeboten. Auf deutscher Seite ist hier United Internet unter der Marke 1&1 auf das Angebot eingegangen und hat eine Partnerschaft zum Aufbau des eigenen Open-RAN-Netzes verkündet. Ob das Ziel der Offenheit dabei erreicht werden kann, muss sich allerdings erst noch beweisen, da die Rakuten Communications Plattform bislang nur Systeme des vom Unternehmen übernommenen Ausrüsters Altiostar bietet und zudem eng mit Intels FlexRAN-Plattform sowie Radio Units von NEC verbunden ist.
Ohnehin wird eine breite Marktdurchdringung von vielen erst Richtung Ende der Dekade gesehen, wie auch Howard Watson als CTO von BT vor Kurzem unterstrich [5]. Damit könnte Open RAN in vielen Märkten bei 5G zu spät kommen, um große Marktanteile zu gewinnen. Umso relevanter wird O-RAN für kommende 6G-Systeme. Entsprechend äußerte sich Börje Ekholm, CEO von Ericsson, mit den Worten »O-RAN will be a fundamental part of the 6G solutions. That's no question in my mind« [6] im Rahmen der Telefonkonferenz zu den Geschäftsergebnissen des zweiten Quartals zu diesem Thema. In den kommenden Jahren wird es daher im Kontext der nun bereits beginnenden Forschungsarbeiten zu 6G von besonderer Bedeutung sein, die Zukunft der O-RAN-Spezifikationen mitzugestalten. Hierbei muss ein angemessener Ausgleich zwischen Flexibilität, Leistungsfähigkeit – insbesondere auch Echtzeitfähigkeit – und Sicherheit zukünftiger, offener Funkzugangsnetze gefunden werden. Es ist daher nicht überraschend, aber auch absolut notwendig, dass sich die vom BMBF eingerichteten 6G-Forschungshubs auch diesem Thema intensiv annehmen werden. hs

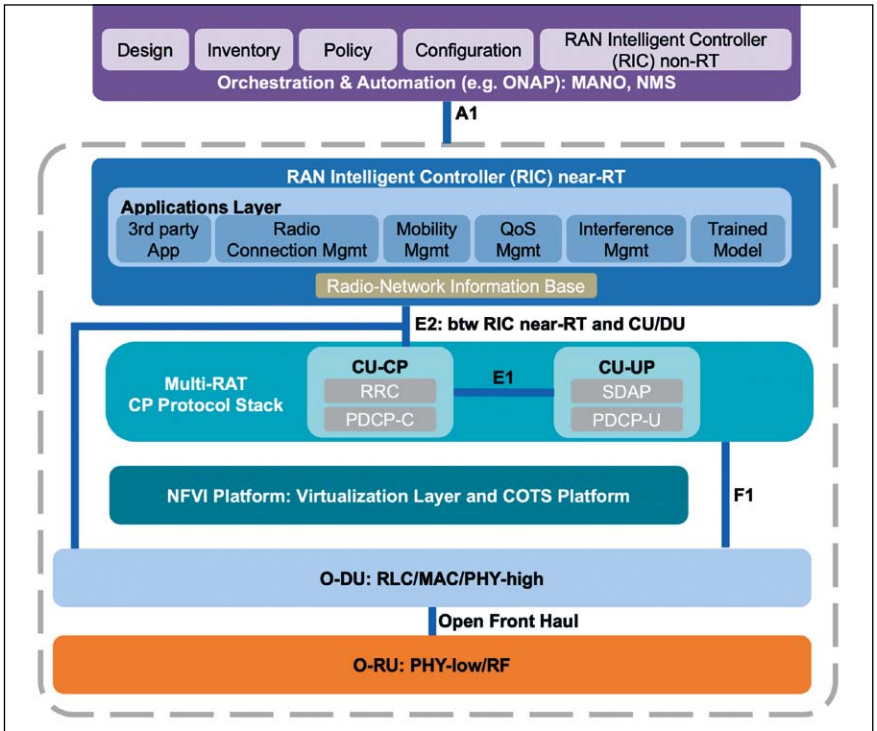


Bild 4. Der RAN Intelligent Controller (RIC) verwaltet als Betriebssystem alle Komponenten in einem Open RAN. Je nach Anforderungen der Dienste hinsichtlich ihrer Reaktionszeit werden Dienste durch den Non-Realtime RIC oder Near-Realtime RIC ausgeführt. (Bild: O-RAN Alliance [4])

Literatur

[1] *Pongratz, S.:* Key Takeaways—Total Telecom Equipment Market 2020. Dell'Oro Group, 8. März 2021, Website, www.delloro.com/key-takeaways-total-telecom-equipment-market-2020.

[2] 5G-era Mobile Network Cost Evolution. GSM Association (GSMA), 28. August 2019, Website, www.gsma.com/futurenetworks/wiki/5g-era-mobile-network-cost-evolution.

[3] Functional Split Overview. Hubert+Suhner, Website, www.cubeoptics.com/functional-split.

[4] O-RAN Alliance, Website, www.o-ran.org

[5] *Le Maistre, R.:* BT's CTO: Huawei swap-out first, Open RAN later. TelecomTV, 14. Juli 2021, Website, www.telecomtv.com/content/open-ran/bt-s-cto-huawei-swap-out-first-open-ran-later-41965.

[6] Telefonaktiebolaget LM Ericsson (ERIC) Q2 2021 Earnings Call Transcript. The Motley Fool, 16 Juli 2021, Website, www.fool.com/earnings/call-transcripts/2021/07/16/telefonaktiebolaget-lm-ericsson-eric-q2-2021-earni.



Fabian Kurtz

ist Senior Researcher am Lehrstuhl für Kommunikationsnetze der TU Dortmund. Er hat dort Elektrotechnik und Informationstechnik studiert und 2020 promoviert. Derzeit ist er am BMWi geförderten Projekt »5Gain« beteiligt, welches die Erforschung zukünftiger Mobilfunknetze für zellulare Energiesysteme unter Nutzung künstlicher Intelligenz und Network Slicing fokussiert. Seine Forschungsinteressen konzentrieren sich dabei auf die Analyse und Leistungsbewertung Software-basierter IKT für kritische Infrastrukturen.
fabian.kurtz@tu-dortmund.de



Stefan Böcker

ist Senior Researcher am Lehrstuhl für Kommunikationsnetze der TU Dortmund. Er hat dort Elektrotechnik und Informationstechnik studiert. Als Forschungsgruppenleiter leitet er für die TU Dortmund maßgeblich das vom Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIDE) geförderte Competence Center 5G.NRW, das darauf abzielt, Chancen der 5G-Technik im Vergleich zu Marktbegleitern aufzuzeigen, sowie den Einsatz von 5G-Campusnetzen in Unternehmen beispielhaft umzusetzen.
stefan.boecker@tu-dortmund.de



Prof. Dr.-Ing. Christian Wietfeld

leitet den Lehrstuhl für Kommunikationsnetze der TU Dortmund und erforscht dort zukünftige Mobilfunknetze insbesondere für sicherheitskritische Anwendungen. Seit 1992 hat er zunächst an der RWTH Aachen und später bei Siemens verschiedene Mobilfunkgenerationen erforscht und aktiv mitgestaltet. Aktuell liegt der Schwerpunkt seiner Forschungsarbeiten auf 5G- und 6G-Netzen, z.B. in dem vom Land NRW geförderten 5G-Kompetenzzentrum, in dem das Potenzial der 5G-Technik für die industrielle Produktion und andere Szenarien mit besonders anspruchsvollen Anforderungen ausgelotet wird. Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs (SFB) 876 der DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) untersucht er als stellv. Sprecher des SFB den Einsatz von neuartigen Methoden der künstlichen Intelligenz für zuverlässige Mobilfunknetze zukünftiger Generationen. Seit August 2021 leitet er als Standortsprecher die Aktivitäten der TU Dortmund in dem vom BMBF geförderten 6G-Forschungshub 6GEM.
christian.wietfeld@tu-dortmund.de

Director Content Electronics: Dr. Ingo Kuss
Markenteam: Joachim Kroll (jk/1335), Chefredakteur (verantwortlich für den Inhalt), Markus Kien, Chef vom Dienst (mk/1333)
Redaktionsteam: Melanie Erhardt (me/1346), Markus Haller (mha/1371), Ralf Higgelke (rh/1341), Engelbert Hopf, Chefreporter (eg/1320), Ute Häußler (uh/1369), Irina Hübner (ih/1339), Andreas Knoll, Ltd. Red. (ak/1319), Corinna Puhlmann-Hespen (cp/1316), Corinne Schindlbeck, Ltd. Red. (sc/1311), Tobias Schlichtmeier (ts/1368), Harry Schubert (hs/1338), Iris Stroh, Ltd. Red. (st/1326), Kathrin Veigel (kv/1746), Nicole Wörner (nw/1325), Karin Zühlke, Ltd. Red. (zü/1329)
Die Ressortverteilung entnehmen Sie bitte der Internetseite elektroniknet.de/electronics-redaktion
Redaktionsassistenz: Andrea Seidel (sei/1332)
Layoutteam: Wolfgang Bachmaier (Ltg.), Andreas Geyh, Norbert Preiss, Bernhard Süßbauer, Alexander Zach

So erreichen Sie die Redaktion: Tel.: 089 25556-1332; Fax: 089 25556-1670
redaktion@elektronik.de, www.elektronik.de

Director New Business: Marc Adelberg (1572)
Sales Director New Business: Carolin Schlüter (1570)
Sales Director New Electronics: Christian Stadler (1375)
Regional Sales Managers: Petra Beck (1378), Burkhard Bock (1305), Tanja Lewin (1386), Konrad Nadler (1382), Martina Niekrawietz (1309)
Sales Operations Specialist: Simone Schiller (1383)
Assistenz: Rosi Böhm (1307)
Anzeigenverwaltung und Disposition: Astrid Brück (1471), Teresa Manuri (1482)
International Account Managers: Konrad Nadler (1382), Martina Niekrawietz (1309)
Auslandsrepräsentanz (Foreign Representation):
USA: Véronique Lamarque, E&Tech Media, llc, 80 Kendrick Street, Brighton, MA 02135, Phone/Fax: +1 860-536-6677, E-Mail: veroniquelamarque@gmail.com, Skype: E&Tech Media
Anzeigenpreise: Es gilt die Anzeigenpreisliste Nr. 56 vom 1. Januar 2021

So erreichen Sie die Anzeigenabteilung: Tel.: 089 25556-1376; Fax: 089 25556-1651
media@elektronik.de, www.elektroniknet.de/media

Vertriebsleiter: Marc Schneider (1509, mschneider@weka-fachmedien.de)
Bestell- und Abonnement-Service: WEKA Fachmedien GmbH, c/o Zenit Pressevertrieb GmbH, Postfach 810640, 70523 Stuttgart, Tel.: 0711 7252-210, Fax: 0711 7252-333, abo@weka-fachmedien.de
Bestellungen Schweiz: Thali AG, Industriestr. 14, CH-6285 Hitzkirch, Tel.: 041 9196611, Fax: 041 9196677, abo@thali.ch, www.thali.ch
Organschaft: Die Elektronik ist Organ der VDE/VDI-Gesellschaft Mikroelektronik, Mikrosystem- und Feinwerktechnik (GMM). Die Mitglieder der GMM erhalten die Elektronik im Rahmen ihrer Mitgliedschaft.

Erscheinungsweise: 26 Ausgaben

Jahresabonnement Print Inland	179,00 €, davon 115,30 € Heft, 63,70 € Versand
Jahresabonnement Print Ausland	201,10 €, davon 115,30 € Heft, 85,80 € Versand inkl. der aktuellen MwSt.
Einzelausgabe Print	8,00 € inkl. der aktuellen MwSt., zzgl. 3,00 Euro Versandkosten
Jahresbezug digitales E-Paper	69,99 € inkl. der aktuellen MwSt., ohne Versandkosten (Inland/Ausland)
Einzelausgabe digitales E-Paper	2,99 € inkl. der aktuellen MwSt., ohne Versandkosten (Inland/Ausland)

shop.weka-business-communication.com
70. Jahrgang, ISSN 0013-5658, Vertriebskennzeichen ZKZ 2594

Leitung Herstellung: Marion Stephan (1442)
Sonderdruck-Dienst: Alle in dieser Ausgabe erschienenen Beiträge können für Werbezwecke als Sonderdrucke hergestellt werden. Anfragen an Melanie Griesbach, Tel. 089 25556-1440, mgriesbach@wekanet.de
Druck: L.N. Schaffrath GmbH & Co. KG DruckMedien, Marktweg 42–50, 47608 Geldern, auch Anschrift für Beihefter und Beilagen.
Urheberrecht: Alle in »Elektronik« erschienenen Beiträge sind urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch Übersetzungen, vorbehalten. Reproduktionen, gleich welcher Art, ob Fotokopie, Mikrofilm oder Erfassung in Datenverarbeitungsanlagen, nur mit schriftlicher Genehmigung des Verlags. Aus der Veröffentlichung kann nicht geschlossen werden, dass die beschriebene Lösung oder verwendete Bezeichnungen frei von gewerblichen Schutzrechten sind.
Haftung: Für den Fall, dass in »Elektronik« unzutreffende Informationen oder in veröffentlichten Programmen oder Schaltungen Fehler enthalten sein sollten, kommt eine Haftung nur bei grober Fahrlässigkeit des Verlags oder seiner Mitarbeiter in Betracht.
Geschäftsführer: Kurt Skupin, Matthäus Hose

© 2021 WEKA Fachmedien GmbH

Anschrift für Verlag, Redaktion, Vertrieb, Anzeigenverwaltung und alle Verantwortlichen:
WEKA Fachmedien GmbH, Richard-Reitzner-Allee 2, 85540 Haar
Tel. 089 25556-1000, Fax 089 25556-1399, www.weka-fachmedien.de
Telefon-Durchwahl im Verlag: Sie wählen 089 25556 und dann die Nummer, die in Klammern hinter dem jeweiligen Namen angegeben ist.

Mitglied der Informationsgemeinschaft zur Feststellung der Verbreitung von Werbeträgern e.V. (IVW), Bad Godesberg