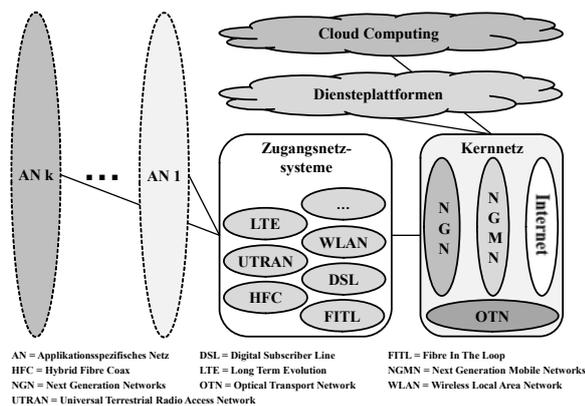




Dienste und Applikationen betrachtet. Daran schließt sich in Kapitel 4 „Netzwerkvirtualisierung“ eine Kurzbeschreibung und Bewertung der wichtigen Technikrends Network Functions Virtualisation (NFV) und Software Defined Networking (SDN) an. Beides bietet eine technische Basis für die eigentlichen „Netze-Kapitel“ 5 „Mobilfunknetze der 4. und 5. Generation“ und 6 „Future Networks“. Kapitel 7 „Netzentwicklung“ schließlich bündelt die bisherigen Ergebnisse und zeigt eine denkbare Struktur und Architektur zukünftiger Telekommunikationsnetze auf.

## 2 Applikationsspezifische Netze

**Bild 2** zeigt rechts unten ein modernes Kernnetz als Next Generation Network (NGN), Next Generation Mobile Network (NGMN) und/oder als öffentliches Internet [2]. Dabei handelt es sich beim Transportnetz um ein Glasfaser-basiertes Hochgeschwindigkeits-Optical Transport Network (OTN). Da es sich um ein konvergentes Netz handeln soll, sind an dieses eine Kernnetz verschiedene Zugangssysteme unterschiedlichster Technik angebunden. Hierunter fallen Systeme in DSL-Technik mit Kupferleitungen als Übertragungsmedium, HFC-Netze (Hybrid Fibre Coax) mit Glasfasern und Koaxialkabeln, Glasfaser-basierte Fibre In The Loop-Systeme (FITL) sowie unterschiedlichste Radio Access Networks (RAN) mit WLAN-, UTRAN- oder auch LTE-Technik. Basisdienste wie u.a. Telefonie, Videotelefonie, Textmitteilungen werden direkt im NGN bzw. NGMN bereitgestellt, darüber hinausgehende komplexere Dienste wie z.B. Videokonferenzen werden von Dienstplattformen beige-steuert (siehe auch Kapitel 3). Die bis hierher beschriebenen Funktionalitäten sind typische Teile eines modernen Telekommunikationsnetzes.



**Bild 2** Applikationsspezifische Netze [2]

Ergänzend zeigt aber Bild 2 im linken Teil sogenannte Applikationsspezifische Netze (AN), die über die Zugangssysteme an das Kernnetz angebunden sind. Bei ihnen handelt es sich um spezielle, auf einzelne Anwendungsgebiete zugeschnittene Netze, die die Infrastruktur der eigentlichen Telekommunikationsnetze nutzen und deren spezifische Applikationen dezentral in den ANs, auf Dienstplattformen der Netzbetreiber oder von Service-Anbietern in der Cloud bereitgestellt werden. Vereinfacht ausgedrückt kann man die ANs in einer weiteren Netz-

werkschicht oberhalb der Telekommunikationsnetze (on top) sehen. Solche applikationsspezifischen Netze kann es für Anwendungsgebiete wie Smart Grid (intelligentes Energieverteilnetz), Smart Home (intelligente/s Haus/Wohnung), AAL (Ambient Assisted Living, intelligente Wohnung zur Unterstützung von Personen mit körperlichen Einschränkungen), E-Health (intelligentes Gesundheitsnetz), eine Smart City (intelligente Stadt), die Vernetzung von Produktionsprozessen mit Cyber Physical Systems (CPS, Industrie 4.0), ein intelligentes Verkehrsnetz mit Car-to-X-Kommunikation (z.B. Fahrzeug – Fahrzeug oder Fahrzeug – Werkstatt), smarte Logistik-Dienste, E-Learning usw. geben [2; 25].

## 3 Kommunikationsdienste und Service Delivery-Plattformen

Eine weitere interessante Tendenz bei den über Telekommunikationsnetze angebotenen Diensten ist die zum Teil starke Abnahme der Nutzung zentral auf Service Delivery-Plattformen (SDP) angebotener Dienste und die Zunahme der Dienstenutzung mittels Mobile Apps (kurz Apps). Ein Beispiel dafür ist der Rückgang der SMS-Nutzung in Deutschland um 27% binnen eines Jahres durch die Konkurrenz von Messaging-Diensten wie WhatsApp. Die Apps stellen dezentral, häufig in Zusammenarbeit mit auf Servern zentral bereitgestellten Funktionen, die Dienstlogik bereit: für IP Multimedia Services. Aus diesem Blickwinkel könnte man ein Smartphone als dezentralen Ersatz für zentrale Application Server betrachten. Insofern ist eine Verschiebung der Marktanteile nicht verwunderlich. Apps verschieben den Fokus von Sprach- zu Daten-zentrierten Anwendungen, die zudem für die Kommunikation das Internet verwenden. Daher rückt zum einen die Sprachkommunikation aus dem Fokus, zum anderen können die Vorteile NGN-basierter Telekommunikationsnetze wie QoS und Sicherheit nicht genutzt werden.

In dieser Hinsicht vorteilhaft ist daher die Kombination der durch Apps und der durch NGN gegebenen Möglichkeiten. Apps sind kurzfristig verfügbar, durchlaufen keine aufwändigen Tests und werden üblicherweise unabhängig von Netzbetreibern und Diensteanbietern entwickelt sowie bereitgestellt. Werden nun APIs (Application Programming Interface) zur NGN-SDP bereitgestellt, können Mobile Apps und Web Apps die Möglichkeiten des Telekommunikationsnetzes wie QoS, hohe Verfügbarkeit, Sicherheit, Authentifizierung, angereicherte Sprach- und Videodienste etc. nutzen. Ein gutes Beispiel für einen App-basierten Dienst, der die Fähigkeiten des Telekommunikationsnetzes vorteilhaft nutzt, ja nutzen muss, ist „Bitrate on-demand“. Hierbei erhält der Nutzer nach einem Klick für eine bestimmte Zeitdauer eine höhere Zugangsbitrate, z.B. 50 Mbit/s statt 10 Mbit/s [26; 5].

In dieser Web 2.0/Telco 2.0-Ära mit zahlreichen neuen, im Vergleich zu herkömmlichen Kommunikationsdiensten schnell entwickelten und wenig getesteten Applikationen ist schwer vorhersehbar, ob ein neuer Dienst ein Erfolg wird, wie viele Nutzer er haben wird, wie viel Verkehr durch ihn hervorgerufen wird. Daher müssen die

Fixkosten für die Dienstbereitstellung in einer SDP so gering wie möglich gehalten werden. Die Lösung hierfür ist eine flexibel anpassbare, auf Cloud Computing und damit Virtualisierung basierende SDP. Die Vorteile sind vergleichsweise geringe Kosten, kurze Markteinführungszeiten (Time-to-Market) u.a. wegen erforderlichenfalls schnell verfügbarer Ressourcen und optimierter Energieverbrauch [4; 5].

Prägend für zukünftige Netze werden auch Dienste auf den Gebieten Machine-to-Machine Communications (M2M) und Internet of Things (IoT) sein. Bei M2M geht es schwerpunktmäßig um Prozessoptimierungen durch eine Service-orientierte Vernetzung von M2M Devices auf Basis von M2M-Applikationen, wobei durchaus auch Mensch-Maschine-Kommunikation beteiligt sein kann [6]. IoT dagegen hat seinen Schwerpunkt in der Verfügbarmachung smarterer Gegenstände und Geräte über ein weltweites Netz [7]. Sowohl M2M als auch IoT werden in der Zukunft massiven Einfluss auf die Kommunikationsnetze haben. Da in diesen Zusammenhängen von IP-basierter Kommunikation ausgegangen wird, spricht viel für NGN und All-IP-Netze.

Weitere Gründe für die besondere Berücksichtigung von M2M und IoT bei der Netzmigration sind u.a. die sehr hohe, sich schnell ändernde Zahl an kommunizierenden Geräten, ihre möglicherweise sehr ungleiche und sich dynamisch verändernde Verteilung im Netz sowie die im Vergleich zur Mensch-Mensch-Kommunikation unterschiedlichen Verkehrscharakteristika. Dies muss bei der Weiterentwicklung der Netze berücksichtigt werden. Hier kann bezüglich der On-demand-Bereitstellung der benötigten Netzknoten und -ressourcen die in Kapitel 4 beschriebene Network Functions Virtualisation (NFV) vorteilhaft angewendet werden. Für das ebenfalls benötigte verkehrs- und diensteabhängige flexible Routing der Datenpakete bietet Software Defined Networking (SDN) in Kapitel 4 eine geeignete Lösung [8].

## 4 Netzwerkvirtualisierung

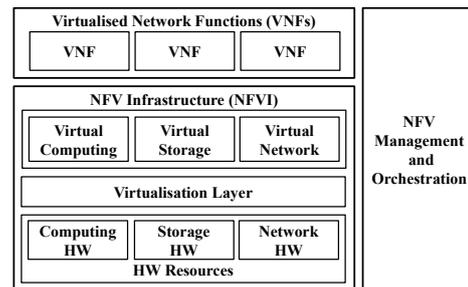
Die Funktionen der Netzelemente bzw. allgemeiner der Netzwerkdienste wie z.B. von Firewalls, Gateways oder auch eines IMS sind heutzutage zwar vor allem mittels Software realisiert, wobei allerdings die SW normalerweise auf spezieller und damit proprietärer Hardware läuft. Dieses heute gängige und eingeführte Konzept hat vergleichsweise hohe Anschaffungskosten und eine rel. unflexible Netzarchitektur mit weitgehend festgelegten Funktionen zur Folge [9; 10].

Um in der Zukunft diesen vor allem aus Sicht der Netzbetreiber bestehenden Nachteilen zu begegnen, wurde und wird das Konzept „Network Functions Virtualisation (NFV)“ entwickelt und standardisiert. Es geht davon aus, dass Netzfunktionen komplett in SW realisiert werden und damit Standard-HW nutzen können. Das hat zur Folge, dass bewährte IT-Virtualisierungstechniken wie die Nutzung virtueller Rechner (VM, Virtual Machine) und deren gemeinsamer Betrieb auf Standard-Server-HW eingesetzt werden können [9; 10].

Dieses für zukünftige Telekommunikationsnetze wichtigen Themas hat sich ETSI angenommen. **Bild 3** einen

Überblick über das NFV Framework nach ETSI. Es besteht aus drei Bereichen, den Virtualised Network Functions (VNF) mit den in SW implementierten Netzdiensten, der NFV Infrastructure (NFVI) für die Virtualisierung der VNFs auf Basis physikalischer HW-Ressourcen sowie dem NFV Management and Orchestration zur Dienstekomposition aus Subdiensten (Orchestration) und dem Lifecycle-Management der SW-, der virtuellen und der physikalischen Ressourcen [11].

Ein Standort mit entsprechenden NFV-Ressourcen wird als NFVI-POP (NFV Infrastructure-Point of Presence) bezeichnet. Hierbei kann es sich um ein Rechenzentrum (Data Center), eine Vermittlungsstelle, einen IP-Netzknoten oder ein IAD (Integrated Access Device) beim Endkunden handeln [11].



**Bild 3** Übersicht zum NFV Framework nach ETSI [11]

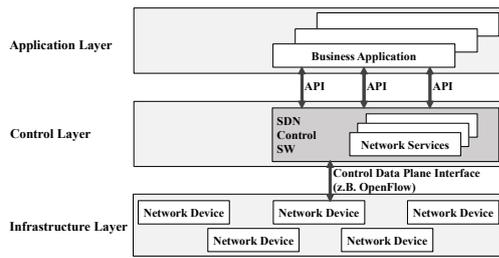
Vorteile der Anwendung von NFV sind u.a. geringere Gerätekosten, schnellere Einführung neuer Netzeigenschaften und Leistungsmerkmale, hohe Skalierbarkeit, Anpassung der Netzkonfiguration an den aktuellen Verkehr und seine Verteilung im Netz, homogene Hardware-Plattform sowie Automatisierung durch Orchestrierungsmechanismen [12].

Die dynamische Instanziierung und das Migrieren von Netzfunktionen im Zuge der NFV stellen auch neue Anforderungen an die IP-Transportnetze. Datenpakete bzw. Datenflüsse müssen in Abhängigkeit der Netzsituation (z.B. Verkehrslastspitze) mit dynamisch verlagerten und/oder neu skalierten Netzanwendungen flexibel zu den zuständigen Netzwerkdiensten (z.B. IMS-VNFs [13]) in der NFV-Infrastruktur (zu NFVI-POPs u.a. in verschiedenen Rechenzentren) weitergeleitet werden.

Für die Steuerung solcher Datenflüsse wird Software Defined Networking (SDN) als eine Schlüsseltechnologie angesehen [10]. Während NFV Software und Hardware der Netzdienste entkoppelt, trennt SDN in den Netzknoten des IP-Transportnetzes, d.h. in Switches und Routern, die Steuerungslogik mit der zugehörigen Signalisierung (Control Plane) von den Nutzdaten (User Plane) durch Einführung eines zentralen SDN-Controllers für die Control Plane und dezentralen einfachen, auf die Datenpaketweiterleitung (Forwarding) reduzierten SDN-Switches [14]. **Bild 4** zeigt vereinfachend die resultierende SDN-Architektur [14].

Die Regeln für das Weiterleiten (Forwarding) werden den SDN-Switches vom SDN-Controller z.B. per OpenFlow-Protokoll übermittelt. Solche einfachen SDN-Switches müssen nicht mehr zahlreiche Protokolle verstehen und auswerten können, sie müssen in der Hauptsache neben

dem Paket-Forwarding die Kommunikation mit dem SDN-Controller unterstützen.



**Bild 4** Prinzipielle SDN-Architektur [14]

Damit werden die Kosten reduziert, die Abhängigkeit von spezifischen Herstellern sinkt. Zudem wird ein komplettes, von einem SDN-Controller gesteuertes, aber aus vielen SDN-Switches bestehendes Transportnetz aus logischer Sicht ein einzelner Switch bzw. Router. Über APIs können SDN-Applikationen den SDN-Controller und damit das komplette Transportnetz programmieren, damit sein Verhalten zur Laufzeit verändern und somit in der Folge kurzfristig neue Netzdienste für Switching, Routing, Multicast, QoS, Bandbreitenmanagement, Traffic Engineering, Zugriffssteuerung, Energieverbrauch etc. implementieren [14; 15].

Dies führt zu zahlreichen Anwendungsfällen, bei denen SDN vorteilhaft eingesetzt werden kann: Cloud-Orchestrierung, Load Balancing, Routing-Anpassungen, Verkehrs-Monitoring und -Messungen, Netzmanagement bez. Policies, applikationsspezifische Netzoptimierung, Testnetze für Forschung sowie Parallelbetrieb mehrerer virtueller Transportnetze (Netzwerk-Slices bzw. -Scheiben) [15; 16].

## 5 Mobilfunknetze der 4. und 5. Generation

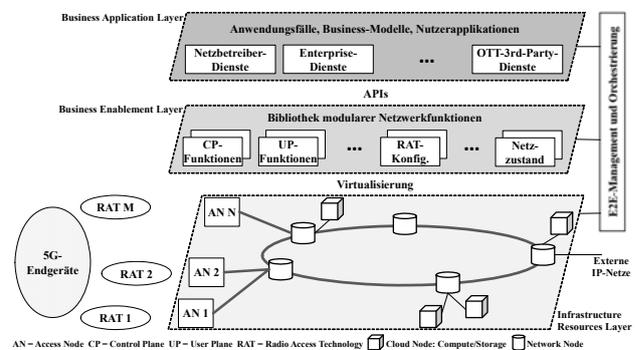
U.a. bei den Mobilfunknetzen werden zahlreiche Anwendungsfelder für NFV gesehen: beim EPC und seinen Netzelementen, beim IMS mit den CSCFs (Call Session Control Function) und dem HSS (Home Subscriber Server) sowie bei den Mobilfunkbasisstationen [17]. Dies gilt vor allem ab den 4G-Mobilfunknetzen.

Strenggenommen zählen erst Mobilfunknetze mit LTE-Advanced-Technik zu 4G, d.h. Systeme ab UMTS Release 10. Für solche 4G-Netze wurden eine ganze Reihe von Leistungsmerkmalen bzw. Techniken definiert, die wiederum eine Rolle bei Mobilfunknetzen der 5. Generation spielen könnten. Zu erwähnen sind hier verschiedene RATs (Radio Access Technology) und heterogene Netze mit unterschiedlichen Funkzellengrößen (Heterogeneous Networks, HetNets), leistungsfähiges Interferenzmanagement, hohe Dichte von Basisstationen (Ultra Dense Networks, UDN), Relaying (auch mit bewegten Relay-Knoten) und Device-to-Device-Kommunikation (D2D, Proximity-based Services) [18; 19].

Obwohl es sich bei 5G Anfang 2015 noch weitgehend um eine reine Vision handelt, gibt es bereits Gesamtsichten, ausgehend von den Anforderungen über Anwendungsfälle (Use Cases), Funktionen, Technologien und Frequenzen

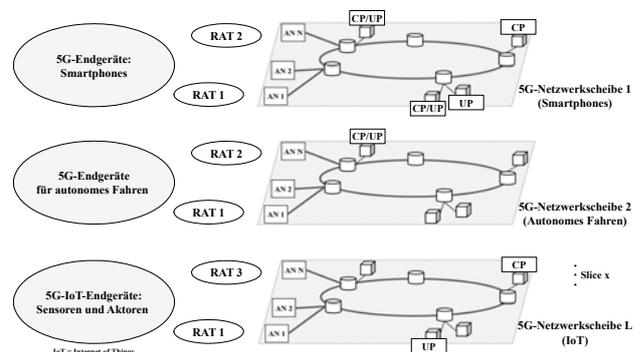
bis hin zu Netzarchitekturüberlegungen. An dieser Stelle sind insbesondere die NGMN Alliance mit u.a. [20; 28] und das EU-Projekt METIS (Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society) [21; 22] zu nennen. Die Hauptanforderungen sind sehr hohe Bitraten und Datenvolumina, sehr kurze Latenzzeiten, lange Batterielaufzeiten z.B. für Sensoren, sehr viele Endsysteme pro Access Point, hohe Verfügbarkeit u.a. [21; 20; 28].

Wegen der zum Teil je nach Anwendungsfeld stark divergierenden Anforderungen müssen von einem 5G-Netz unterschiedlichste Dienste an verschiedenen Orten mit stark variierender Bitrate und Anzahl an verbundenen Endgeräten bereitgestellt werden. Dies erfordert enorm hohe Flexibilität, Skalierbarkeit und Elastizität. Dies lässt sich aus heutiger Sicht am besten mit mehreren anwendungsspezifischen virtuellen Netzwerken auf einer physikalischen Infrastruktur auf Basis NFV und SDN realisieren [22]. Ergebnis könnte die in **Bild 5** gezeigte 5G-Netzarchitektur sein.



**Bild 5** 5G-Netzarchitektur nach NGMN [20; 28]

Auf dieser Basis ist es möglich, durch den Einsatz von NFV und SDN für verschiedene Anwendungsgebiete mit unterschiedlichen Anforderungen wie Smartphones, autonomes Fahren oder IoT (Internet of Things) jeweils optimale virtuelle Netze mit den benötigten Netzfunktionen auf einer einzigen physikalischen Plattform bereitstellen zu können (**Bild 6**).



**Bild 6** Verschiedene 5G-Netzwerkscheiben (Slices) auf Basis derselben physikalischen Infrastruktur [20; 28]

Dabei sind die einzelnen sog. Netzwerkscheiben (Network Slices) extrem skalierbar, d.h., es können nach Bedarf Rechenleistung, Speicher, virtuelle Maschinen und

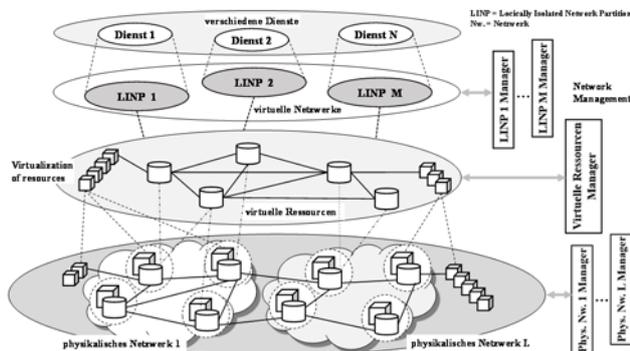
Netzfunktionen zu- bzw. abgeschaltet und/oder räumlich verschoben werden.

5G-Konzepte und -Technik befinden sich derzeit im Forschungsstadium. Eine kommerzielle Einführung von 5G-Systemen in den Netzen wird ab 2020 erwartet [20; 21; 28].

## 6 Future Networks

Auch im Kontext der von der ITU-T definierten „Future Networks“ [23] werden als wesentliche Schlüsseltechniken Network Functions Virtualisation (NFV), Software Defined Networking (SDN) und Cloud Networking, umschrieben mit der NFV-Funktionalität NaaS (Network as a Service), genannt.

Gemäß den ITU-T-Empfehlungen für Future Networks werden die physikalischen Netze bzw. Ressourcen (Netzwerke, Rechner und Speicherressourcen) partitioniert und als virtuelle Ressourcen (virtuelle Maschinen, virtuelle Netzwerkfunktionen) abstrahiert (**Bild 7**). Letztere bilden die Basis zur Bildung virtueller Netzwerke, sog. LINPs (Logically Isolated Network Partitions), die wiederum dienstspezifische Netze realisieren. Das bedeutet, dass die LINPs für verschiedene Dienste isoliert voneinander betrachtet werden können. Eine physikalische Ressource kann unter vielen virtuellen Ressourcen geteilt werden, während wiederum eine LINP sich aus zahlreichen virtuellen Ressourcen zusammensetzt [24].



**Bild 7** Future Networks mit Virtualisierung [24]

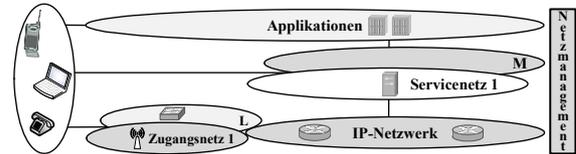
Dieser bereits 2011/12 veröffentlichte Ansatz [23; 24] erinnert stark an die von der NGMN-Initiative (Next Generation Mobile Networks) anvisierte, in Kapitel 5 bereits skizzierte 5G-Netzarchitektur [20; 28].

## 7 Netzentwicklung

Ausgehend von den bisherigen Betrachtungen und Überlegungen soll in diesem Kapitel ein Ausblick auf die Zukunft der Telekommunikationsnetze gewagt werden.

**Bild 8** zeigt ein modernes, dem NGN-Konzept genügendes Telekommunikationsnetz, hier bereits als All IP-Netz gezeichnet. Es genügt den NGN-Kennzeichen [3; 2] und basiert daher auf einem IP-Paketnetz für alle Dienste (Transport Layer), separaten, u.a. Call Server enthaltenden Servicenetzen (Call Control Layer) sowie darauf aufgesetzt einer Applikationsplattform für Mehrwertdienste (Application Layer). Vorteile sind u.a. eine Offenheit für

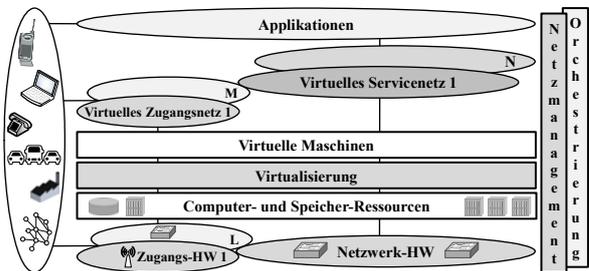
neue Dienste, die Trennung der Verbindungs- und Dienststeuerung vom Nutzdatentransport, eine gute Skalierbarkeit sowie die Möglichkeit hoher Bitraten. Letzteres wird erleichtert durch die Möglichkeit der Anbindung verschiedener leitungsgebundener oder funkbasierter Zugangsnetze. Dies führt zu einem konvergenten Netz. Zum anderen erhöhen diese Zugangsnetze genauso wie die Servicenetze (Network Slices) die Flexibilität. Ergänzt wird diese vorteilhafte Netzarchitektur durch ein übergreifendes Netzmanagement [2].



**Bild 8** NGN bzw. All IP-Netz in einer Layer-Struktur

Die durch Bild 8 beschriebene Netzarchitektur und -struktur entspricht heutigen modernen Telekommunikationsnetzen bzw. in wenigen Jahren zu erreichenden Zielnetzen.

In einer nächsten Stufe könnten zukünftige Telekommunikationsnetze wie folgt aufgebaut sein (**Bild 9**). Die unterste Ebene (Transport Layer) besteht im Wesentlichen nur noch aus Hardware: Zugangsnetzknotten für verschiedene Draht-, Glasfaser- und Funk-basierte Zugangstechniken, SDN Switches, optischen Übertragungssystemen sowie Standard-Computer- und -Speicher-Ressourcen, die u.a. in Rechenzentren zur Verfügung gestellt werden.



**Bild 9** Ein Future Network in einer Layer-Struktur [2]

Darüber liegend stellt eine Virtualisierungsschicht (Virtualisation Layer) virtuelle Maschinen für virtuelle Netzwerkfunktionen zur Verfügung. Basierend auf flexibel instanzierbaren und räumlich verschiebbaren virtuellen Maschinen werden im Call Control Layer nach Bedarf und angepasst an die zu unterstützenden Dienste und Endgeräte (Telefone, Computer, Tablets, Smartphones, Autos, Fabriken, Sensor- und Aktornetze etc.) virtuelle Zugangs- und Servicenetze als Netzwerkscheiben (Network Slices) orchestriert.

Darauf aufsetzend laufen, ebenfalls als virtuelle Instanzen, die Applikationen zur Bereitstellung der Mehrwertdienste, z.B. für Smartphones, Car-to-X oder Industrie 4.0 (Application Layer).

Gesteuert werden die virtuellen Applikationen, Dienste, Netzwerkfunktionen, virtuellen Maschinen und HW-Ressourcen durch ein Orchestrierungssystem. Inbetriebnahme, laufendender Betrieb und Netzüberwachung wer-

den durch ein übergreifendes Netzmanagementsystem unterstützt.

## 8 Literatur

- [1] ETSI Mobile Competence Centre: Overview of 3GPP Release 8 V0.3.3. 3GPP, September 2014
- [2] Trick, Ulrich; Weber, Frank: SIP und Telekommunikationsnetze. 5. Auflage. De Gruyter Oldenbourg, 2015
- [3] Y.2001: General Overview of NGN. ITU-T, December 2004
- [4] Baglietto, Pierpaolo; Maresca, Massimo; Stecca, Michele; Moiso, Corrado: Towards a CAPEX-free Service Delivery Platform. Proc. 16th Int. Conf. on Intelligence in Next Generation Networks (ICIN), Berlin, October 2012
- [5] Carugi, Marco: Telecom Service Delivery Platforms and Application Stores. Int. Workshop "Innovative research directions in the field of telecommunications in the world", Moscow, July 2011
- [6] Boswarthick, David; Elloumi, Omar; Hersent, Olivier: M2M Communications – A Systems Approach. Wiley, 2012
- [7] Y.2060: Overview of the Internet of things. ITU-T, June 2012
- [8] Bahga, Arshdeep; Madiseti, Vijay: Internet of Things – A Hands-On Approach. Arshdeep Bahga & Vijay Madiseti, 2014
- [9] Bauer, Markus; Hilt, Volker: Network Functions Virtualization (NFV) and Software Defined Networking (SDN), Teil 4: Virtualisierung von Telekommunikationsdiensten. ITG News 01/2015, S. 20-22
- [10] Blenk, Andreas; Basta, Arsany; Kellerer, Wolfgang; Zinner, Thomas; Wamser, Florian; Tran-Gia, Phuoc: Network Functions Virtualization (NFV) and Software Defined Networking (SDN), Teil 1: Forschungsfragen und Anwendungsfälle. ITG News 01/2015, S. 10-13
- [11] GS NFV 002: Network Functions Virtualisation (NFV); Architectural Framework, V 1.2.1. ETSI, December 2014
- [12] ETSI ISG NFV: Network Functions Virtualisation – An Introduction, Benefits, Enablers, Challenges & Call for Action. SDN and OpenFlow World Congress, Darmstadt, October 2012
- [13] Carella, Guiseppe; Corici, Marius; Crosta, Paolo; Comi, Paolo; Bohnert, Thomas Michael; Corici, Andrea; Ancuta; Vingarzan, Dragos; Magedanz, Thomas: Cloudified IP Multimedia Subsystem (IMS) for Network Function Virtualization (NFV)-based architectures. Proc. of IEEE Symposium on Computers and Communication, Funchal, June 2014
- [14] ONF: Software-Defined Networking: The New Norm for Networks. ONF White Paper. Open Networking Foundation, April 2012
- [15] Jarschel, Michael; Zinner, Thomas; Hoßfeld, Tobias; Tran-Gia, Phuoc; Kellerer, Wolfgang: Interfaces, Attributes, and Use Cases: A Compass for SDN. IEEE Communications Magazine Vol 52 Issue 6 pp.210-217, June 2014
- [16] Montag, Josias: Software Defined Networking mit OpenFlow. Hauptseminararbeit TU München, Lehrstuhl Netzarchitekturen und Netzdienste, WS 2012/13
- [17] GS NFV 001: Network Functions Virtualisation (NFV); Use Cases, V 1.1.1. ETSI, December 2013
- [18] Cox, Christopher: An Introduction to LTE – LTE, LTE-Advanced, SAE, VoLTE and 4G Mobile Communications. John Wiley, 2014
- [19] TR 23.703: Study on architecture enhancements to support Proximity-based Services (ProSe) (Release 12). 3GPP, February 2014
- [20] El Hattachi, R.; Erfanian, J.: NGMN 5G Initiative White Paper – Executive Version 1.0. NGMN, December 2014
- [21] Osseiran, Afif; Boccardi, Frederico; Braun, Volker; Kusume, Katsutoshi; Marsch, Patrick; Maternia, Michal; Queseth, Olav; Schellmann, Malte; Schotten, Hans; Taoka, Hidekazu; Tullberg, Hugo; Uusitalo, Mikko A.; Timus, Bogdan; Fallgren, Mikael: Scenarios for the 5G Mobile and Wireless Communications: the Vision of the METIS Project. IEEE Communications Magazine Vol. 52 Issue 5 pp.26-35, May 2014
- [22] Monserrat, Jose F.; Droste, Heinz; Bulakci, Ömer; Eichinger, Josef; Queseth, Olav; Stamatiatos, Makis; Tullberg, Hugo; Venkatkumar, Venkatasubramanian; Zimmermann, Gerd; Dötsch, Uwe; Osseiran, Afif: Rethinking the Mobile and Wireless Network Architecture – The METIS Research into 5G. Proc. Conf. on Networks and Communications (EuCNC), Bologna, June 2014
- [23] Y.3001: Future networks: Objectives and design goals. ITU-T, May 2011
- [24] Y.3011: Framework of network virtualization for future networks. ITU-T, January 2012
- [25] BITKOM: IT-Strategie – Digitale Agenda für Deutschland. Studie BITKOM, 2014
- [26] Copeland, Rebecca: Telco App Stores – Friend or Foe. Proc. 14th Int. Conf. on Intelligence in Next Generation Networks (ICIN), Berlin, October 2010
- [27] TS 23.002: Network architecture (Release 13). 3GPP, December 2014
- [28] El Hattachi, R.; Erfanian, J.: NGMN 5G White Paper – Version 1.0. NGMN, February 2014