



CENTRAL OFFICE 2030 – EFFEKTIVE, NACHHALTIGE UND RESILIENTE TELE-KOMMUNIKATIONSNETZE IM ENERGIESYSTEM

Entwicklungstrends in Telekommunikationsnetzen

Dirk Kosiankowski
Monika Jäger
Dr. Michael Düser



**BORDERSTEP
INSTITUT**



**RWTHAACHEN
UNIVERSITY**



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

IMPRESSUM

KURZTITEL

Entwicklungstrends in Telekommunikationsnetzen

AUTORINNEN UND AUTOREN

Dirk Kosiankowski (Deutsche Telekom AG, GT-TEC)

Monika Jäger (Deutsche Telekom AG, GT-TEC)

Dr. Michael Düser (Deutsche Telekom AG, GT-TEC)

KONSORTIALFÜHRUNG

Deutsche Telekom AG

Dr. Andreas Gladisch

Winterfeldtstr. 21 | 10781 Berlin | www.telekom.com

PROJEKTPARTNER

Deutsche Telekom AG

Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gGmbH

Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen

Technische Universität Darmstadt

50Hertz Transmission GmbH

ZITIERVORSCHLAG

Kosiankowski, D., Jäger, M. & Düser, M. (2024). Entwicklungstrends in Telekommunikationsnetzen. Berlin: CO 2030 Konsortium.

FÖRDERMITTELGEBER

Das Projekt CO 2030 wird vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) sowie seinem Projektträger TÜV Rheinland Consulting GmbH gefördert.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

INHALTSVERZEICHNIS

Impressum.....	II
Inhaltsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis.....	V
1 Einleitung	1
2 Festnetz	3
2.1 Aufbau des Festnetzes / Netztopologie	4
2.2 Details zum Zugangsnetz	6
2.3 Equipment und Energieversorgung in Betriebsstellen	8
2.4 Trends im Festnetz	10
3 Mobilfunknetz	13
3.1 Aufbau des Mobilfunknetzes / Netzarchitektur	14
3.2 Komponenten einer Standard – Mobilfunkstation (Basisstation).....	17
3.3 Trends im Mobilfunk	18

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Entwicklung des Datenvolumens in Festnetzen in Deutschland	3
Abbildung 2: Topologie eines Telekommunikationsnetzes; Stern-/Baum-Strukturen und Vermaschung	5
Abbildung 3: Struktur des Zugangsnetzes	6
Abbildung 4: Von der Wohnung zur Vermittlungsstelle	7
Abbildung 5: Entwicklung der aktiven Breitbandanschlüsse im Festnetz in Deutschland	8
Abbildung 6: Typischer Aufbau der Energieversorgung einer Betriebsstelle.	9
Abbildung 7: Vergleich Telko-Provider Stack mit Cloud Provider	11
Abbildung 8: Funktionaler Vergleich klassischer Telko Hardware und virtueller Netzfunktionen	12
Abbildung 9: Entwicklung des Datenvolumens im Mobilfunk in Deutschland	13
Abbildung 10: Überblick Mobilfunknetz und Standorte	15
Abbildung 11: Mobilfunknetz und Funktionen im Überblick	16
Abbildung 12: Mobilfunknetz und Funktionen im Überblick	17
Abbildung 13: Weitere Entwicklung des Funk Zugangsnetzes (RAN)	18
Abbildung 14: Das RAN im 5G Netz	19
Abbildung 15: Überblick Open RAN	20

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AC	Alternating Current (Wechselstrom)
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
BBU	Baseband Unit
BNG	Border Network Gateway
BTS	Base Transceiver Station
CN	Core Network
CO	Central Office (Betriebsstelle; Vermittlungsstelle)
CORD	Central Office Re-architected as a Data Center
COTS	Commercial off the Shelf
C-RAN	Centralized Radio Access Network
CU	Centralized Unit
DC	Direct Current (Gleichstrom)
D-RAN	Distributed Radio Access Network
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
DU	Distributed Unit
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
EPC	Evolved Packet Core
FTTB	Fiber to the Building (Glasfaser bis zum Gebäude)
FTTC	Fiber to the Curb (Glasfaser bis zum Kabelverzweiger)
FTTEx	Fiber to the Exchange (Glasfaser bis zur Vermittlungsstelle)
FTTH	Fiber to the Home (Glasfaser bis zur Wohnung)
Glir	Gleichrichter
GSM	Global System for Mobile Communications (2G)
HAK	Hausanschlusskasten
HFC	Hybrid Fiber Coax
IMS	IP Multimedia Subsystem
IP	Internet Protokoll
KT	Kudentechnik
LAN	Local Area Network
LTE	Long-Term Evolution (4G)
MSp	Mittelspannung
NFV	Network Function Virtualisation
NSHV	Niederspannungshauptverteilung
NTBA	Network Termination Basisanschluss
OLT	Optical Line Terminal
oNEA	Ortsfeste Netzersatzanlage (i.a. Diesel-Generator)
pWDM	Passive Wavelength Division Multiplexing
RAN	Radio Access Network
RFU	Radio Frequency Unit
RLT	Raumlufttechnik
RRH/RRU	Remote Radio Head / Remote Radio Unit
RU	Radio Unit
SDN	Software Defined Networks
SIM	Subscriber Identity Module

Entwicklungstrends in Telekommunikationsnetzen

S-RAN	Single Radio Access Network
svVDSL	Super Vectoring Very High Speed Digital Subscriber Line
TAE	Telekommunikations-Anschluss-Einheit
Telko	Telekommunikation
TK	Telekommunikation
TV	Television (Fernsehen)
ÜP	Übergabepunkt
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
VDSL	Very High Speed Digital Subscriber Line
V-RAN	Virtual Radio Access Network
vVDSL	Vectoring Very High Speed Digital Subscriber Line
WLAN	Wireless Local Area Network
WR	Wechselrichter
xDSL	Any Digital Subscriber Line

1 Einleitung

Im Projekt CO 2030 werden Konzepte für einen nachhaltigen und resilienten Betrieb von Telekommunikationsnetzen und -infrastrukturen entwickelt. Dies geschieht am Beispiel der Deutschen Telekom AG, die über das größte Fest- und Mobilfunknetz in Deutschland verfügt. Über diese Netze werden Internetzugang, Telefonie, Fernsehangebote, Datendienste, etc. für Haushalte und gewerbliche Kunden angeboten.

Die Gebäudeinfrastruktur der Telekom besteht aus einigen tausend sogenannter Central Offices (veraltet: Vermittlungsstellen des Festnetzes). In diesen Gebäuden ist die telekommunikationsspezifische Technik (Telco-Equipment) untergebracht. Hinzu kommen die Standorte des Mobilfunknetzes, das parallel zum Festnetz existiert, jedoch technische und örtliche Überschneidungen mit den Central Offices, insbesondere im Aggregations- und Kernnetz, besitzt. Insgesamt hat sich die Netzinfrastruktur für Telekommunikation durch den Technologiewandel der letzten Jahrzehnte stark verändert. Während sie ursprünglich für eine analoge Vermittlung ausgelegt war, dient sie heute der Bereitstellung digitaler Dienste wie Voice-over-IP, Internetzugang, Streaming, etc.

Die große Herausforderung wird sein, wie in Zukunft ein nachhaltiger und resilienter Betrieb von Telekommunikationsnetzen gewährleistet werden kann. Ziel ist dabei, am Beispiel der TK-Netzinfrastruktur der Deutschen Telekom zu untersuchen, wie das Netz mit einem zukünftigen, auf erneuerbaren Energien beruhenden Versorgungssystem zusammenwirken kann. Dies soll zum einen eine vollständige Versorgung des Telekommunikationsnetzes mit erneuerbaren Energien ermöglichen. Zum anderen soll die mögliche Rolle der Netzinfrastruktur zur Stabilisierung einer stärker fluktuierenden Energieversorgung bewertet werden.

Um die Ziele des Vorhabens CO 2030 zu erreichen, ist es daher zunächst notwendig, die Netzinfrastruktur, seine Typologie sowie seine wichtigsten Eigenschaften und Aufgaben genauer zu verstehen. Hierzu sei angemerkt, dass die eigentliche Telefonie (Voice over IP) heute nur einen kleinen Anteil des Datenverkehrs im Telekommunikationsnetz ausmacht, während die Masse des übermittelten Datenvolumens durch Internetservices (Internetnutzung, Streaming, Gaming, etc.) verursacht wird. In nahezu allen bekannten Projektionen wird von einem weiter steigenden Datenvolumen im Telekommunikationsnetz in den nächsten Jahren ausgegangen.

Im Folgenden sollen Trends in Telekommunikationsnetzen für das Fest- und das Mobilfunknetz beschrieben werden.

Als generelle Trends im Fest- und Mobilfunknetzbereich sind zu nennen:

- *Disaggregation*: Trennung/Aufteilung von Hardware-Komponenten
- *Virtualisierung*: Trennung von Hard- und Software unter Verwendung von Standard Server Hardware (COTS) und einer virtuellen Softwareumgebung. Netzfunktionen zur Steuerung des Netzes und Kundenservices laufen in der virtuellen Softwareumgebung.
- *Cloudifizierung*: Netzfunktionen und Dienste können in speziellen Rechenzentren des Netzbetreibers oder qualifizierten Dritten bereitgestellt werden
- *Edge Computing*: Realisieren von Funktionen und Services die eine geringe Latenz erfordern (Antwortzeit des Netzes) näher zum Kunden (Dezentralisierung; Rechenzentren direkt hin zum Kunden oder in neue kundennahe Datacenter).

Entwicklungstrends in Telekommunikationsnetzen

- *Kupfer zu Glas:* Im Festnetz werden sich die Kundenanschlüsse von Kupfer (Koaxialkabel oder Doppelader-Kabel) hin zur Glasfaser entwickeln (FTTEx/FTTC → FTTH)
- *mmWellen Technik:* Im Mobilfunk werden mehr und mehr Frequenzen (Trägerfrequenzen) im Bereich 10 – 100 GHz genutzt, da hier viel mehr Spektrum und damit mehr Kapazität im Funk/Mobilfunkbereich zur Verfügung steht.

2 Festnetz

Über die Festnetze in Deutschland wird heute der Großteil des zu übertragenen Datenvolumens transportiert. Hier werden jährliche Zuwachsraten beim Datenvolumen von mehr als 20% erreicht. Im Jahr 2022 wurde ein Volumen von 121 Mrd. Gigabyte an Daten transportiert (siehe Abbildung 1).

Datenvolumen in Festnetzen

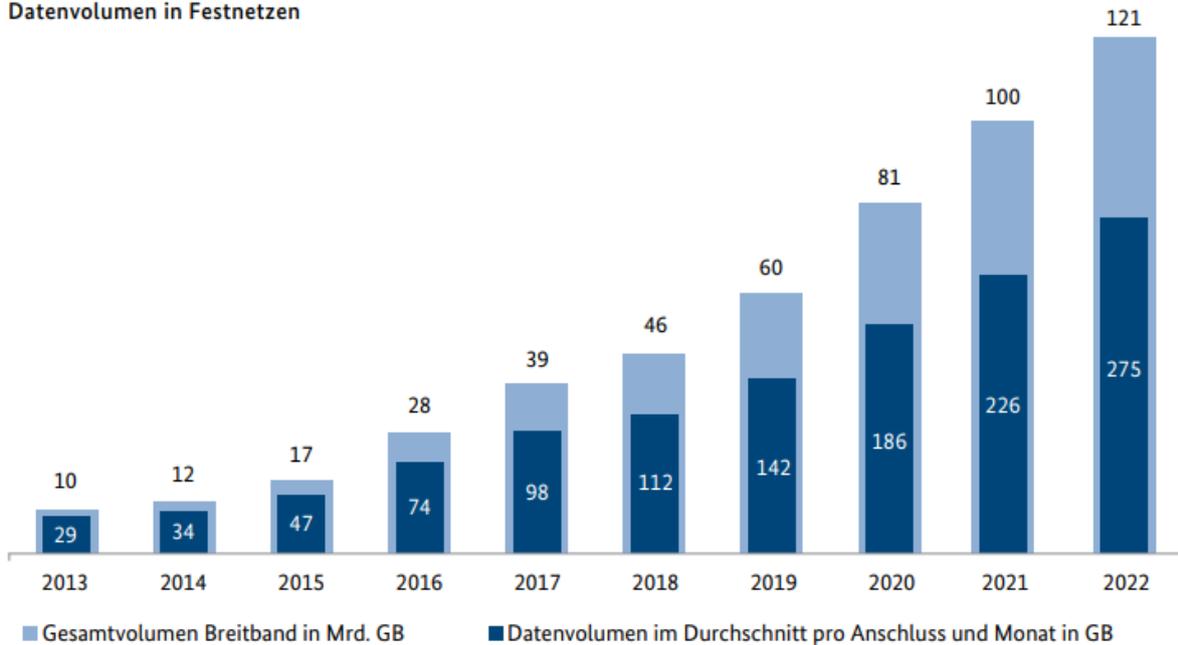


Abbildung 1: Entwicklung des Datenvolumens in Festnetzen in Deutschland¹

Wurden früher Daten- und Telefonverbindungen zwischen den Nutzern leitungsvermittelt (Zubringer- und Abnehmerleitungen wurden für die Dauer beispielsweise eines Telefonats über ein Koppelfeld fest miteinander verbunden), hat sich heute die paketvermittelte IP-Technik durchgesetzt.² Jede Art von Daten, ob Telefonie (Voice over IP) oder Internetservices (Internetnutzung, Streaming, Gaming, TV, etc.) sind heute IP-basiert.

Die Telekommunikationsnetze in Deutschland werden von verschiedenen Betreibern angeboten, haben aber meist eine ähnliche Struktur und Bauweise. Das Festnetz strukturiert sich in verschiedene Ebenen (Zugangsnetz, Aggregations- oder Metronetz und das Kernnetz). In jeder Ebene kommen unterschiedliche Komponenten an Technik/Equipment zum Einsatz. Untergebracht sind diese Technikkomponenten in den Betriebsstellen (auch Central Offices – CO genannt). Über Transportnetze, die heute ausschließlich über Glasfasern geführt werden (pWDM, DWDM), werden die Betriebsstellen miteinander vernetzt. Durch eine ausgeklügelte Verknüpfung (Knoten- und Kantendisjunkte Wegeführung) der Betriebsstellen zusammen mit einem resilienten Aufbau der Technik wird ein Telekommunikationsnetz hochverfügbar und ausfallsicher.

Der Aufbau des Festnetzes, seine Netztopologie, Details zum Zugangsnetz und die verschiedenen Techniken in einer Betriebsstelle werden in den folgenden Kapiteln behandelt.

¹ Jahresbericht Telekommunikation der Bundesnetzagentur https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Be-richte/2023/JB_TK_2022.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (Zugriff: am 22.11.2023)

² Quelle: Deutsche Telekom AG. „Telekom erklärt, wie eine Vermittlungsstelle funktioniert.“ <https://www.telekom.com/de/blog/netz/artikel/telekom-erklart-wie-einvermittlungsstelle-funktioniert-65588> (Zugriff am: 22.11.2023).

2.1 Aufbau des Festnetzes / Netztopologie

Der Aufbau eines typischen Telekommunikationsnetzwerks wird in Abbildung 2 dargestellt. Die drei Netzbereiche haben unterschiedliche Aufgaben:

- *Zugangsnetz (Access)*: Hier erfolgt der Anschluss der Kunden an das Netz des Betreibers. Je nach gewählter Anschlusstechnik werden die Verbindungen in die Wohnungen der Kunden über Glasfaser- (FTTH; FTTB) oder Kupfer-Leitungen (Koax- oder Doppelader) realisiert. Vom Netzabschluss beim Kunden (Network Termination/WLAN Router beim Kunden) erfolgt das Zusammenführen der einzelnen Leitungen zur Betriebsstelle mit dem korrespondierenden Zugangsknoten (Access Node) in einer Baum- oder Sternartigen Struktur. Bei Verwendung von Glasfaserleitungen (FTTH; FTTB) kommen aktive optische Netze (AON in Punkt-zu-Punkt Bauweise) oder passive (PON in Punkt-zu-Mehrpunkt Bauweise) zum Einsatz. Bei Verwendung von Kupferkabeln sind werden symmetrische Koaxkabel (Kabel-TV, Internet, Telefonie) oder Kupfer-Doppelader-Kabel mit xDSL-Technik eingesetzt (ADSL, VDSL, vVDSL, svVDSL – Digital Subscriber Line).
- *Aggregationsnetz (Aggregation oder Metro-Netze)*: Die Zugangsnetz-Knoten sind sternförmig an die Aggregationsknoten herangeführt. Aufgrund der überschaubaren Entfernungen kommen hier einfache pWDM (passive Wavelength Division Multiplexing) optische Übertragungssysteme für den Datentransport zum Einsatz. Hauptfunktion der Aggregationsknoten ist die Anzahl an Leitungen zwischen Access- und Core zu reduzieren und den Datenverkehr mehrerer Zugangsnetz-Bereiche zu bündeln und an den zugehörigen Kernnetz-Standort der Region weiterzuführen. Der Transport dorthin wird üblicherweise mit Glasfasern und DWDM-Technik (Dense Wavelength Division Multiplexing) realisiert. Die Aggregationsknoten fungieren oftmals als Gateway zum IP-Netz des Providers.
- *IP-Kernnetz (Core)*: An den Kernnetzstandorten kommen IP-Router zum Einsatz, um den Datenverkehr im IP-Kernnetz mit anderen Standorten zu ermöglichen. Die Standorte sind in großen Metropolen, um z.B. auch den Austausch und die Anbindung an benachbarte Netze und Provider zu ermöglichen (Interconnection, IP-Peering, IP-Transit) und auch die Verbindung mit großen Rechenzentren zu ermöglichen. Um auch große Entfernungen zwischen den Standorten zu überbrücken sind die IP-Router mittels Glasfaser und DWDM -Technik untereinander vermascht. Dadurch wird höchste Verfügbarkeit und schneller Datenaustausch auf kürzesten Wegen erreicht.

Entsprechend betreibt die Telekom bundesweit ca. 7.500 Standorte mit Zugangsnetz Funktionalitäten, an 900 von diesen Standorten sind zusätzlich noch Funktionalitäten des Aggregationsnetzes zu finden und wiederum an 20 von diesen Standorten sind auch Funktionalitäten des Kernnetzes vorhanden.³

³ S.23, Filipczak, N. (2023): Green and Economic Information Network Nodes – Technological, economic, and environmental optimization of central offices in Germany (unveröffentlichte Masterarbeit, Energy Science and Engineering). Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.

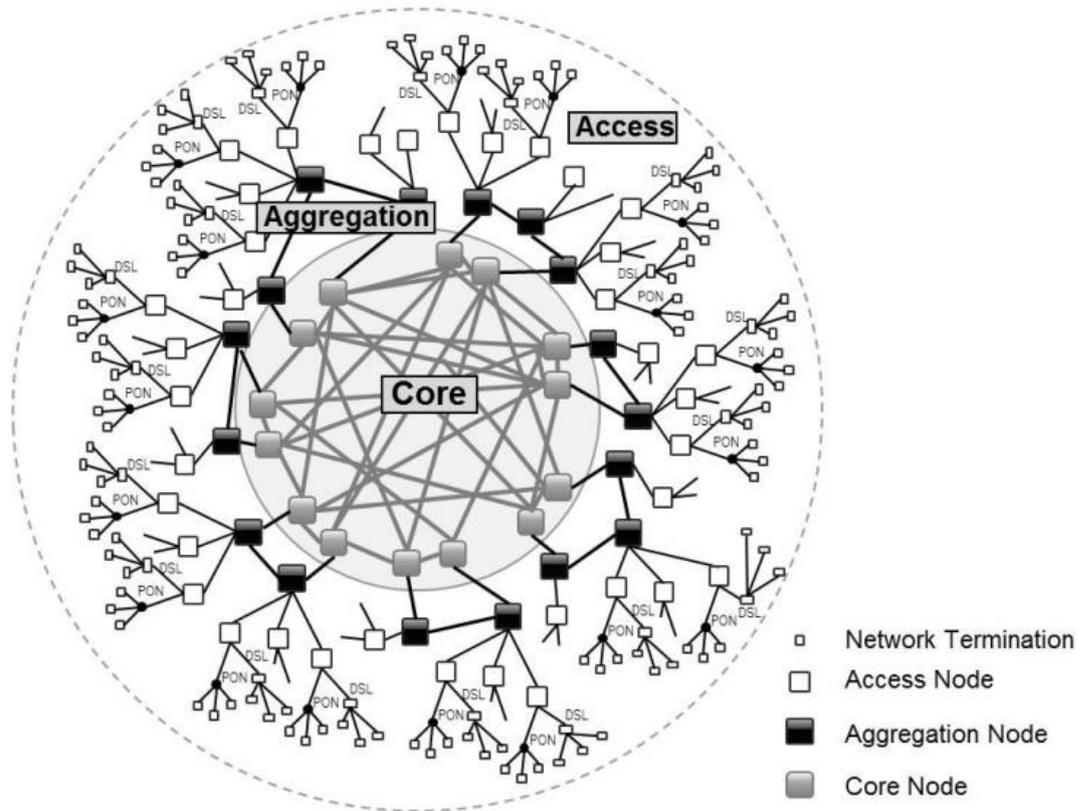


Abbildung 2: Topologie eines Telekommunikationsnetzes; Stern-/Baum-Strukturen und Vermaschung⁴

⁴ Comprehensive Topology and Traffic Model of a Nationwide Telecommunication Network; A. Betker et al “ <https://opus4.kobv.de/opus4-zib/files/5267/Netzmodell.pdf> (Zugriff am 22.11.2023)

2.2 Details zum Zugangsnetz

Das Zugangsnetz der Telekom besteht aus ca. 5.200 Ortsnetzen, wobei jedes eine eigene Vorwahl hat⁵ und unterschiedlich groß (Fläche) sein kann. Große Ortsnetze (z.B. in Berlin und Hamburg) sind in kleinere Anschlussbereiche unterteilt, die aber den gleichen Aufbau/Struktur haben. Abbildung 3 zeigt diese Struktur anschaulich.

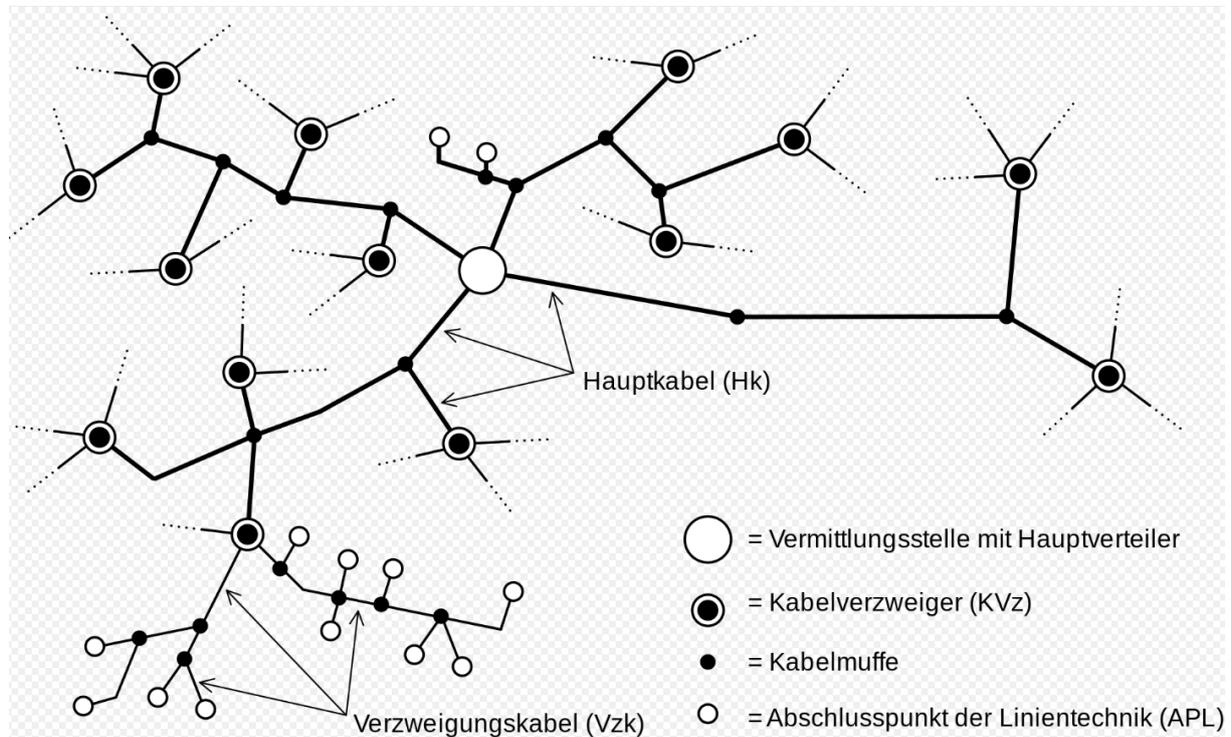


Abbildung 3: Struktur des Zugangsnetzes⁶

Von der Vermittlungsstelle (Central Office – CO) in der die aktive Telekommunikationstechnik steht (DSLAMs für xDSL-Technik und OLTs für FTTH⁷) gehen sternförmig die Hauptkabel ab, verzweigen sich an Kabelmuffen und enden in den Kabelverzweigern⁸. Neben den klassischen Kupfer-Hauptkabeln liegen heute auch Glasfasern in den Trassen für FTTC- und FTTH-Versorgung⁹ des Anschlussbereiches/Ortsnetzes. Einige Kabelverzweiger beherbergen heutzutage auch aktive Technik (Outdoor-DSLAMs für FTTC¹⁰) um die IP-basierten Breitbandanschlüsse der Telekom auf Basis der xDSL-Technik mit hohen Bandbreiten realisieren zu können (Abbildung4). Die Outdoor-DSLAMs sind in diesem Fall mit Glasfasern an die Betriebsstelle (CO) angeschlossen.

Von den Kabelverzweigern gehen die Verzweigungskabel ab, die baumartig an Kabelmuffen abzweigen und bis zu den Häusern der Kunden geführt werden, wo sie im Abschlusspunkt der Linientechnik (APL) enden. Von dort werden dann noch Kupferkabel in die jeweilige Wohnung geführt, wo sie an einer

⁵ Wikipedia „Anschlussbereich“ <https://de.wikipedia.org/wiki/Anschlussbereich> (Zugriff am 23.11.2023)

⁶ Wikipedia „Zugangsnetz“ <https://de.wikipedia.org/wiki/Zugangsnetz> (Zugriff am 23.11.2023)

⁷ Telekom Blog „Telekom erklärt, wie eine Vermittlungsstelle funktioniert.“ <https://www.telekom.com/de/blog/netz/artikel/telekom-erklart-wie-eine-vermittlungsstelle-funktioniert-65588#:~:text=Betriebsstellen%20sind%20die%20zentralen%20Service-punkte,was%20den%20gesamten%20Betrieb%20vereinfacht> (Zugriff am 23.11.2023)

⁸ Wikipedia „Kabelverzweiger“ <https://de.wikipedia.org/wiki/Kabelverzweiger> (Zugriff am 23.11.2023)

⁹ Telekom Blog „Glasfaseranschluss: Für zuverlässiges Highspeed-Internet“ <https://www.telekom.com/de/konzern/details/ftth-ftb-fttc-glasfaseranschluss-in-glasfasernetzen-607592> (Zugriff am 23.11.2023)

¹⁰ Telekom Blog „Stromsparen: Der beste Kartentrick der Telekom“ [Stromsparen: Der beste Kartentrick der Telekom](https://www.telekom.com/de/konzern/details/stromsparen-der-beste-kartentrick-der-telekom) (Zugriff am 23.11.2023)

TAE-Dose an, an der der Kunden-Router angeschlossen ist, welcher das lokale IP-Netz des Kunden (WLAN, LAN) bedient (siehe Abbildung 4).



Abbildung 4: Von der Wohnung zur Vermittlungsstelle¹¹

Um die Glasfaser final bis ins Gebäude bzw. die Wohnung (FTTB- bzw. FTTH-Versorgung¹²), der Kunden zu bringen ist das Kupfer-Verzweigungskabel vom Kabelverzweiger bis zur Wohnung mit Glasfaser und verschiedenen optischen Kopplern zu überbauen. Das ist der aktuelle Trend u.a. im Zugangsnetz der Telekom.

- *Trend - Kupfer zu Glas:* Im Festnetz werden sich die Kundenanschlüsse im Zugangsnetz von Kupfer (Koaxialkabel oder Doppelader-Kabel) hin zur Glasfaser entwickeln (FTTEx/FTTC → FTTB/FTTH)

¹¹ Telekom Blog „IP-Umstellung: Von ISDN zum Internet Protokoll - 10 Fragen und Antworten“ <https://www.telekom.com/de/blog/netz/artikel/10-fragen-und-antworten-zur-ip-umstellung-65450> (Zugriff am 13.11.2023)

¹² Telekom Blog „Glasfaseranschluss: Für zuverlässiges Highspeed-Internet“ <https://www.telekom.com/de/konzern/details/ftth-fttb-fttc-glasfaseranschluss-in-glasfasernetzen-607592> (Zugriff am 23.11.2023)

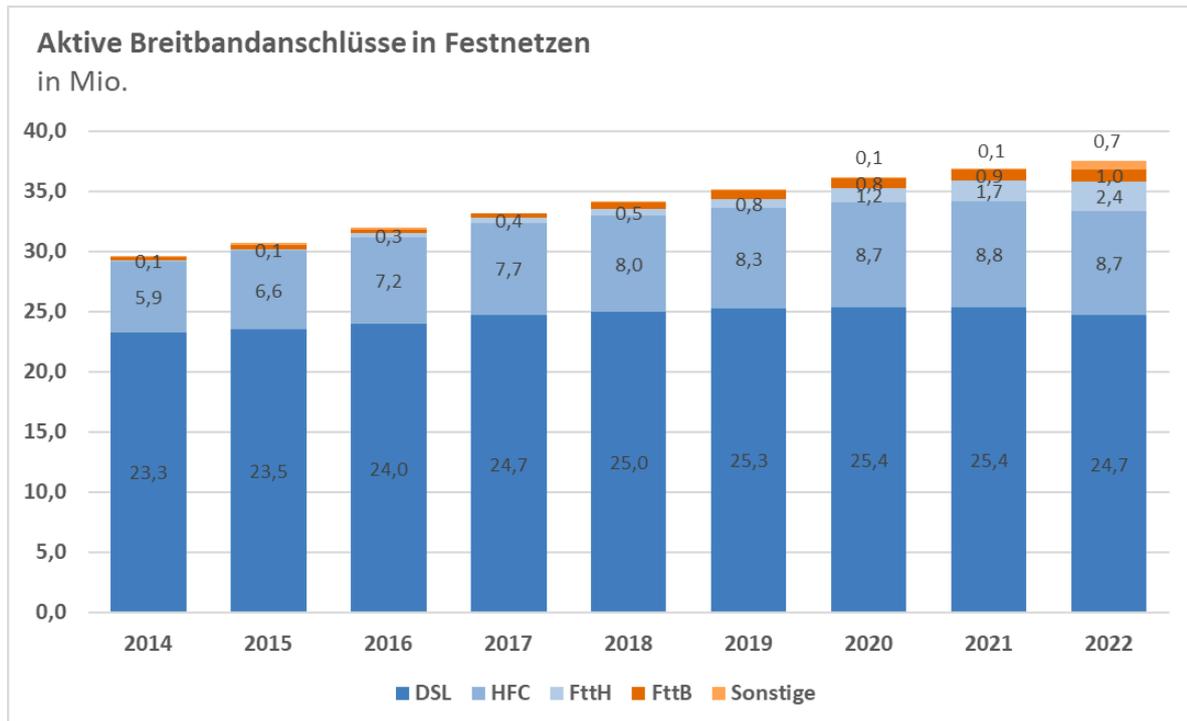


Abbildung 5: Entwicklung der aktiven Breitbandanschlüsse im Festnetz in Deutschland¹³

Abbildung 5 zeigt die Entwicklung der Breitbandanschlüsse im Festnetz in Deutschland. In 2022 gehen erstmals die klassischen Kupfer-basierten DSL- und HFC- (Hybrid Fiber Coax) Anschlüsse zurück und FTTH-/FTTB-Anschlüsse nehmen signifikant zu.

2.3 Equipment und Energieversorgung in Betriebsstellen

Basierend auf den drei Standort Klassen (Access-, Aggregations- und Kernnetz-Standorte) und den Funktionen/Services, die dort realisiert werden sollen, wird spezielles Telekom Equipment vorhanden sein.

- Access-Standorte:** Hier werden die Kundenanschlüsse, basierend auf dem jeweiligen Medium, auf dem Kupfer- bzw. Glasfaser-Hauptverteiler abgelegt (passive Infrastruktur). Kupferleitungen (Doppelader-Kabel) werden dort auf die DSLAMs rangiert, um diverse xDSL-Anschlüsse mit verschiedenen Bandbreiten zu realisieren.

Glasfaser-Leitungen werden zu den OLTs rangiert, wo verschiedene PON-Systeme für symmetrische und asymmetrische Datenübertragung zur Verfügung stehen.

Die Verbindungen zum korrespondierenden Aggregationsstandort erfolgt via Glasfaser und passiven WDM-Systemen.

Klassisch werden DSLAMs und OLTs mit 48/60V Gleichspannung batteriegepuffert über die Gleichrichter versorgt (siehe Abbildung 6).
- Aggregations-Standorte:** Ein Aggregations-Standort ist auch fast immer ein Access-Standort. D.h. die oben beschriebene Technik ist auch hier vorhanden. Zusätzlich sind hier noch die Aggregationsknoten (Border Network Gateways) aufgebaut, die den Zugang zum IP-Netz des Providers regeln.

Die Verbindung zum nächstgelegenen Kernnetz-Standort der zugehörigen Region erfolgt über

¹³ Jahresbericht Telekommunikation der Bundesnetzagentur S.11ff. https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Berichte/2023/JB_TK_2022.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (Zugriff: am 22.11.2023)

Glasfasern und aktiven DWDM-Systemen (Dense Wavelength Division Multiplexing).

Klassisch werden die Border Network Gateways und die DWDM-Systeme mit 48/60V Gleichspannung batteriegepuffert über die Gleichrichter versorgt (siehe Abbildung 6).

- **Kernnetz-Standorte:** Ein Kernnetz-Standort ist auch fast immer ein Access- und Aggregations-Standort. D.h. die oben beschriebene Technik ist auch hier vorhanden. Zusätzlich sind hier noch hochkapazitive IP-Router aufgebaut, die das IP-Kern-Netz (Backbone) des Providers ausmachen. Die Datenpakete können hier auf kürzesten Weg zwischen den Metropolen geroutet werden. An einigen Standorten des Kernnetzes sind auch wichtige Services des Providers stationiert die heute schon ausschließlich in Data Center artigen Architekturen gebaut werden (Data Center Switches, x86 basierte Server). Das sind u.a. Telefonie- (IMS, Voice over IP) und TV-Services (Mediatheken, Streaming, analog TV Streaming). Auch Teile/Funktionen des Mobilfunk-Kernnetzes und der Mobilfunk-Services werden hier kreiert.

Als Bestandteile des Transportnetzes sind hier ebenfalls DWDM-Systeme aufgebaut, einerseits die Gegenstelle der Verbindung der Aggregations-Standorte zum Kernnetz-Standort und auch die Systeme für die vielen Verbindungen der Kernnetz-Standorte untereinander.

Klassisch werden die IP-Router und die DWDM-Systeme mit 48/60V Gleichspannung batteriegepuffert über die Gleichrichter versorgt (siehe Abbildung 6). Die Data Center artigen Systeme werden allerdings an die gesicherte 230V USV angeschlossen.

Der 24/7-Betrieb jeder dieser einzelnen Standorte muss immer gewährleistet sein, damit das Informations- und Telekommunikationsnetz und entsprechende Dienste fortlaufend funktionieren. Dies Prämisse stellt hohe Anforderungen an die Verfügbarkeit sowohl der Energieversorgung (Spannungsebene, Spannungsstabilität, Stunden mit Batteriepufferung) als auch die Klimatisierung. Ein typischer Aufbau eines Betriebsstelle ist in Abbildung 6 dargestellt.

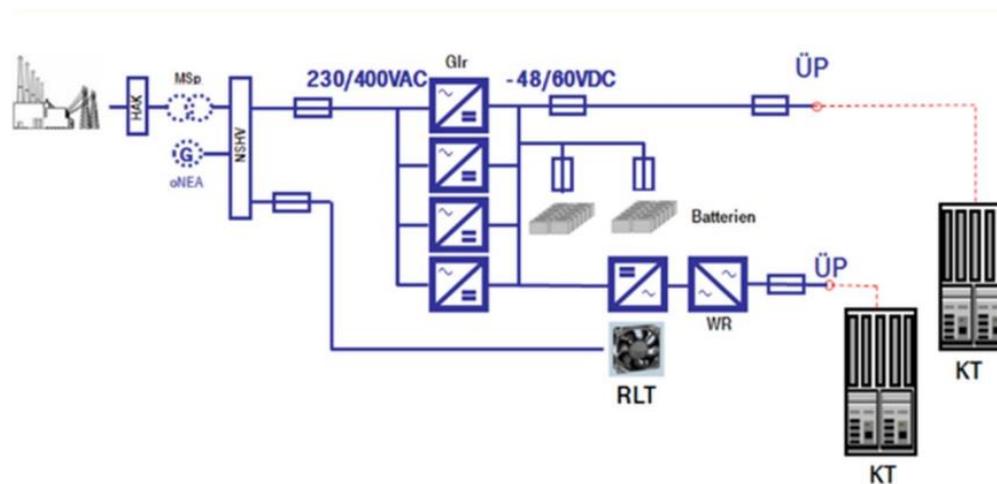


Abbildung 6: Typischer Aufbau der Energieversorgung einer Betriebsstelle.¹⁴

Typischerweise sind die Betriebsstellen in Deutschland am Verteilnetz angebinden, damit diese über den Hausanschlusskasten und entsprechender Niederspannungsverteilung mit Wechselstrom

¹⁴ S.23, Filipczak, N. (2023): Green and Economic Information Network Nodes – Technological, economic, and environmental optimization of central offices in Germany (unveröffentlichte Masterarbeit, Energy Science and Engineering). Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.

versorgt werden.¹⁵ In Fällen, wo der Leistungsbedarf der Betriebsstelle größer ist, ist auch die Anbindung an das Mittelspannungsnetz möglich, was den Einsatz einer Mittelspannungsschaltanlage samt einem Trafo nach sich zieht, um auf die notwendige Niederspannungsebene zu transformieren.

Im Falle einer längeren Unterbrechung des Verteilnetzes (Black Out) und um die Ausfallsicherheit der kritischen Infrastruktur zu gewährleisten, wird eine ortsfeste Netzersatzanlage (üblicherweise ein Dieselgenerator) in Kombination mit Batteriespeichersystemen zur Spannungsstabilisierung (Netzschwankungen) und kurzzeitigen Unterbrechungen (Brown Outs) eingesetzt. Die Batteriespeicher werden direkt hinter den Gleichrichtern parallel an die Verbraucherschienen angeschlossen, um Netzausfälle sofort abfedern zu können. Die Gleichrichter sind ebenfalls parallelgeschaltet, um auch hier die Ausfallsicherheit zu gewährleisten.

Für die klassische Telekommunikationstechnik ist der Übergabepunkt hinter den Batteriesystemen für 48V bzw. 60V Gleichspannung gedacht. Dort führen Kupferleitungen mit dicken Querschnitten (wegen der hohen Ströme die hier fließen) zu den Racks mit Kundentechnik (DSLAMs, OLTs, BNGs, IP-Router, DWDM-Systeme u.a).

Kundentechnik die 230V Wechselspannung erfordert (Server, Switches, Data Center Equipment) werden auch über die Batteriesysteme gepuffert, aber über einen zusätzlichen Wechselrichter auf 230V Wechselspannung geführt. Aufgrund von Netzwerktrends wie Disaggregation und Cloudifizierung werden immer mehr klassische Telco-Systeme in Standard x86 Server Hardware und einer Data Center artigen Bauweise realisiert.

2.4 Trends im Festnetz

Zu den wichtigsten Trends im Zugangsnetz und der Aggregation zählen:

- *Trend Disaggregation:* Trennung/Aufteilung von Hardware-Komponenten
- *Trend Virtualisierung:* Trennung von Hard- und Software unter Verwendung von Standard Server Hardware (COTS) und einer virtuellen Softwareumgebung

Trend Cloudifizierung: Netzfunktionen und Dienste können in speziellen, neu zu gestaltenden Rechenzentren des Netzbetreibers oder qualifizierten Dritten bereitgestellt werden. AT&T und das Open Networking Lab (ON.Lab) stellten mit CORD (Central Office Re-architected as a Data Center)¹⁶ stellten einen völlig neuen Ansatz vor, die klassische Telekommunikations-Hardware neu zu erfinden. Alle drei Trends sollen adressiert werden. Mit SDN (Software Defined Networks) sollen die Netzwerk-Steuerung von den Nutzerdaten getrennt werden und dadurch die Netzsteuerung programmierbar gemacht werden. Mit NFV (Network Function Virtualisation) sollen die Nutzerdaten nicht mehr von Spezial-Hardware sondern in virtuellen Software Instanzen bearbeitet werden. Und das Ganze soll in der Cloud laufen, also Software-basierte Lösungen, skalierbare Services und auf virtualisierten Standard-Server Plattformen (x86 Server).

Beim Vergleich der Ablauf-Prozesse in einem modernen Data Center und einem klassischen Telekommunikationsnetz Betreiber werden Komplexität und Silo-Bauweise in der Service Gestaltung sichtbar (siehe Abbildung 7).

¹⁵ Power & Air Solutions, Planungshandbuch PASM (Vers. 9.0). Intern, 2018.

¹⁶ L. Peterson, A. Bavier; "CORD: CENTRAL OFFICE RE-ARCHITECTED AS A DATACENTER" <https://www.flux.utah.edu/beyond-internet-workshops/sdi/Bavier,Andy-CORD: Central Office Re-architected as a Datacenter.pdf> (Zugriff am 23.11.2023)

Entwicklungstrends in Telekommunikationsnetzen

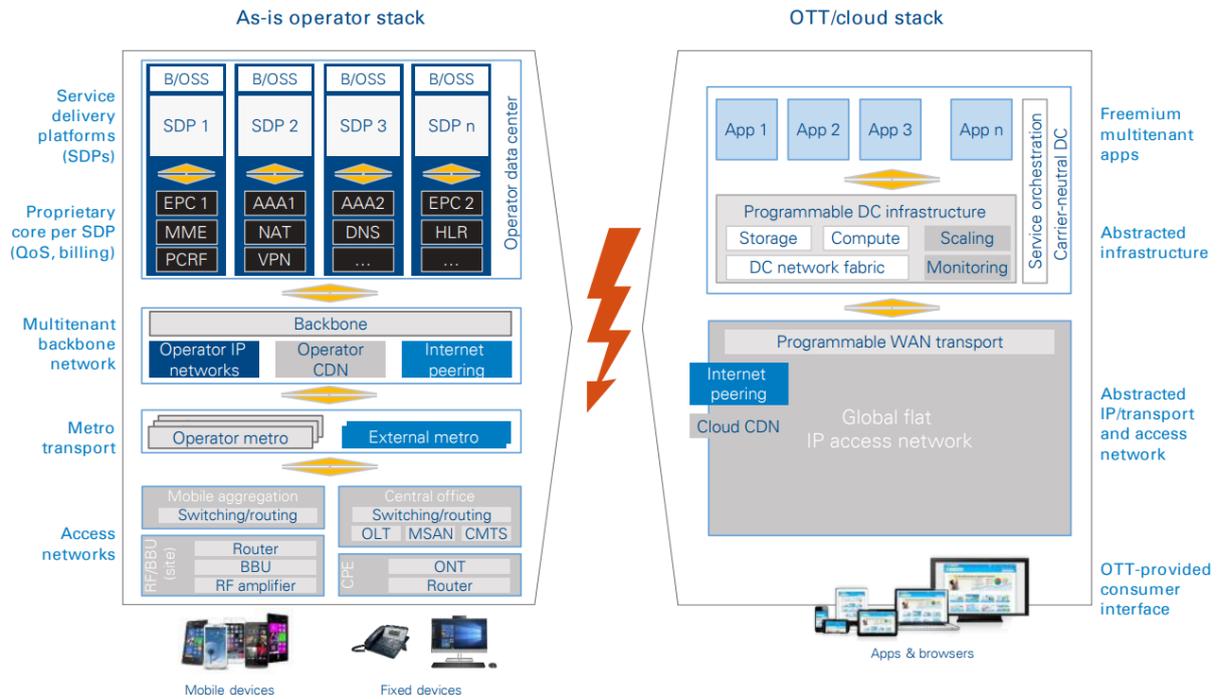


Abbildung 7: Vergleich Telko-Provider Stack mit Cloud Provider¹⁷

Durch diesen Ansatz lassen sich viele klassische Telekommunikations-Hardware Komponenten virtualisieren und auf Standard x86 Servern in einer Data Center Architektur realisieren. Equipment an Access-Standorten wie der OLT oder an Aggregationsstandorten wie der BNG sind heute als virtuelle Software-Instanz im Data Center lauffähig. Auch Routing Funktionalität wie im IP-Kernnetz sind realisierbar. Auch Komponenten des Mobilfunknetzes wie das LTE Kernnetz (EPC – Evolved Packet Core) oder die Basisband Einheit an klassischen Mobilfunkbasisstationen (BBU – Baseband Unit) lassen sich virtualisieren (siehe Abbildung 8).

¹⁷ Arthur D. Little et al „Who dares wins!“ <https://opennetworking.org/wp-content/uploads/2019/09/Who-dares-wins-Arthur-D-Little.pdf> (Zugriff: am 23.11.2023)

Entwicklungstrends in Telekommunikationsnetzen

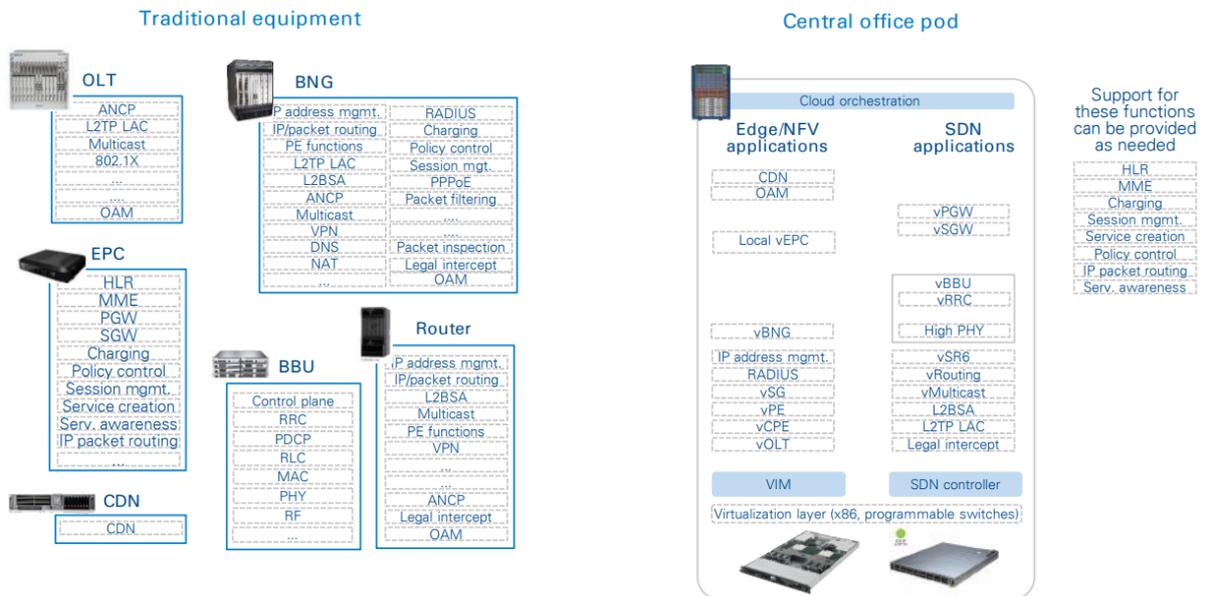


Abbildung 8: Funktionaler Vergleich klassischer Telko Hardware und virtueller Netzfunktionen¹⁸

Für die Energieversorgung in den Betriebsstellen des Telko-Operators hat das zur Folge (siehe Abbildung 6), dass der Versorgungsstrang der Kundentechnik mit 230V Wechselspannung zukünftig für wesentlich größere Leistungen ausgelegt werden muss.

¹⁸ Arthur D. Little et al „Who dares wins!“ <https://opennetworking.org/wp-content/uploads/2019/09/Who-dares-wins-Arthur-D-Little.pdf> (Zugriff: am 23.11.2023)

3 Mobilfunknetz

Ende der 1950er Jahre ging in Deutschland das erste öffentliche Mobilfunknetz in Betrieb (A-Netz). Es war ausschließlich handvermittelt und basierte auf analoger Sprachübertragung. Anfang der 1970er Jahre startete mit dem B-Netz die nächste Generation analoger Mobilfunknetze allerdings mit automatischer Vermittlung der Sprachverbindungen. Mit dem C-Netz (ab 1985) ging erstmals ein zellbasiertes analoges Mobilfunknetz in Betrieb (1G). Durch Veränderung der Größe der Funkzellen und Sektor-Bildung konnte die Kapazität des Netzes wesentlich gesteigert werden.

Ab der 2. Generation der zellularen Mobilfunknetze (2G; GSM) begann Anfang der 1990er Jahre der Siegeszug der digitalen Mobilfunknetze. Ca. alle 10 Jahre gibt es eine neue Mobilfunk-Generation mit neuen Features, mehr Kapazität (zusätzliche Trägerfrequenzen, mehr Spektrum) und mit LTE (4G) werden auch erstmals sowohl Daten als auch Sprache komplett IP-basiert transportiert.

Heute sind in Deutschland noch die Mobilfunkgenerationen 2G (GSM), 4G (LTE) und 5G aktiv.

- Trend: Alle 10 Jahre gibt es eine neue Mobilfunkgeneration (ca. 2030: 6G; ca. 2040: 7G)

Diese Entwicklung der immer leistungsfähigeren Funktechnologien ist der rasanten Entwicklung des zu übertragenden Datenvolumens geschuldet (vgl. Abbildung 3).

Datenvolumen in Mobilfunk

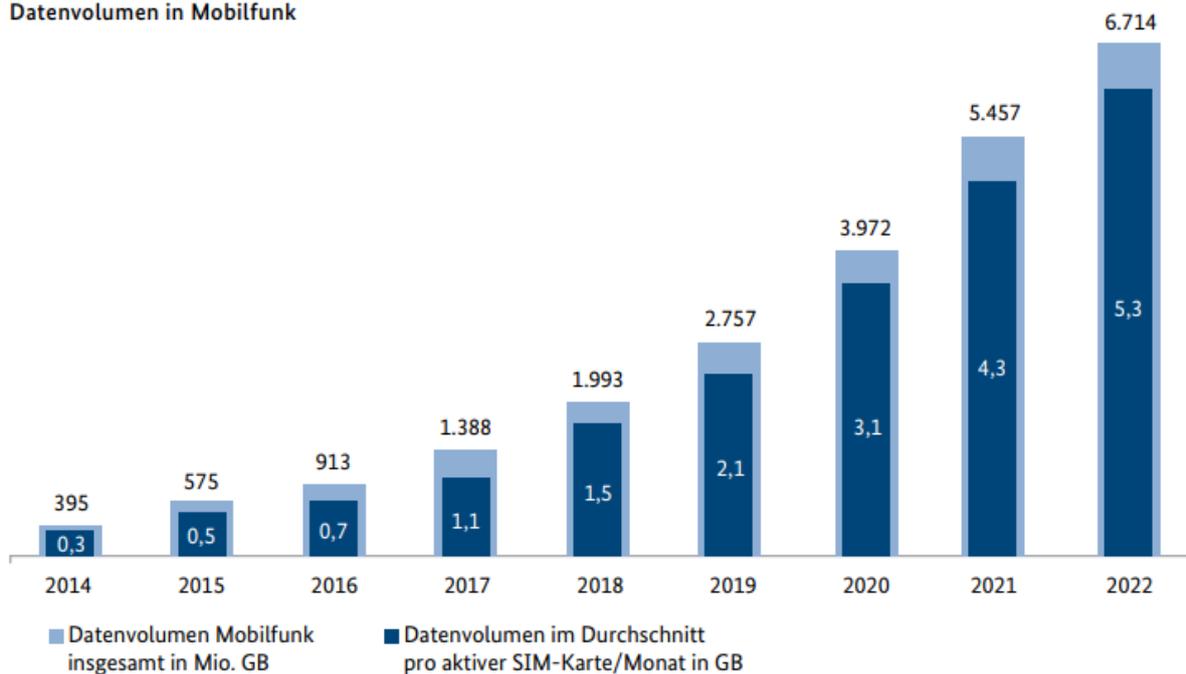


Abbildung 9: Entwicklung des Datenvolumens im Mobilfunk in Deutschland¹⁹

¹⁹ Jahresbericht Telekommunikation der Bundesnetzagentur https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Berichte/2023/JB_TK_2022.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (Zugriff: am 22.11.2023)

3.1 Aufbau des Mobilfunknetzes / Netzarchitektur

Das Mobilfunknetz auf Betreiberseite besteht aus dem Zugangsnetz (RAN – Radio Access Network) mit einer Vielzahl an Basisstationen und dem Kernnetz (CN – Core Network). Um den Datenverkehr zu und von den Basisstationen zum Kernnetz zu leiten, wird ein Transportnetz benötigt, das Verbindungen zu Standorten des Aggregationsnetzes realisiert und ebenfalls Verbindungen von den Aggregationsnetzstandorten zum Kernnetz etabliert. An Aggregationsnetzstandorten wird lediglich eine

Bündelung (Multiplexing) der Verbindungen bzw. Daten vorgenommen und zum nächstgelegenen Kernnetzstandort weitergeleitet (siehe Abbildung 10).

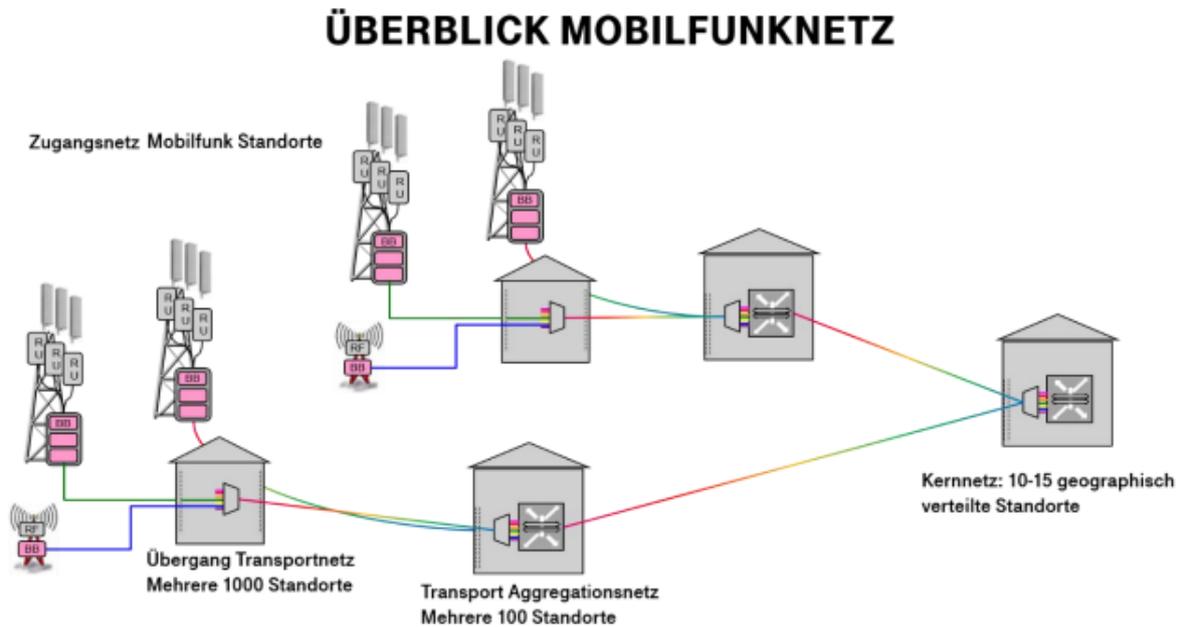


Abbildung 10: Überblick Mobilfunknetz und Standorte²⁰

Hier besteht die Möglichkeit die Daten/Sprache zu anderen Netzen zu übergeben (Interconnection mit Dritten; Internet) oder aber eigene Services für die Kunden zu generieren (Sprache, TV, Mehrwertdienste, IMS).

Abbildung 11 zeigt die Bestandteile des Netzes und die wichtigsten Funktionen der einzelnen Komponenten.

²⁰ Mobilfunknetze erklärt <https://www.bundestag.de/resource/blob/908164/8124058f9c68d93c9e7292baf133537b/Stellungnahme-Thomas-Tschersich-Deutsche-Telekom-data.pdf> (Zugriff: am 16.11.2023)

MOBILFUNKNETZ IM ÜBERBLICK

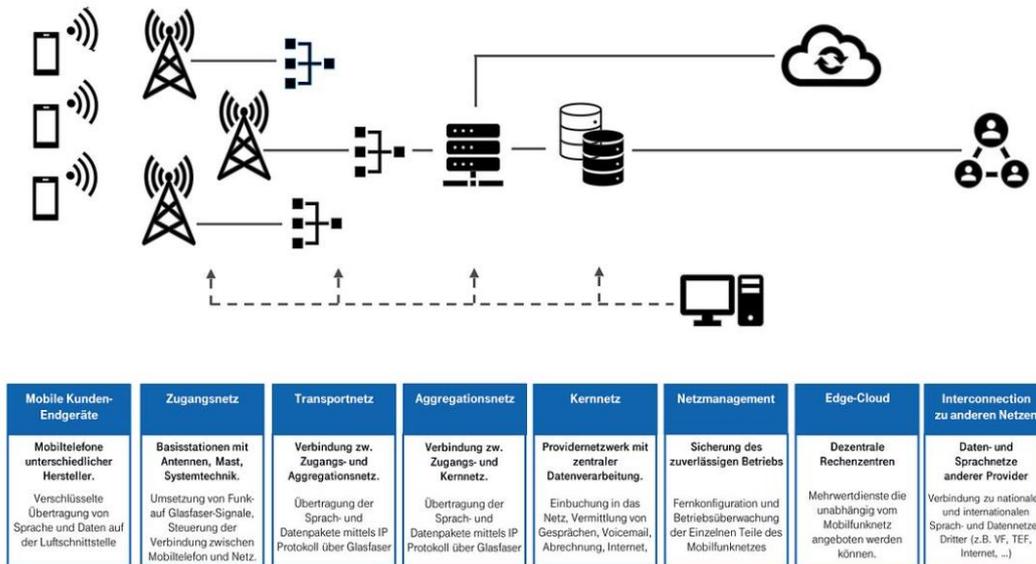


Abbildung 11: Mobilfunknetz und Funktionen im Überblick²¹

²¹ Telekom Blog „5G plus China ergibt Fragezeichen“ <https://www.telekom.com/de/blog/konzern/artikel/5g-plus-china-ergibt-fragezeichen-1041624> (Zugriff: am 30.10.2023)

Von der BBU erfolgt die Anbindung zum jeweiligen Kernnetz meist über Glasfaser-Leitungen. An schwer zugänglichen Standorten (Berg, Insel) ohne Glasfaser-Anbindung kommen auch Richtfunk-Übertragungsstrecken zum Einsatz.

3.3 Trends im Mobilfunk

Die in Abbildung 5 dargestellte heutige Bauweise einer Basisstation (BTS - Base Transceiver Station) hat bereits einen Evolutionsschritt und damit Trend im Mobilfunknetz vollendet. Die Disaggregation einzelner Komponenten der Systemtechnik. Früher war die komplette Systemtechnik aus Funkeinheit, Signalverarbeitung und Anbindung ans Kernnetz im Betriebsraum (Container, Cabinet) untergebracht. Durch die teilweise sehr langen Koaxkabel Verbindungen zu den Antennen an der Mastspitze kam es zu hohen Leistungsverlusten. Um diesen Effekt zu minimieren und auch die Aufwände zum Kühlen der Verstärker in der Funkeinheit zu reduzieren, wurde die Funkeinheit von der Signalverarbeitung abgeteilt und näher an die Antenne gebracht (Remote Radio Unit). Die Basisband Einheit (BBU) für die Signalverarbeitung verblieb im Betriebsraum.

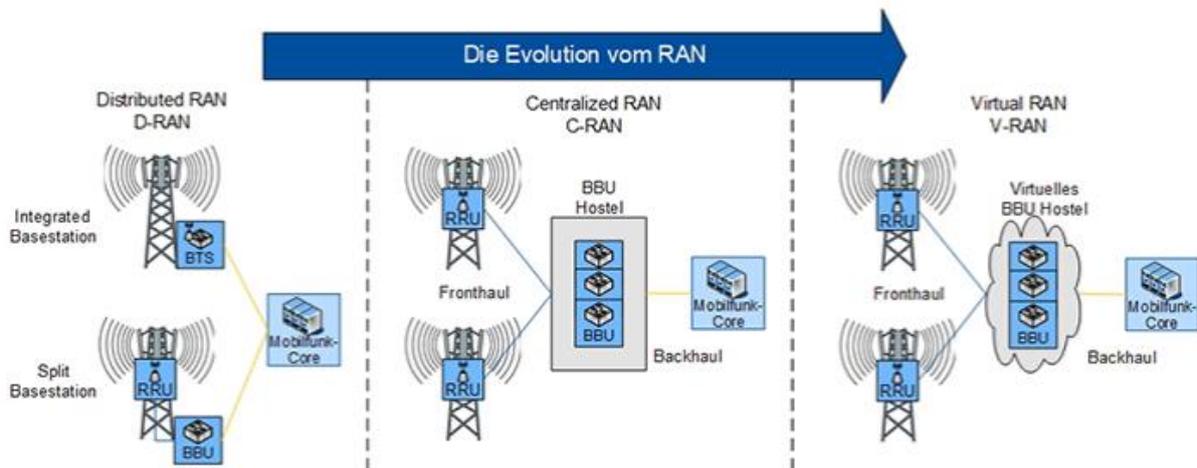


Abbildung 13: Weitere Entwicklung des Funk Zugangsnetzes (RAN)²³

In einem weiteren Schritt kann nun die BBU an einen zentraleren Ort im Netz verlagert werden (C-RAN) um dadurch eine Reduzierung der Komplexität an den Basisstationsstandorten zu erreichen. Noch immer ist dabei die BBU Spezial-Hardware des Herstellers und auch die Software stammt vom gleichen Hersteller. Im nächsten Schritt wird die BBU schließlich virtualisiert (V-RAN). Es erfolgt eine Trennung von Hard- und Software, wobei die Hardware nun Standard Server (COTS – Commercial off the Shelf) sein können und die Software in einer virtualisierten Umgebung im Rechenzentrum des Netzbetreibers laufen kann. Dadurch kann u.a. die Auslastung des Equipments verbessert werden.

- *Trend Disaggregation:* Trennung/Aufteilung von Hardware-Komponenten
- *Trend Virtualisierung:* Trennung von Hard- und Software unter Verwendung von Standard Server Hardware (COTS) und einer virtuellen Softwareumgebung

²³ ComConsult GmbH „Technischer Überblick über Open RAN“ <https://www.comconsult.com/technischer-ueberblick-ueber-open-ran/> (Zugriff am 17.11.2023)

Entwicklungstrends in Telekommunikationsnetzen

Die Virtualisierung der Netzkomponenten aber auch der Netzfunktionen ist eine wichtige Voraussetzung für die Cloudifizierung. Virtualisierte Hardwareinstanzen und Netzfunktionen können in einer beliebigen Cloudumgebung (Rechenzentrum) laufen.

- *Trend Cloudifizierung:* Netzfunktionen und Dienste können in speziellen Rechenzentren des Netzbetreibers oder qualifizierten Dritten bereitgestellt werden

Einen weiteren Schritt der Disaggregation geht man mit 5G. Hier wird auch die BBU weiter aufgesplittet in einen zentraleren Teil (Centralized Unit – CU) und einer verteilten Einheit (distributed Unit – DU). Insbesondere die Latenzanforderungen bei Echtzeit- und fast- Echtzeit Anwendungen machen es erforderlich die Distanzen zwischen den Standorten, wo die Netzfunktionen realisiert sind, zu begrenzen.

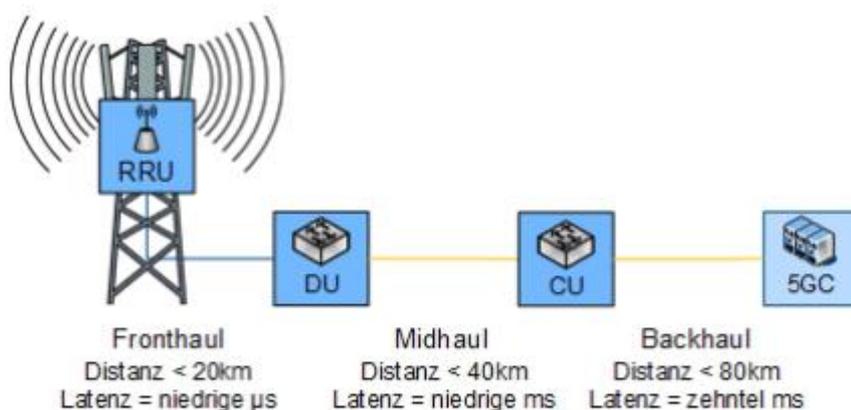


Abbildung 14: Das RAN im 5G Netz²⁴

Ein weiterer Trend im Mobilfunkzugangnetz ist die Öffnung der teils proprietären Schnittstellen zwischen den Komponenten aber auch die Möglichkeit Hard- und Software von unterschiedlichen Herstellern und Anbietern zu ermöglichen. Offene Schnittstellen, größere Herstellervielfalt und mehr Tempo bei Innovationen verspricht man sich. Allerdings könnte die Integration der verschiedenen Hersteller auch zu größerer Komplexität führen. Das Open RAN soll dies ermöglichen und Lösungen finden.

- *Trend Open RAN:* allgemeiner Oberbegriff für den Ansatz, Hard- und Software zu trennen und offene Schnittstellen zu schaffen²⁵

²⁴ ComConsult GmbH „Technischer Überblick über Open RAN“ <https://www.comconsult.com/technischer-ueberblick-ueber-open-ran/> (Zugriff am 17.11.2023)

²⁵ bitkom „Open RAN“ https://www.bitkom.org/sites/default/files/2021-03/210322_open-ran-handreichung.pdf (Zugriff am 17.11.2023)

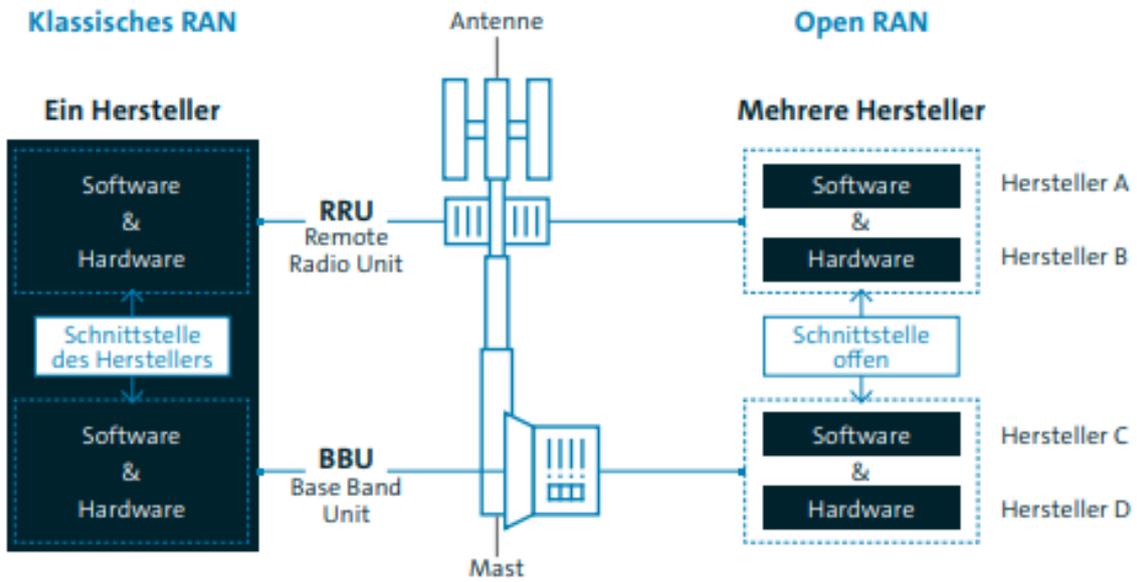


Abbildung 15: Überblick Open RAN²⁶

²⁶ bitkom „Open RAN“ https://www.bitkom.org/sites/default/files/2021-03/210322_open-ran-handreichung.pdf (Zugriff am 17.11.2023)