
Breitbandtechnologien heute und morgen

Ergebnisdokument der Projektgruppe Technologien
UAG Breitband | AG 8



Inhalt

Abbildungsverzeichnis	3
Einleitung	4
Leitungsgebundene	5
Zugangsnetze	5
__ Kupfertechnologien	5
___ Vectoring – Kupfertechnologie von heute	6
___ G.fast – Kupfertechnologie von morgen	8
___ 5GBB – Kupfertechnologie von übermorgen	9
__ Glasfasertechnologien	10
___ Point-to-Point – Glasfasertechnologie von heute	10
___ GPON – Glasfasertechnologie von heute	11
___ NG-PON1 – Glasfasertechnologie von morgen	12
___ NG-PON2 – Glasfasertechnologie von übermorgen	13
__ Breitbandkabelnetze	14
___ Datenübertragung in Breitbandkabelnetzen	15
___ Langfristige Entwicklung der Breitbandkabelnetze	16
Mobilfunknetze	19
Internet via Satellit	21
Transportnetze	23
__ Software-Defined Networking	25
Fazit	27

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiele für NGA-Zugangspunkte der höheren Ebenen im Gesamtnetz	5
Abbildung 2: Übersicht über leitungsgebundene Access-Technologien basierend auf Kupferadern	6
Abbildung 3: Übersicht über Anwendungsszenarien leitungsgebundener Access-Technologien	7
Abbildung 4: Auswirkung von Vectoring auf die erzielbare Bandbreite im Verhältnis zur Leitungslänge	8
Abbildung 5: Übersicht über die Leistungsfähigkeit von G.fast im Vergleich zu VDSL2	9
Abbildung 6: Übersicht über glasfaserbasierte Access-Technologien	11
Abbildung 7: Aufbau eines GPON-Netzes	13
Abbildung 8: Darstellung von Diensten/Betreibern auf der Basis von NG-PON2, unterschieden nach spezifischen Wellenlängen	14
Abbildung 9: Beispiel für mögliche Frequenznutzung durch Mobilfunk	22
Abbildung 10: KA-SAT-Infrastruktur	25
Abbildung 11: KA-SAT-Abdeckung in Deutschland (7 KA-SAT-Spotbeams)	26
Abbildung 12: Einzellösung für einen Haushalt	26
Abbildung 13: Einfluss von SDN auf die bisherige Netzarchitektur (Quelle: ONF)	30

Einleitung

Das vorliegende Dokument beschreibt Breitbandtechnologien zur digitalen Datenübertragung. Es behandelt Zugangstechnologien, über die Endnutzer Zugang zum breitbandigen Internet erhalten. Betrachtet werden aber auch Technologien für die Übertragung von Daten im nachgelagerten Transportnetz.

Die dargestellten Zugangstechnologien tragen dazu bei, die Breitbandziele der Bundesregierung zu erreichen, bis 2018 jeden Haushalt in Deutschland mit 50 Mbit/s zu versorgen. Über das 50-Mbit/s-Ziel hinaus werden in diesem Dokument auch die mittelfristig abzusehenden weiteren Entwicklungen und Potenziale der Breitbandtechnologien beschrieben. Damit soll verdeutlicht werden, dass der Breitbandausbau nicht mit dem aktuell gesteckten Ziel abgeschlossen sein wird und sein darf, sondern als kontinuierlicher Entwicklungsprozess hin zu immer breitbandigeren Netzen zu verstehen ist.

Zur Realisierung von Zugangsnetzen der nächsten Generation (sogenannte Next-Generation-Access-Netze – NGA) gibt es sowohl leitungsgebundene als auch funkbasierte Zugangstechnologien (siehe Abbildung 1: Beispiele für

NGA-Zugangspunkte der höheren Ebenen im Gesamtnetz). Unter den leitungsgebundenen Zugangsnetzen werden Netze mit Zweidraht-Kupferleitungen, Glasfasernetze sowie Breitbandkabelnetze dargestellt. Zu den funkbasierten Netzen gehören Mobilfunknetze sowie die Satellitenübertragung. Darüber hinaus wird inzwischen auch WLAN (Wireless Local Area Network) als Zugang von Telekommunikationsnetzbetreibern angeboten. WLAN stellt einen zu den dargestellten Technologien komplementären Baustein für die ortsunabhängige Nutzung von Breitband dar. Aufgrund der begrenzten Reichweiten ist diese Technologie für die Zielerreichung einer möglichst flächendeckenden Versorgung allein weniger geeignet. Zusätzlich zur Verwendung einzelner hier beschriebener Technologien gibt es die Möglichkeit, in einem Empfangsgerät des Nutzers verschiedene Zugangstechnologien zu kombinieren und zu bündeln und damit den maximal erreichbaren Datendurchsatz zu steigern. Diese Lösungsvariante wird in diesem Dokument jedoch nicht näher betrachtet, da es sich nicht um eine originäre Zugangstechnologie handelt.

Funkbasierte Zugangstechnologien können typischerweise schnell und vergleichsweise kostengünstig in großen Flächen zur Verfügung gestellt werden, da sie keine aufwendigen Verlegungsarbeiten, insbesondere bei unterirdischer Verlegung der Anschlussleitungen, der Teilnehmer erfordern. Insofern können funkbasierte Technologien die Verfügbarkeit von NGA beschleunigen und den leitungsgebundenen Ausbau dort ergänzen, wo die Besiedlungsdichte den Aufwand für die kostenintensiven Verlegungsarbeiten neuer leitungsgebundener Technologien derzeit wirtschaftlich nicht rechtfertigen kann.

Abschließend noch ein Hinweis auf die in den nächsten Kapiteln folgenden Technologiebeschreibungen. Diese beinhalten die Funktionsweise, den Datendurchsatz und wie er unter aus heutiger Sicht realistischen Einsatzbedingungen erzielbar ist sowie einen Überblick der maßgeblichen Randbedingungen, die für den Einsatz unter Realbedingungen zu beachten sind.

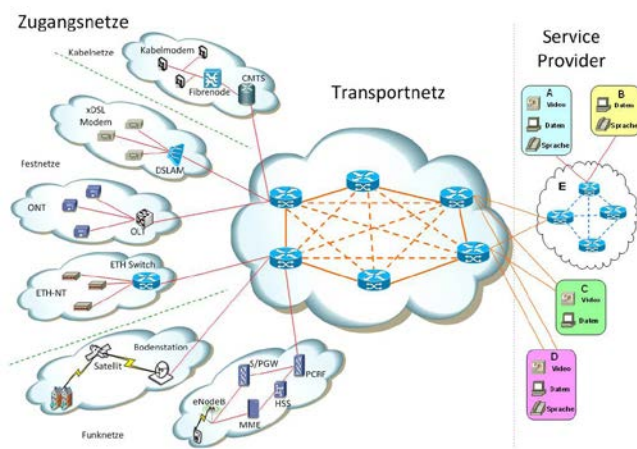


Abbildung 1: Beispiele für NGA-Zugangspunkte der höheren Ebenen im Gesamtnetz
© NGA Forum

Leitungsgebundene Zugangsnetze

Das Access- bzw. Zugangsnetz wird als Teil eines leitungsgebundenen Telekommunikationsnetzes verstanden, an das die Teilnehmer direkt angeschlossen sind und über das sie Zugang zu Internetdiensten haben – im Gegensatz zum Backbone-Netz. Technisch gesehen liegt das Access-Netz / Zugangsnetz zwischen dem Teilnehmeranschluss und der ersten Vermittlungseinheit bzw. dem ersten Netzknoten des Transportnetzes. Dabei gibt es unterschiedliche Zugangstechnologien. Bei den meisten davon handelt es sich um (leitungsgebundene) Festnetzzugänge. Diese basieren im Wesentlichen auf drei Technologien:

- Kupfertechnologien
- Glasfasertechnologien
- Breitbandkabeltechnologien

Im nachstehenden Textabschnitt werden die Wirkweisen und Potenziale von Kupfer- und Glasfasertechnologien für die Versorgung mit breitbandigem Internet näher dargestellt. Breitbandkabeltechnologien werden im Kapitel Technologie der Breitbandkabelnetze eingehend behandelt.

Kupfertechnologien

Kupferadern werden seit über hundert Jahren zur Übertragung von Sprache verwendet. Die ersten Heimcomputer brachten auch die Nachfrage nach der Übertragung von Daten, welche über die vorhandene Kupferinfrastruktur mittels Akustik-Koppler und Modem realisiert wurde. Die steigende Bandbreitennachfrage leitete die stetige Weiterentwicklung der Datenübertragung über die vorhandene Kupfer-Telefonkabel-Infrastruktur ein, sodass heute selbst die Sprache als Daten übertragen wird. Nur aufgrund der – für die immer höheren Bandbreiten notwendigen – hohen Frequenzen wird die nutzbare Leitungslänge mit den höheren Bandbreiten immer geringer.

Die nachfolgend im Dokument dargestellten Bandbreiten beziehen sich auf Werte unter Laborbedingungen, die real erreichbare Bandbreite liegt aufgrund externer Einflussfaktoren in der Regel unterhalb dieser Werte.

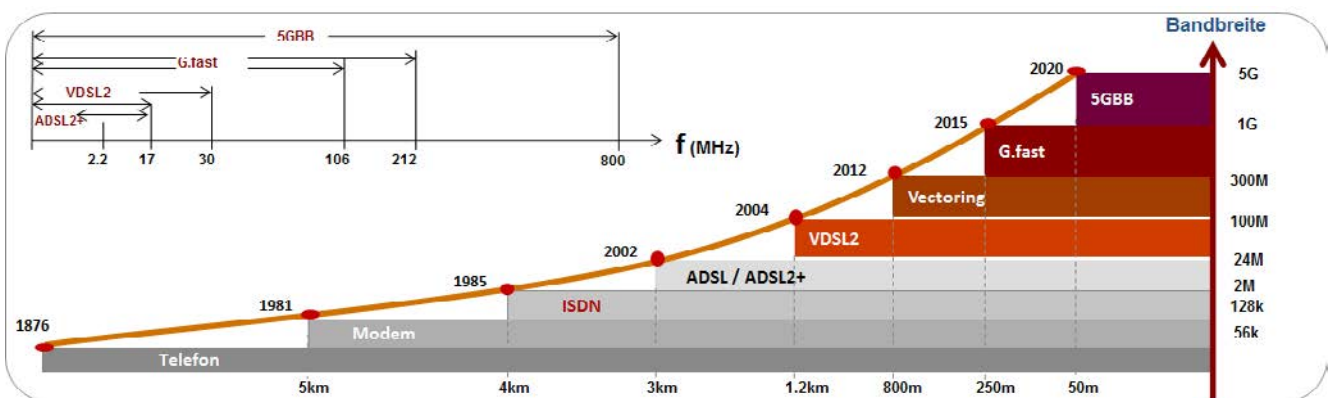


Abbildung 2: Übersicht leitungsgebundener Access-Technologien basierend auf Kupferadern
© Huawei Technologies, Shenzhen

Leitungsgebundene Access-Technologien: Anwendungsszenarien

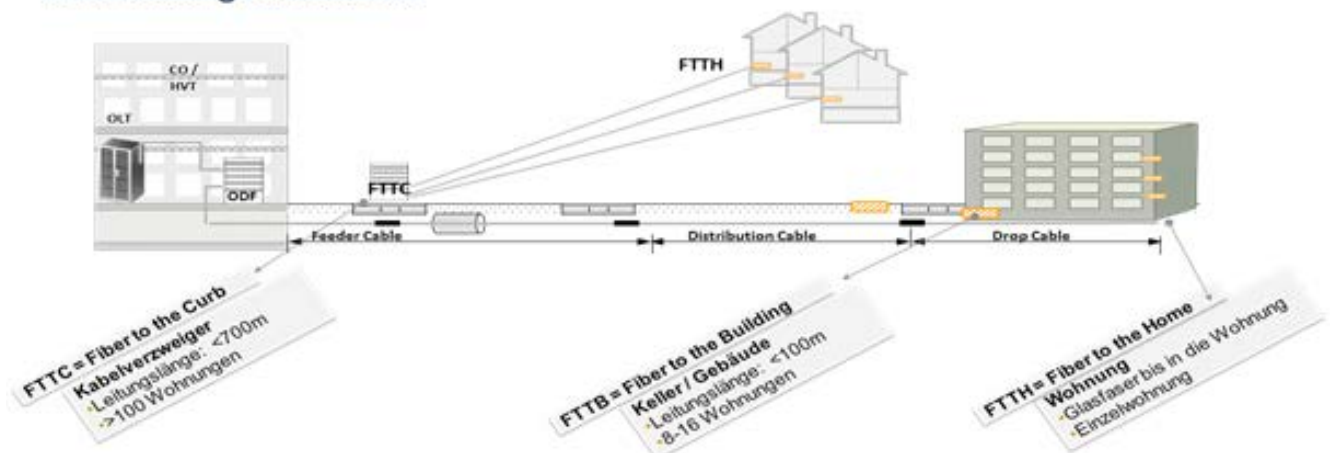


Abbildung 3: Übersicht von Anwendungsszenarien leitungsgebundener Access-Technologien
© Huawei Technologies, Shenzhen

Vectoring – Kupfertechnologie von heute

Beschreibung und Leistungsfähigkeit der Technologie

Bei DSL-Anschlüssen verringert sich die nutzbare Bandbreite einer Verbindung sowohl mit der Länge der Leitung als auch mit der Anzahl von Teilnehmern, die im selben Kabel bzw. Leitungsbündel DSL verwenden. Je höher die Anzahl der Teilnehmer, umso stärker werden die Leitungen in einem Bündel durch Übersprechen gestört. Durch das Vectoring-Verfahren wird diese Störung eliminiert und das DSL-Signal mit optimaler Ausbeute an Bandbreite übertragen. Bandbreiten von 100 Mbit/s können so mit Leitungslängen von bis zu 400 Metern realisiert werden.

Diese Technologie kann in grober Näherung mit einem aktiven Kopfhörer verglichen werden, der störende Umgebungsgeräusche durch entsprechende „Gegengeräusche“ kompensiert.

Vectoring wird im Rahmen eines FTTC-VDSL-Ausbaus verwendet. Dabei werden Glasfasern bis zu den Standorten von Kabelverzweigern (KVz) verlegt und für die „letzte Meile“ wird die bestehende Kupferinfrastruktur benutzt. Der Vorteil dieser Ausbauvariante eines NGA-Netzes ist, dass die Kosten – im Vergleich zu Glasfasernetzen bis zum Gebäude des Teilnehmers – vergleichsweise niedrig ausfallen und der Ausbau wesentlich schneller realisiert werden kann. Prinzipbedingt verlangt Vectoring danach,

auf alle Teilnehmeranschlussleitungen (TAL) eines Kabels koordiniert Einfluss zu nehmen. Mehrere verschiedene VDSL2-Anbieter könnten dasselbe Kabel grundsätzlich auf Basis der am Kabelverzweiger physikalisch entbündelten Anschlussleitung nutzen wollen, womit eine solche Koordination nicht mehr gegeben wäre. Der Effizienzgewinn des Vectoring nimmt dabei mit der Anzahl der „Störer“ innerhalb eines Leitungsbündels deutlich ab, womit Vectoring eine virtuelle Entbündelung über Bit-Stream bedingt. Die Bundesnetzagentur hat daher 2013 den entsprechenden Regulierungsrahmen zur Ermöglichung des Einsatzes von VDSL2 Vectoring und entsprechend anzubietender Vorleistungen für Wettbewerber geschaffen.

Status der Verbreitung der Technologie

In einigen deutschen Ortsnetzen ist VDSL2 Vectoring bereits seit 2013 technologisch verfügbar. In der zweiten Jahreshälfte 2014 planen VDSL2-Anbieter in Deutschland mithilfe dieser Technik höhere Bandbreiten anzubieten. Im europäischen Ausland bieten bereits zwei große Telekommunikationsunternehmen Dienste auf Basis der Vectoring-Technologie an.

VDSL2 Vectoring im Überblick

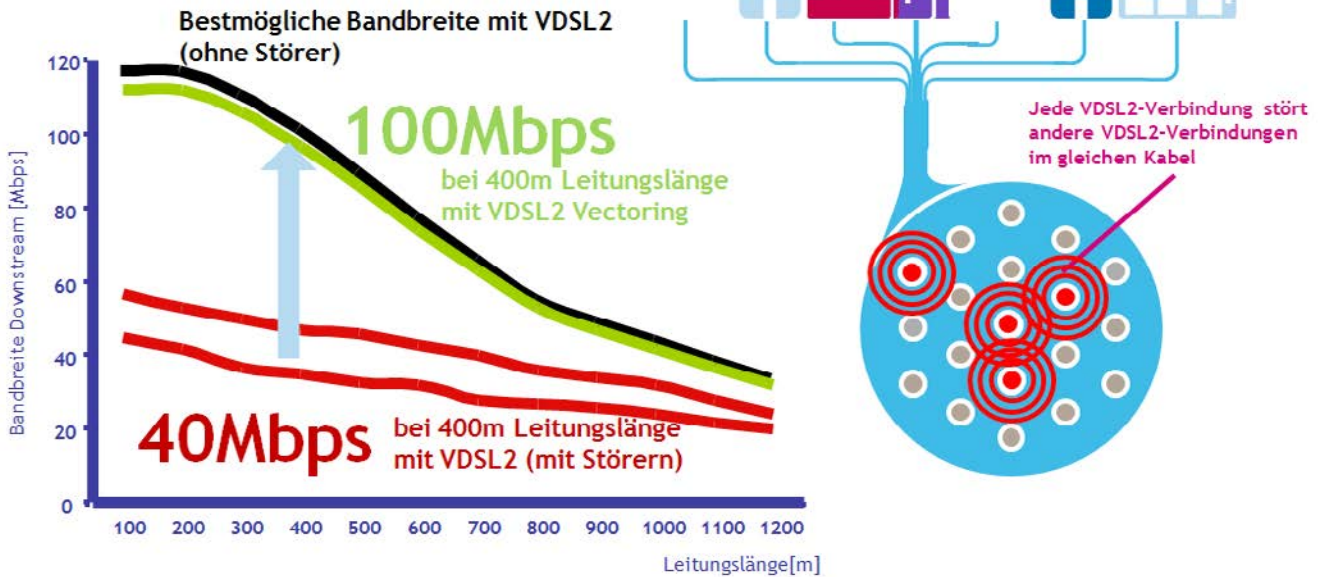


Abbildung 4: Auswirkung von Vectoring auf die erzielbare Bandbreite im Verhältnis zur Leitungslänge

Vorteile und Grenzen der Technologie

VDSL2 Vectoring kann dabei helfen, die Breitbandziele der Bundesregierung schneller und günstiger zu erreichen, als es mit einem Glasfaserausbau bis in die Wohngebäude der Teilnehmer (FTTB oder FTTH) allein möglich wäre. Voraussetzung bleibt jedoch eine Glasfasererschließung bis zu den Kabelverzweigern, an der auch Vectoring nicht vorbeiführt.

Vectoring hat im Wesentlichen zwei Ziele:

- Erhöhung der Bandbreite in Downstream- und Upstream-Richtung
- Angleichung und bessere Vorhersagbarkeit der maximalen Bandbreiten in einem Kabel

G.fast – Kupfertechnologie von morgen

Beschreibung und Leistungsfähigkeit der Technologie

Als nächste maßgebliche Evolutionsstufe der kupferbasierten Zugangstechnologien zur Bereitstellung hoher Bandbreite über die letzten 100 bis 200 Meter („letzte Meile“) kann G.fast betrachtet werden.

Zur Erreichung von Übertragungsbroadbreiten bis 1 Gbit/s auf Kupferdoppeladern ist die Nutzung von drei- bis sechsmal höheren Frequenzen im Vergleich zu VDSL2 notwendig. G.fast verwendet zur Datenübertragung Frequenzen bis in den UKW-Bereich (106 MHz bzw. 212 MHz) hinein. Physikalisch bedingt lassen sich diese hohen Frequenzen in Kabeln jedoch nur auf kurzen Distanzen bis ca. 250 Meter übertragen. Aufgrund der hohen Frequenzen sind die gegenseitigen Störungen durch Übersprechen ausgeprägter als im VDSL2. Dies setzt den Einsatz von Vectoring zur Vermeidung der Übertragungsverluste, wie im vorhergehenden Abschnitt beschrieben, voraus.

Mit G.fast lassen sich Übertragungsraten von 500 Mbit/s bei Leitungslängen von bis zu 200 Metern und sogar noch höhere bei entsprechend kürzeren Leitungen erreichen. Diese „Gesamt-Bandbreite“ lässt sich auf 9:1 bis 5:5 in Down- und Upstream aufteilen.

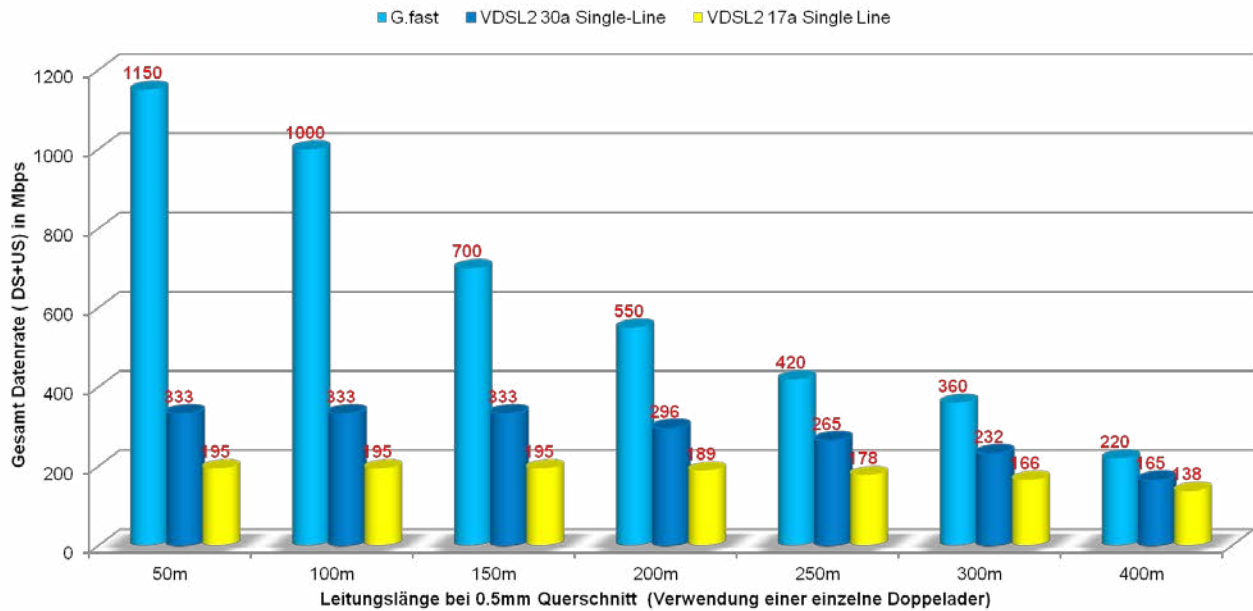


Abbildung 5: Übersicht der Leistungsfähigkeit von G.Fast im Vergleich zu VDSL2
© Huawei Technologies, Shenzhen

Timeline Standardisierung und kommerzielle Roll-outs

G.fast eignet sich durch seine Eigenschaften besonders für die temporäre Nutzung der Kupferdoppelader (bis FTTH zur Verfügung steht) im Inhouse-Bereich in Verbindung mit FTTB und bei entsprechend verfügbarer Infrastruktur wie Straßenschächten auch mit FTTC, um ganze Straßenzüge über die vorhandenen Kupferdoppeladern mit hohen Bandbreiten zu versorgen. Um eine Versorgung der aktiven Technik mit Strom an diesen eventuell unzureichend versorgten Punkten zu garantieren, wurde von Anfang an die Reverse-Strom-Versorgung vom Endgerät oder von einem zentralen Punkt mit in den im Dezember 2013 von der ITU definierten Standard-Entwurf übernommen. Die Verabschiedung des Standards wird in 2014 erwartet, somit werden die ersten kommerziell einsetzbaren Produkte Anfang 2016 erwartet.

Vorteile und Grenzen der Technologie

Vorhandene Kupferinfrastruktur muss für den Einsatz hoher Bandbreiten nicht sofort komplett getauscht werden, sondern führt die Glasfaser in einem zusätzlichen Schritt

näher an den Endkunden. Aufgrund des eingesetzten Vectoring, der Störungen durch das eingesetzte Frequenzspektrum sowie der noch nicht definierten/vorhandenen Übergabepunkte auf die TAL / die Inhouse-Verkabelung, sind für den Einsatz dieser Technologie u. a. einheitliche technische Rahmenbedingungen notwendig. 5GBB – Kupfer-technologie von übermorgen

Beschreibung und Leistungsfähigkeit der Technologie

Als übernächste und wohl auch vorerst letzte Evolutionsstufe im Bereich der kupferbasierten Zugangstechnologien zur Bereitstellung hoher Bandbreite über die letzten 50 Meter ist die „Fünfte Generation Breitband“ 5GBB zu nennen.

Zur Erreichung der angestrebten Bandbreiten von 2 bis 5 Gbit/s auf normalen Kupferdoppeladern muss gegenüber der G.fast-Technologie wiederum das Frequenzband zur Übertragung auf bis zu 800 MHz verbreitert werden. Dabei ist jedoch der Einsatz eines „Full-Duplex-Verfahrens“ vorgesehen. Dieses ermöglicht, Daten gleichzeitig senden und empfangen zu können.

Timeline Standardisierung und kommerzielle Roll-outs

Die beschriebene 5GBB-Technologie, welche im Ergebnis auf bestehenden Kupferdoppeladern „Glasfaser-Bandbreiten“ ermöglicht, steht in den Laboren der Hersteller und Universitäten für erste Tests zur Verfügung und soll ab 2020 in dann verfügbaren Produkten einsetzbar sein.

Vorteile und Grenzen der Technologie

Zunächst kann beispielsweise eine Glasfaserverkabelung im Haus / in der Wohnung bis zur nächsten geplanten Renovierung verschoben werden, ohne auf die hohen Bandbreiten zu verzichten. Darüber hinaus wird durch die geringen Entfernungen und den Einsatz in der Wohnung überwiegend eine Einzelverkabelung vorzufinden sein, wodurch nicht mit Störungen durch parallele Leitungen zu rechnen ist.

Glasfasertechnologien

Mit der Anforderung hoher Datenraten und langen Übertragungsstrecken zwischen Netzwerken wurde die Glasfaser das Übertragungsmedium zwischen Punkten im Weitverkehrsnetz. Der Einzug hoher und weiter steigender Bandbreitenanforderung gerade im privaten Bereich kann mit dem vorhandenen Kupferzweidrahtnetz nicht mehr realisiert werden, womit die Glasfaser auch sukzessive im Zugangsnetz zur Anwendung kommt. Speziell für diesen Anwendungsfall entwickelte GPON-Technologien wie auch die klassische Ethernet-Technologie erfüllen heute die Anforderungen der Nutzer nach Bandbreiten von bis zu 10 Gbit/s.

Fiber Evolution

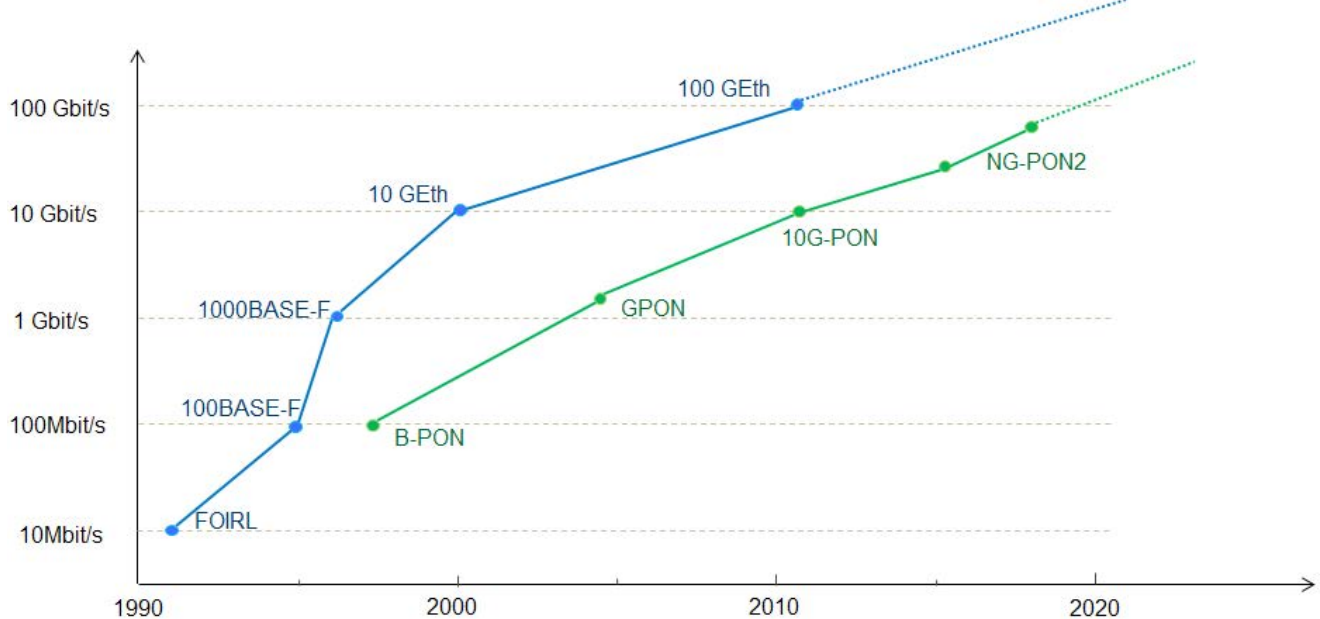


Abbildung 6: Übersicht glasfaserbasierter Access-Technologien
© Huawei Technologies, Shenzhen

Point-to-Point – Glasfasertechnologie von heute

Beschreibung und Leistungsfähigkeit der Technologie

Eine Direktverbindung in der Informations- und Kommunikationstechnik ist eine direkte, unmittelbare Verbindung zwischen zwei Punkten oder Orten. Aus dem Englischen kommt der synonyme Fachbegriff Point-to-Point. Point-to-Point im eigentlichen Sinne bezeichnet den Verbindungsweg zwischen zwei Endgeräten ohne Zwischenstation, darunter fällt z. B. die Kommunikation in den unteren Netzwerkschichten Layer 1 bis 3 im OSI-Modell (ein Referenzmodell für Netzwerkprotokolle). Point-to-Point-Verbindungen gibt es sowohl im Transportnetz als auch innerhalb des Anschlussbereichs. In NGA-Netzen wird Point-to-Point über Glasfaser hergestellt. Eine durchgängige Glasfaserstrecke ist die Voraussetzung für eine derartige Verbindung, sodass Point-to-Point-Verbindungen nur in FTTH-Netzen zur Anwendung kommen können. Entsprechend hoch ist der wirtschaftliche Aufwand, um ein großflächiges Netz auszubauen.

Die Bandbreite auf einer Glasfaser-Point-to-Point-Verbindung reicht von 0 Gbit/s (Dark Fiber) bis zu mehreren 100 Gbit/s und wird nur durch den aktuellen Stand der aktiven Technik bzw. die physikalischen Eigenschaften der Faser begrenzt. Somit stellt die Glasfaser-Point-to-Point-Verbindung eine zukunftssichere Variante der Verbindung zweier Endgeräte dar.

Status der Verbreitung der Technologie

In erster Linie werden Point-to-Point-Verbindungen heutzutage von Carriern im eigenen Aggregationsnetz oder zur Anbindung von Carrier-Hotels eingesetzt sowie für Geschäftskunden zur Anbindung von Rechenzentren oder für Verbindungen zwischen Kundenstandorten mit hohem Bandbreitenbedarf.

Vorhandene Point-to-Point-Verbindungen können sowohl an Endkunden direkt als auch an Wiederverkäufer vermarktet werden. Oftmals bestehen Point-to-Point-Verbindungen auch aus mehreren Teilstücken unterschiedlicher Netzbetreiber.

Vorteile und Grenzen der Technologie

Point-to-Point-Verbindungen über Glasfaser ermöglichen hohe Übertragungsraten zwischen zwei Endpunkten, die nahezu unbegrenzt den technischen Entwicklungen bis in den Terabit-Bereich folgen können. Ein Flächenausbau von Point-to-Point-Verbindungen ist allerdings aufwendig und kostenintensiv, was den wirtschaftlichen Einsatz im Access-Bereich derzeit auf dedizierte Gebiete mit hohen Bandbreitenanforderungen und entsprechender Nachfrage beschränkt. Im Zuge des immer weiter fortschreitenden Ausbaus der Aggregationsnetze wird auch ein FTTH-Ausbau in der Zukunft wirtschaftlicher gestaltet werden können.

GPON – Glasfasertechnologie von heute

Beschreibung und Leistungsfähigkeit der Technologie

GPON ist der aktuell am häufigsten gebaute Standard für passive optische Netze (PON) und FTTH. „Passiv“ bezieht sich darauf, dass zwischen dem Teilnehmergerät (ONT) in der Wohnung und dem zentralen Gerät (OLT) in der Vermittlungsstelle keinerlei aktive (stromverbrauchende) Komponenten benötigt werden. GPON kann bis zu 128 Teilnehmer auf einer Glasfaser verwalten, unter denen eine Bandbreite von 2,44 Gbit/s downstream und 1,22 Gbit/s upstream dynamisch zugeteilt wird. Ein einzelner OLT verwaltet bis zu 256 Glasfaserstrecken und bedient dabei bis zu 15.000 Teilnehmer.

Die Distanz zwischen Vermittlungsstelle und Teilnehmer darf bis zu 20 Kilometer betragen, sodass sehr hohe Teilnehmerzahlen an einer zentralen Vermittlungsstelle zusammengefasst werden können. Neben qualitativ sehr hochwertigen Datendiensten erlaubt die PON-Architektur zusätzlich die Verteilung analogen und digitalen Kabelfernsehens auf einer separaten Wellenlänge, ohne die Datendienste zu beeinflussen. Dem Teilnehmer werden heute auf GPON-Netzen Triple-Play-Dienste bis zu 1 Gbit/s angeboten.

Status der Verbreitung der Technologie

GPON wird heute vor allem von großen Netzbetreibern in Südwesteuropa eingesetzt. In Deutschland bauen eine Reihe von Netzbetreibern ihre FTTB-, FTTH- und Kabelfernsehtetze mit GPON.

Vorteile und Grenzen der Technologie

Durch die hohe Teilnehmerkonzentration in der Vermittlungsstelle und die Möglichkeit, Teile der Glasfaserinfrastruktur für mehrere Teilnehmer gleichzeitig nutzen zu können, bietet GPON Kostenvorteile gegenüber Point-to-Point-Netzen. Dem steht ein höherer Aufwand gegenüber, möchte man ein GPON-Netz auf der unteren Ebene entbündeln. Daher eignen sich für GPON alternativ eher Bit-Stream-Access (BSA) oder Nachfolgestandards wie NG-PON2 zur Entbündelung von Wellenlängen.

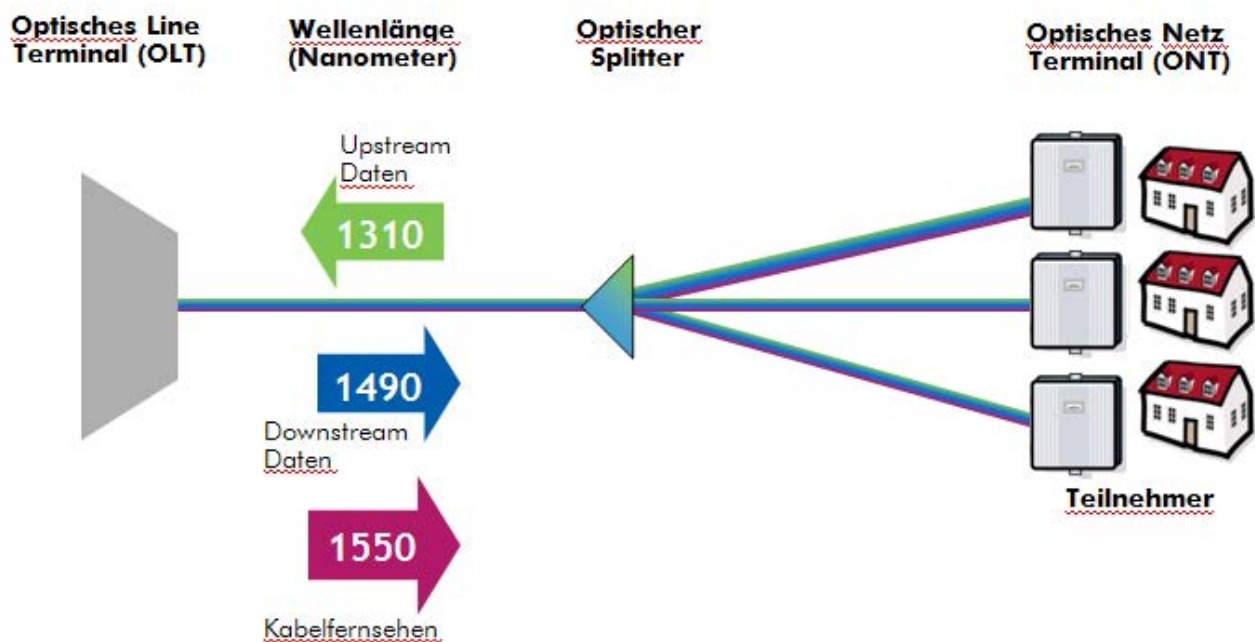


Abbildung 7: Aufbau eines GPON-Netzes

NG-PON1 – Glasfasertechnologie von morgen

Beschreibung und Leistungsfähigkeit der Technologie

NG-PON1 bezeichnet die nächste Stufe der GPON-Technologie, die durch die Verwendung unterschiedlicher Wellenlängen auf einer Faser gemeinsam mit GPON auf demselben Passive Optical Network betrieben werden kann.

Timeline Standardisierung und kommerzielle Roll-outs

NG-PON1 ist von der ITU mit einem Upstream von 2,5 Gbit/s und einem Downstream von 10 Gbit/s standardisiert und seit 2012 in vielen Pilot- und Testinstallationen geprüft. Weltweit sind bis heute jedoch nur wenige NG-PON1-Roll-outs geplant bzw. realisiert. Gründe hierfür sind die zurzeit nicht vorhandene Nachfrage nach diesen hohen Bandbreiten, die geringe Anzahl an verfügbaren Endgeräten und die entsprechend erforderlichen Investitionen in NG-PON1. Auch die in der Standardisierung befindliche nächste Generation NG-PON2 könnte bereits zur Verfügung stehen, wenn die von GPON zur Verfügung gestellten Bandbreiten nicht mehr ausreichen. Abhängig von der zu diesem Zeitpunkt geforderten Bandbreite und der Kostendifferenz gegenüber NG-PON2 wird NG-PON1 „morgen“ als Glasfasertechnologie zum Einsatz kommen. Alternativ ist es möglich, den Zwischenschritt über NG-PON1 zu überspringen und NG-PON2 direkt einzusetzen.

Vorteile und Grenzen der Technologie

NG-PON1 kann parallel in der gleichen Glasfaserinfrastruktur wie GPON genutzt werden, somit ist eine sanfte Migration der Nutzer möglich. Gegenseitige Störungen wie bei Kupferübertragungen sind ausgeschlossen und die Glasfaserinfrastruktur bietet auch in ferner Zukunft ausreichende Bandbreiten.

NG-PON2 – Glasfasertechnologie von übermorgen

Beschreibung und Leistungsfähigkeit der Technologie

FSAN und die ITU sehen zwei Phasen für die Entwicklung von Glasfasernetzen vor: NG-PON1 und NG-PON2. Für den Geschäftskunden- und High-End-Bereich boten der NG-PON1-Standard wie auch schon der GPON-Standard nicht genügend Flexibilität. In der Zwischenzeit sind leistungsfähigere Technologien verfügbar, weshalb der Fokus sich nun auf die nächste Generation der passiven optischen Netze richtet.

Das NG-PON2 zugrunde liegende TWDM-PON (Time and Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Network) erhöht die Leistungsfähigkeit heutiger GPON-Netze und stellt mindestens vier Wellenlängen-Paare je Glasfaser zur Verfügung, von denen jedes entweder 2,5 Gbit/s oder 10 Gbit/s symmetrisch oder asymmetrisch übertragen kann. Die Zuordnung von Bandbreite und Symmetrie kann dabei dynamisch und für jedes Paar individuell erfolgen. Damit steht eine Spanne von 10 Gbit/s für Geschäftskundendienste bis zu $n \cdot 100$ Mbit/s für Privatkunden mit derselben Infrastruktur zur Verfügung.

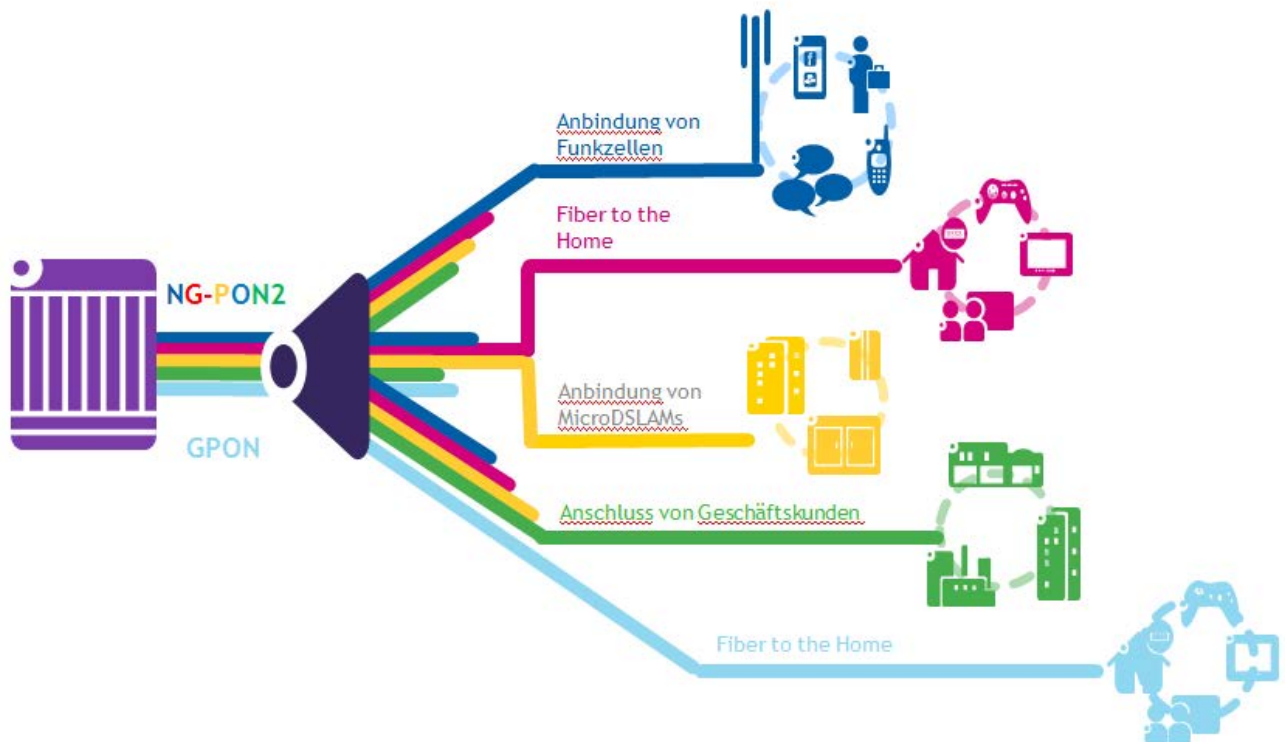


Abbildung 8: Darstellung von Diensten/Betreibern auf der Basis von NG-PON2, unterschieden nach spezifischen Wellenlängen

Timeline Standardisierung und kommerzielle Roll-outs

Technologie-Demonstratoren für NG-PON2 werden im Laufe von 2014 verfügbar sein, kommerzielle Produkte in der zweiten Jahreshälfte 2015. Erste Roll-outs könnten ab 2016 beginnen.

Vorteile und Grenzen der Technologie

NG-PON2 eröffnet eine Reihe neuer Möglichkeiten für die Glasfaser, unter anderem:

- Paralleles Bereitstellen dedizierter Bandbreiten-Qualitäten (Höhe, Symmetrie) für unterschiedliche Dienste
- Organisation mehrerer isolierter Benutzergruppen auf derselben Glasfaser
- Zuordnung von Wellenlängen zu mehreren Netzbetreibern (Entbündelung)

Die Technik ist kompatibel zu bestehenden GPON- und RF-Overlay-Netzen, sodass beide Standards parallel zueinander betrieben werden können. Es sind damit keine zusätzlichen Investitionen in die passive Infrastruktur notwendig.

Die gesamten Investitionskosten NG-PON2 sind durch die aufwendigeren Geräte zwar höher als bei aktuellen GPON-Netzen, erlauben aber Co-Investment-Modelle auf der gleichen passiven Glasfaserinfrastruktur. Dadurch können Infrastruktur-Investitionen auf mehrere Betreiber aufgeteilt werden.

Breitbandkabelnetze

Breitbandkabelnetze, häufig verkürzt auch nur als Kabelnetze bezeichnet, sind vor rund einem halben Jahrhundert als reine Kabelfernsehnetze gestartet, für die zunächst keine rückkanalfähige Übertragung von Daten vorgesehen war. Heute ist in Deutschland für knapp zwei Drittel aller Haushalte ein Breitband-Internetanschluss mit aktuell bis zu 400 Mbit/s im Download realisierbar.

Mit Einführung der Rückwegtauglichkeit sind diese Netze schrittweise zu einem außerordentlich leistungsfähigen Übertragungsmedium entwickelt worden, das heute neben einem großen Angebot an analogem und digitalem Fernsehen und Hörfunk auch Telefonie sowie schnelles Internet (High Speed Internet) frequenzökonomisch zu übertragen vermag.

Breitbandkabelnetze werden derzeit, insbesondere im Bereich der Haus- bzw. Gebäudeverkabelung, unter Verwendung von Koaxialkabeln realisiert. Koaxialkabel sind konstruktionsbedingt bereits gut geschirmt und vergleichsweise dämpfungsarm, um hohe Übertragungsleistungen bereits in einem herkömmlichen, kupferbasierten Netz zu erreichen. Dazu wird die Dämpfung der übertragenen Signale durch wiederholtes Hintereinanderschalten (Kaskadieren) von Verstärkern immer wieder ausgeglichen. In der Praxis können deshalb Entfernungen von deutlich mehr als 20 Kilometern überbrückt werden und damit kann eine großflächige Versorgung ganzer Städte und Kommunen ohne Einschränkung der Leistungsfähigkeit realisiert werden.

Bereits seit rund zwei Jahrzehnten werden Breitbandkabelnetze unter Einsatz der Glasfaser weiter ausgebaut. Zunächst erfolgte der Einsatz von Glasfasern vorwiegend in der Zuführung zu den rein koaxialen Verteilnetzen, seit etwa zehn Jahren auch massiv im eigentlichen Zugangsnetz (Access Network). Zwischenzeitlich sind Breitbandkabelnetze über ebenfalls glasfaserbasierte Backbones miteinander verbunden. Eine von allen Kabelnetzbetreibern verfolgte Vorgehensweise zur Steigerung der Übertragungsleistung im Netz ist es, die Glasfaser über sogenannte Fiber Nodes (FN) bedarfsorientiert und immer tiefer in das vorhandene koaxiale Netz vorzutreiben. Das so entstehende hybride Netz wird als HFC-Netz (Hybrid Fiber Coax), die Vorgehensweise selbst auch als „Fiber Deep“ bezeichnet.

Breitbandkabelnetze werden gemäß einer Reihe von nationalen, europäischen und internationalen Standards geplant, errichtet und betrieben. Die in der Breitbandkabelindustrie maßgeblichen Standards wurden und werden sicher auch zukünftig sukzessive auf neue Technologien und Nutzungsmöglichkeiten ausgedehnt. Letzte Beispiele hierzu sind die kompatible Nutzung koaxialer und glasfaserbasierter Infrastruktur mittels RFoG¹ im Zugangsnetz wie auch DOCSIS (Data over Cable Service Interface Specification), nunmehr bereits in der Version 3.1, sowie DVB-C2 als Übertragungsstandard für digitales Fernsehen im Breitbandkabel.

Die äquivalente Übertragungsleistung bis zum Endkunden kann unter weiterer Nutzung der herkömmlichen, koaxialen Verteilanlagen in den Gebäuden von derzeit mindestens 4,3 Gbit/s mit dem nachfolgend näher erläuterten DOCSIS 3.1 bzw. DVB-C2 auf 5,4 Gbit/s gesteigert werden. Glasfaserbasiert mit FTTB (Fiber to the Building) sind schon heute 8 Gbit/s möglich, langfristig ist eine weitere Steigerung bis auf über 14 Gbit/s erreichbar (mit einer durchgängigen Erweiterung des Frequenzspektrums auf 1,7 GHz).

Datenübertragung in Breitbandkabelnetzen

DOCSIS 3.0

DOCSIS steht für Data over Cable Service Interface Specification und ist der maßgebliche Übertragungsstandard für die Datenübertragung in Breitbandkabelnetzen. Gegenstand der aktuellen Implementierung ist DOCSIS 3.0.

Dieser Standard mit seinem Ursprung in Nordamerika hat sich weltweit durchgesetzt und wird in der Variante des sogenannten Euro-DOCSIS auch in Europa genutzt. Euro-DOCSIS ist durch die Verwendung eines speziellen Satzes an Übertragungsparametern gekennzeichnet, der auf die Belange abweichender Frequenznutzungen, Frequenzgrenzen sowie Kanalbandbreiten und Kanalbelegungen in Europa Rücksicht nimmt. Ein ehemals eigener Standard für Europa (DAVIC) hat sich nicht durchsetzen können.

Breitbandkabelanlagen sind eine gemeinsam genutzte Ressource (ein sogenanntes Shared Medium²) mit Punkt-zu-Multipunkt-Verbindungen. Diese Eigenschaft liegt auch anderen Breitbandtechnologien (bis auf FTTB / FTTH-Glasfasertechnologien) zugrunde. DOCSIS organisiert die Datenübertragung in diesem Shared Medium mittels definierter Datenpakete in besonderer Weise zwischen einem CMTS (Cable Modem Termination System) und dem Kabelmodem als Endgerät. Dabei lassen sich für bestimmte Dienste, wie z. B. für zeitkritische Sprachdienste (Telefonie), die benötigten Datenraten zuweisen bzw. reservieren (Quality of Service, QoS). Ebenso wird jedoch auch aktuell nicht benötigte Übertragungskapazität einzelner Nutzer für alle anderen Nutzer freigegeben. Dank dieser Art der organisierten Datenübertragung lassen sich in einem Shared Medium ähnlich wie im Mobilfunk für jeden einzelnen Nutzer höhere Datenraten erzielen, als dies mit einer festen, unflexiblen Zuordnung möglich wäre.

Breitbandkabelanlagen sind aufgrund ihrer sehr hohen Schirmung ein vergleichsweise störungssicheres Übertragungsmedium. Der DOCSIS-Standard sieht darüber hinaus die Verwendung verschiedener Fehlerschutz- und Fehlerkorrekturmechanismen sowie eine Reihe von höherstufigen Modulationsverfahren vor. Dies erlaubt die optimale Anpassung an das Leistungsvermögen auch älterer Breitbandkabelanlagen. Darüber hinaus bietet bereits DOCSIS 3.0 eine Vielzahl von Funktionalitäten für eine flexible Nutzung, für unterschiedlichste Anwendungen und Datenraten sowie für eine Steuerung der Leistungsparameter (Performance-Management).

Angesprochen werden soll hier beispielhaft das sogenannte Channelbonding. Mit diesem Verfahren werden z. B. mehrere der 8-MHz-Übertragungskanäle in Verteilrichtung zu einem Übertragungsweg zusammengefasst und damit wird ein Vielfaches der Übertragungsleistung bei jedem Nutzer ermöglicht. In der Praxis bereits etabliert ist das 8-fach-Channelbonding, das Datenübertragungsraten von über 200 Mbit/s für jeden Nutzer ermöglicht. 16-fach-Channelbonding ist bereits möglich und in der Phase der Einführung. Nochmals erweiterte Maßnahmen und Funktionalitäten zur Steigerung der Datenübertragungsleistung für den einzelnen Nutzer, aber auch für das Breitbandkabelnetz insgesamt sieht der Standard DOCSIS 3.1 vor.

² In einem Shared Medium wird die maximal verfügbare Gesamtübertragungskapazität auf die jeweils aktiven Nutzer verteilt. Deshalb kann dem einzelnen Nutzer somit praktisch nie der theoretisch erzielbare Maximaldatendurchsatz zur Verfügung gestellt werden. Jedoch kann auch in einem Shared Medium prinzipiell durch entsprechende Verringerung der Zahl der Nutzer, die über die gemeinsame Netzressource versorgt werden, der Datendurchsatz je aktivem Nutzer gesteuert bzw. sichergestellt werden.

DOCSIS 3.1

DOCSIS 3.1 ist die konsequente Weiterentwicklung des aktuellen, weltweit etablierten Standards DOCSIS 3.0 für die Datenübertragung in Breitbandkabelnetzen. Dieser Standard wurde im Oktober 2013 von Cable Television Laboratories (Cable Labs) finalisiert und verabschiedet. Prototypen für die gerätetechnische Implementierung dieses neuen Übertragungsstandards sind bereits verfügbar. Die maßgeblichen Systemkomponenten, wie CMTS, und auch die ersten Kabelmodems sind zum vierten Quartal dieses Jahres angekündigt.

Wesentliche Vorteile von DOCSIS 3.1 sind:

- Der nutzbare Übertragungsfrequenzbereich wurde in Verteilrichtung von derzeit rund 1 GHz auf 1,2 GHz (verpflichtend) und bis nahezu 1,8 GHz (optional) ausgeweitet. Die Frequenzgrenze für den Rückweg wurde von 65 MHz auf 204 MHz angehoben. Allein diese Frequenzbereichserweiterungen ermöglichen eine Steigerung der Übertragungsleistung sowohl im Vorwärts- als auch im Rückweg.
- DOCSIS 3.1 erlaubt jedoch auch bereits innerhalb der bislang üblichen Frequenzgrenze der Breitbandkabelanlagen von 862 MHz Steigerungen der Übertragungsleistung. Dazu können die zugrunde liegenden hochfrequenten Übertragungskanäle mit 8 MHz Bandbreite im Vorwärtsweg bzw. mit 6,4 MHz Bandbreite im Rückweg zu jeweils einem Übertragungskanal mit bis zu 192 MHz bzw. 96 MHz zusammengefasst und mittels OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplex) nunmehr ohne Bandbreitenverluste an den Kanalgrenzen genutzt werden.
- Zudem stehen bei DOCSIS 3.1 umfangreichere Fehler-schutzverfahren und höherstufige digitale Modulationsverfahren mit bis zu 4.096 QAM zur Verfügung.³

DOCSIS 3.1 kann unabhängig von den längerfristigen Frequenzbereichserweiterungen in Breitbandkabelnetzen bei einem konkreten Bedarf kurzfristig eingeführt werden. Ein in Kabelnetzen flächendeckender Einsatz ist für ca. 2017 zu erwarten und es ist zu erwarten, dass dann Bandbreiten zwischen 500 und 800 Mbit/s für Endkunden angeboten werden.

Aufgrund der positiven Erfahrungen mit der erst jüngst abgeschlossenen Umstellung auf DOCSIS 3.0 kann auch für DOCSIS 3.1 eine schrittweise, bedarfsorientierte und kundenfreundliche Umstellung erwartet werden.

Langfristige Entwicklung der Breitbandkabelnetze

Breitbandkabelnetze wurden bislang schon unter Einsatz neuer Technologien und Übertragungsstandards zu immer leistungsfähigeren Multi-Service-Netzen entwickelt und ausgebaut. Breitbandkabelnetze sind mittlerweile fast ausnahmslos Hybridnetze mit glasfaserbasierten Zuführungen und den vorhandenen kundennahen koaxialen Infrastrukturen. Diese Breitbandkabelnetze werden auch als HFC-Netze bezeichnet, die derzeit bis zu Übertragungsfrequenzen von 862 MHz betrieben werden.

Die äquivalente Übertragungsleistung des Gesamtsystems liegt derzeit bei mindestens 4,3 Gbit/s und wird bereits seit geraumer Zeit durch eine immer tiefergehende Teilung (Segmentierung) des koaxialen Netzes ständig vervielfacht. Die Segmentierung der Breitbandkabelnetze ist insgesamt noch nicht sonderlich weit fortgeschritten und wird somit noch über einige Jahre hinweg eine fortwährende Vervielfachung der jeweils erreichten Übertragungsleistung ermöglichen.

Mit der anstehenden Einführung von DOCSIS 3.1 erhöht sich die äquivalente Übertragungsleistung bestehender Netze unmittelbar auf 5,4 Gbit/s. Die Architektur dieser (vorhandenen) HFC-Netze erlaubt durchaus noch etwas höhere Übertragungsleistungen. Mit der gesteigerten Übertragungsleistung durch DOCSIS 3.1 könnte sich die derzeit stark fortschreitende Teilung bzw. Segmentierung der Netze entsprechend etwas verlangsamen. Die Leistungssteigerung durch Segmentierung erreicht erst mit dem glasfaserbasierten Anschluss der letzten aktiven Einrichtung des Breitbandkabelnetzes im öffentlichen Grund, dem sogenannten Verstärkerpunkt (VrP), eine bedeutsame Wegmarke im Prozess der Netzentwicklung.

³ Damit sind unter den unterschiedlichsten Randbedingungen in Breitbandkabelnetzen Übertragungsdatenraten nahe der theoretisch erzielbaren Grenze (Shannon Theorem) möglich.

Dieser Entwicklungsschritt wird auch als FTTC (Fiber to the Cabinet) bezeichnet. Dem Entwicklungsschritt zu FTTC folgt konsequenter Weise FTTB, bei dem die bislang genutzten Koaxialkabel auf dem Weg zu einem durchgehend glasfaserbasierten Zugangnetz nunmehr vollends durch eine Glasfaserinfrastruktur zu ersetzen sind. Die Schaffung dieser Infrastruktur ist vergleichsweise kosten- und zeitaufwendig. Es ist jedoch zu erwarten, dass sich dieser Umstellungsprozess nach derzeitiger Prognose zu Kundenwachstum und Produktinnovationen sowie aufgrund der Größenunterschiede der Netze bedarfsorientiert über einen Zeitraum von deutlich mehr als einer Dekade erstrecken wird.

Mit FTTB erfolgt die optisch-elektrische Wandlung erst am Übergang zu den weiterhin koaxialen Hausverteilanlagen der Netzebene 4 (NE4). Koaxiale Hausverteilanlagen werden bereits seit geraumer Zeit mit 1-GHz-tauglichen Verstärkern ausgerüstet. Dabei kann mit FTTB erforderlichenfalls der gemeinsame Zugriff auf diese Übertragungsleistung zudem noch auf die Nutzer in einem Gebäude beschränkt und deren Anzahl damit nochmals signifikant reduziert werden.

Mit der Weiterentwicklung des Breitbandkabelnetzes zu FTTB wird auch die Nutzung des im Standard DOCSIS 3.1 vorgesehenen höheren Übertragungsfrequenzbereichs ermöglicht. Im Vergleich zum derzeit genutzten Bereich bis 862 MHz ist dies nahezu eine Verdoppelung der Ressourcen im Netz. Die mögliche Übertragungsleistung des Gesamtsystems steigt damit auf mindestens 8 Gbit/s und nachfolgend auf über 14 Gbit/s. Diese Einschätzung des zukünftigen Leistungspotenzials basiert auf einer eher vorsichtigen bzw. konservativen Einschätzung der Entfaltungsmöglichkeiten.

Die Ausweitung des Übertragungsfrequenzbereichs in den koaxialen Hausverteilanlagen lässt keine Probleme erwarten. Von den Satellitenempfangsanlagen ist seit Jahren bekannt, dass über derartige Infrastrukturen Übertragungsfrequenzen von über 2 GHz realisiert und zuverlässig betrieben werden können. Breitbandkabelanlagen, erforderlichenfalls mit FTTB-Strukturen, sowie Hausverteilanlagen in koaxialer Technik sind somit kurz- und mittelfristig in bereits erschlossenen Gebieten eine sinnvolle Wahl für einen zügigen und zugleich kostengünstigen Breitbandausbau. Sie sind auch auf längere Sicht für den absehbaren Bedarf ausreichend und zukunftssicher.

Ein weitergehender glasfaserbasierter Ausbau zu FTTH (Fiber to the Home) wird dadurch zeitlich entzerrt. Siehe hierzu auch das Strategiepapier des Gesamtverbandes der Wohnungswirtschaft (GdW).⁴ Kabelnetzbetreiber sind nicht nur für den Ausbau mit FTTB, sondern erforderlichenfalls auch für einen weitergehenden Ausbau zu FTTH vorbereitet. Obwohl dies aufgrund der vorstehenden Ausführungen selbst mittel- und längerfristig nicht zwingend notwendig erscheint, werden Kabelnetzbetreiber dennoch bedarfsorientiert auch FTTH-Installationen realisieren. Mittels RFoG (Radio Frequency over Glass) und durch intelligente Systemauslegung innerhalb eines sogenannten D(DOCSIS)-PON kann sowohl FTTB als auch FTTH angeboten werden. Beides kann über ein und dieselbe Glasfaser realisiert werden.

Sofern sich mit der weiteren Entwicklung des Marktes und der Technologien zunehmend „All-IP“ durchsetzen sollte, bietet es sich im glasfaserbasierten Breitbandkabelnetz an, den Kunden derartige Produkte und Leistungen nicht nur innerhalb eines D(DOCSIS)-PON bzw. RFoG, sondern zusätzlich auf anderen Wellenlängen auch über ein paralleles GPON oder EPON verfügbar zu machen.

4 Die Motivation, Hausverteilanlagen dennoch glasfaserbasiert auszurüsten bzw. auszubauen, dürfte eher aus Kostenvorteilen gegenüber den konventionellen Bauweisen entstehen.

Technologischer Beitrag der Breitbandkabelnetze zum Breitbandausbau

Bereits bestehende Breitbandkabelnetze in HFC-Technologie sind skalierbar. Sie können sowohl bei einem Zuwachs an Nutzern als auch mit dem ständig steigenden Bedarf an Bandbreite bzw. Übertragungsleistung bedarfsorientiert und zügig weiter ausgebaut werden. Dieser sukzessive Ausbau erfolgt bereits seit geraumer Zeit durch sogenannte Segmentierung, d. h. durch eine fortwährende Teilung der bestehenden Netzinfrastruktur mit einer immer tiefergehenden glasfaserbasierten Anbindung. Der Vorteil liegt insbesondere darin begründet, dass der kosten- und zeitaufwendige Tiefbau zur Weiterentwicklung und Erneuerung des Netzes nicht sofort und umfänglich geleistet werden muss, sondern bedarfsorientiert und in sukzessiven, zeitversetzten Schritten erfolgen kann. Dies ermöglicht im eingeschwungenen Zustand wiederum kurze Umsetzungszeiten und erspart Wartezeiten für Neukunden.

Die Segmentierung der (koaxialen) Breitbandkabelnetze ist insgesamt noch nicht sonderlich weit fortgeschritten und kann noch über Jahre hinweg sowie zeit- und kostensparend fortgesetzt werden. Die erreichbare Übertragungsleistung für jeden Kunden beträgt derzeit bereits mehr als 400 Mbit/s und kann im Verlauf der nächsten zwei bis drei Jahre sicher noch auf rund 800 Mbit/s gesteigert werden. Die Maßnahmen und Mechanismen dafür sind bekannt und erprobt.

Eine weitergehende Erhöhung der Übertragungsleistung für die Kunden auf mindestens 1 Gbit/s ist absehbar und bereits in der Erprobung. Möglicherweise wäre dies sogar noch im Rahmen der weiteren Segmentierung des koaxialen Breitbandkabelnetzes erzielbar. Allerdings müssten dazu in ausreichendem Maße zusätzliche Übertragungskanäle verfügbar gemacht werden, z. B. durch umfängliche Abschaltung derzeit noch analog übertragener Programme entgegen sowohl dem Begehren von Kunden als auch vertraglichen Vereinbarungen mit der Wohnungswirtschaft.

Eine Erhöhung der Übertragungsleistung auf deutlich mehr als 1 Gbit/s für die Endkunden wird hingegen voraussichtlich mit einem FTTB-Ausbau, d. h. dem glasfaserbasierten Ausbau bis in die betreffenden Gebäude, verbunden sein. Damit wären dann auch Übertragungsfrequenzen von rund 1 GHz durchgehend bis zum Endkunden möglich, was nochmals der Übertragungskapazität bzw. Übertragungsleistung mit rund 20 Prozent zugutekäme. Mit überschaubaren Upgrades, vornehmlich im kundennahen Bereich, wären Übertragungsfrequenzen bis 1,7 GHz und damit eine Steigerung der Übertragungsleistung von erneut rund 85 Prozent erreichbar. Diese Steigerung der Übertragungsleistung des Netzes basiert immer noch auf einem FTTB-Anschluss, d. h. noch nicht einmal auf einer durchgehend glasfaserbasierten Verbindung bis zum Endkunden (FTTH), sondern auf der weiteren Nutzung der bekannten koaxialen Infrastruktur in der NE4.

Der bedarfsorientierte und sukzessive Ausbau der Breitbandkabelnetze zunächst zu FTTC, dann zu FTTB und schließlich zu FTTH ermöglicht auch weiterhin attraktive Übertragungsleistungen. Investitionen werden bedarfsorientiert und somit schrittweise nur im jeweils erforderlichen Umfang getätigt. Die Übertragungsleistung kann ohne eine grundlegende Neugestaltung der vorhandenen HFC-Netze noch in erheblichem Maße und über einen langen Zeitraum gesteigert werden. Mit dem Erreichen eines durchgehend glasfaserbasierten Netzes erscheint FTTB zunächst völlig ausreichend, obwohl FTTH nahtlos möglich wäre und damit die Zukunftssicherheit in jedem Fall gewährleistet ist.

Die vorstehenden Ausführungen und Erläuterungen machen deutlich, dass Breitbandkabelnetze nebst den für sie bereits laufenden Weiterentwicklungen einen maßgeblichen Beitrag für einen zügigen, flexiblen und kostengünstigen Breitbandausbau leisten können.

Mobilfunknetze

Mobilfunknetze ermöglichen längst nicht nur mobiles Telefonieren und Übertragen kurzer Textnachrichten über SMS, sondern vollständigen mobilen breitbandigen Internetzugang mit immer höheren Datenraten. Die zunehmende Marktdurchdringung mit Smartphones und Tablet-Computern mit immer besseren Bildschirmauflösungen, schnelleren Prozessoren und höherwertigerer Multimedia-Ausstattung erlaubt inzwischen auch die Wiedergabe von audiovisuellen Inhalten in sehr hoher Qualität. Für die kleineren Bildschirmformate und die Bedienung mittels berührungsempfindlicher Bildschirme optimierte Anwendungssoftware für Smartphones und Tablet-Computer, die sogenannten Apps, erlauben sehr komfortablen Zugang zu Information und vielfältigen Internetangeboten auch für weniger technikaffine Teile der Bevölkerung wie z. B. ältere Menschen. Soziale Netzwerke profitieren in besonderem Maße von der mobilen Erreichbarkeit und dem einfachen Zugang zu ihren Diensten.

Die Entwicklung von Apps ist zu einem signifikanten Segment der ITK-Branche gewachsen und bietet hervorragende Chancen für Unternehmensneugründungen. Getrieben wird diese Entwicklung durch die hohe Nachfrage bei den Anwendern und deren Bereitschaft, für qualitativ hochwertige Apps zu bezahlen, wie auch bei vielen Unternehmen, für die Apps auf mobilen Geräten ein wesentlicher Kommunikations- und Vertriebskanal geworden sind. So sind z. B. die Geschäftsmodelle von Fahrrad- und Auto-Sharing-Anbietern ohne Apps auf mobilen Endgeräten nicht denkbar, da das Auffinden des nächsten geeigneten Fahrzeugs, der Zugang zu den Fahrzeugen und die Abrechnung jeweils mobile Konnektivität erfordern. Bereiche wie Connected Car versprechen ebenfalls erhebliches Wachstumspotenzial auf Basis mobiler Konnektivität.

Das rasante Wachstum im Mobilfunk erfordert eine ständige Weiterentwicklung und rasche Einführung aktueller Mobilfunktechnologie. Neben dem weiteren Ausbau von HSPA mit aktuellen Leistungsmerkmalen geschieht dies vor allem durch LTE und LTE-Advanced und die Bündelung (sofern verfügbar) von Frequenzressourcen. Grundsätzlich gilt, dass bei niedrigen Trägerfrequenzen, d. h. vor allem unterhalb von 1 GHz, aufgrund günstiger Ausbreitungsbedingungen größere Zellradien realisierbar sind und somit Flächenversorgung kostengünstig mit einer begrenzten Anzahl an Basisstationen hergestellt werden kann. Für den Kapazitätsausbau und für hohe Datenraten zum Endkunden hin werden zusätzlich in erheblichem Umfang Trägerfrequenzen oberhalb von 1 GHz benötigt.

Die heute in Deutschland verfügbaren LTE-Netze können mit Bandbreiten von 20 MHz, verfügbar z. B. in den Bändern bei 1.800 MHz und 2.600 MHz, in städtischen Gebieten im Durchschnitt typischerweise zwischen 30 und 40 Mbit/s und in der Spitze bis 150 Mbit/s Datendurchsatz liefern. Im 800-MHz-Band, das für die kostengünstige Versorgung in der Fläche aufgrund größerer Reichweiten wesentlich geeigneter ist, stehen mit 10 MHz verfügbarer Bandbreite je Betreiber derzeit zwischen 10 und 20 Mbit/s durchschnittlich und 75 Mbit/s Spitzenwert zur Verfügung. Als gemeinsam genutzte Ressource (Shared Medium⁵) ist dabei berücksichtigt, dass die im Gesamten verfügbare Kapazität zwischen allen in der Zelle aktiven Nutzern aufgeteilt wird.

⁵ In einem Shared Medium wird die maximal verfügbare Gesamtübertragungskapazität auf die jeweils aktiven Nutzer verteilt. Deshalb kann dem einzelnen Nutzer somit praktisch nie der theoretisch erzielbare Maximaldatendurchsatz zur Verfügung gestellt werden. Jedoch kann auch in einem Shared Medium prinzipiell durch entsprechende Verringerung der Zahl der Nutzer, die über die gemeinsame Netzressource versorgt werden, der Datendurchsatz je aktivem Nutzer gesteuert bzw. sichergestellt werden.

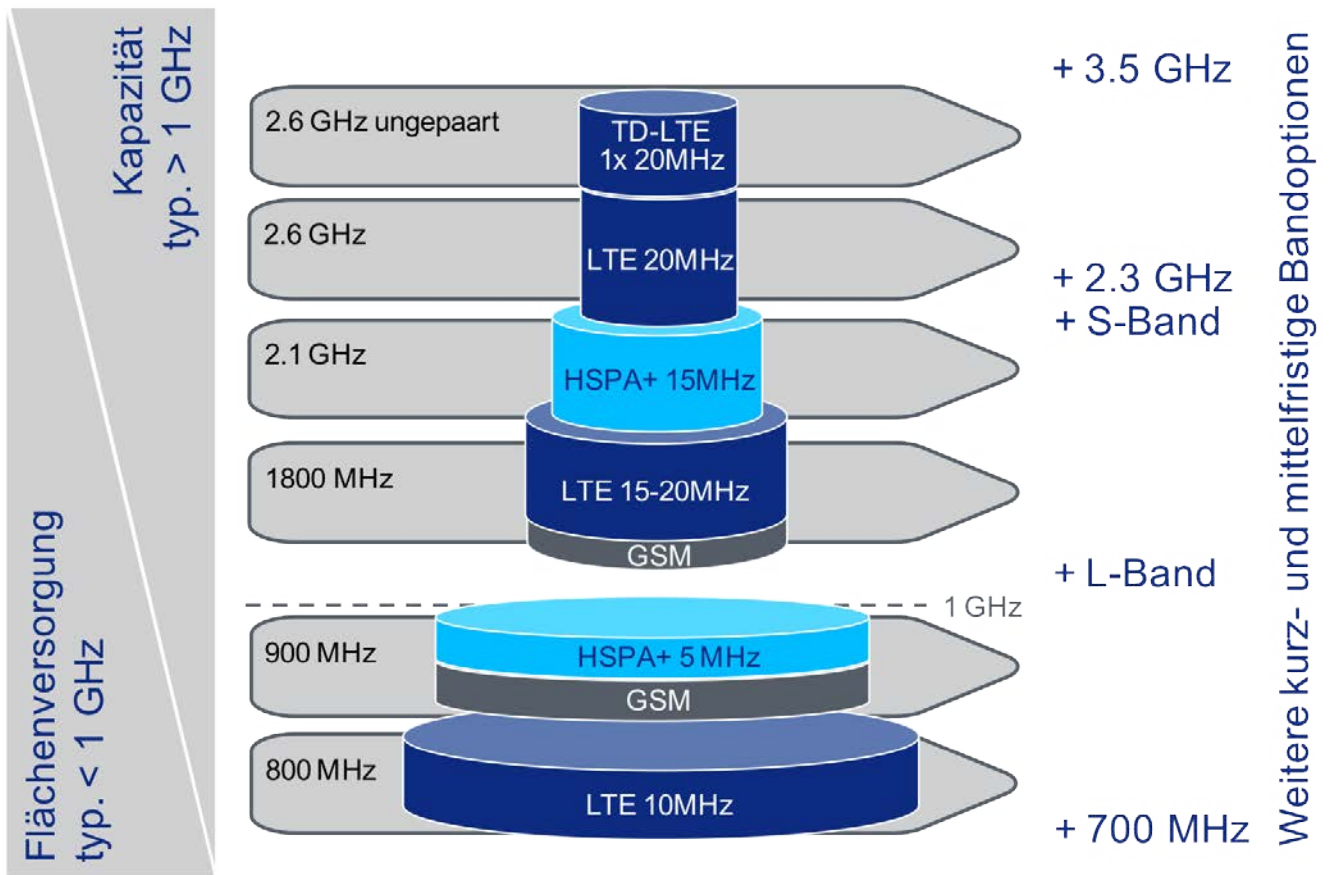


Abbildung 9: Beispiel für mögliche Frequenznutzung durch Mobilfunk

Mit der Einführung von LTE-Advanced und der Bereitstellung weiterer Frequenzen für den Mobilfunk können Frequenzressourcen mittels sogenannter Carrier-Aggregation gebündelt werden, sodass sich die unterstützten Datenraten gemessen in Mbit/s proportional steigern lassen. MIMO-Antennentechnik (Multiple Input Multiple Output) ermöglicht mittels zusätzlicher Sende- und Empfangsantennen, die übertragbaren Datenraten weiter zu steigern. So können mit LTE-Advanced durch Carrier-Aggregation und MIMO bei genügend verfügbarem Spektrum in der Spitze einstellige Gbit/s-Bandbreiten erreicht werden, im Durchschnitt werden hohe zweistellige und niedrige dreistellige Mbit/s-Datenraten ermöglicht und selbst an Zellrändern können 50 Mbit/s erzielt werden. LTE-Advanced mit z. B. 2,6 Gbit/s Spitzenwert wurde in Laborversuchen schon demonstriert.

Kommerziell eingeführt ist LTE-Advanced in Netzen z. B. in Südkorea seit 2013 mit Bündelung von zwei 20-MHz-Trägerfrequenzen und Bitraten bis zu 300 Mbit/s. Die Kommerzialisierung in Infrastruktur und Chipsets für die Bündelung von drei 20-MHz-Trägerfrequenzen mit Bitraten bis zu 450 Mbit/s ist derzeit in Arbeit. Mittler-

weile demonstrieren LTE-Advanced-Implementierungen Bitraten von bereits 580 Mbit/s durch die Kombination von zwei 20-MHz-Trägern und MIMO-Techniken höherer Ordnung (4x4) mit kommerziell verfügbaren Netztechnologien. Somit trifft die Mobilfunktechnologie auch genau das relevante Zeitfenster.

Mobilfunk kann neben der Versorgung mit mobilem Breitband auch als Ersatz für die stationäre Breitbandanbindung dienen, insbesondere dort, wo die rasche Einführung drahtgebundener Lösungen zu teuer ist. Dies wurde bei der Erreichung der Grundversorgung in Deutschland mit 1 Mbit/s erfolgreich unter Beweis gestellt, wobei 2010 / 2011 mittels Ausbau von LTE im 800-MHz-Band im Laufe eines Jahres alle gemeldeten „weißen Flecken“ versorgt werden konnten. Für die wesentlich höheren Anforderungen aus der Breitbandstrategie bietet LTE-Advanced mit der Carrier-Aggregation und MIMO-Technik die Möglichkeit, unter Verwendung des 800-MHz-Bandes und des dafür umzuwidmenden 700-MHz-Bandes auch abgelegene Haushalte mit leistungsfähigen Breitbandzugängen auszustatten.

Durch die Vermeidung von Tiefbaukosten ermöglicht die Berücksichtigung von LTE-Advanced im Technologiemix erhebliches Einsparungspotenzial für die Erreichung der Breitbandziele gegenüber reinen Festnetzlösungen. Neben diesen Kostenreduktionen ergibt sich mit der Verfügbarkeit des 700-MHz-Bandes die Möglichkeit, zum großen Teil auf Basis bestehender Mobilfunkstandorte die Abdeckung rasch herzustellen. Da viele dieser Standorte über Glasfaser angebunden sind bzw. werden, entstehen darüber hinaus neue Glasfaserendpunkte, die einen nachgeordneten, nachfragegetriebenen Breitbandausbau mit Glasfaser, VDSL Vectoring oder Breitbandkabel bis zum Teilnehmer ermöglichen.

Eine Umwidmung des 700-MHz-Bandes und die Investitionen in eine flächendeckende Versorgung mit hochbitratigem Mobilfunk erfüllen somit mehrere Zwecke:

- Kostengünstige und rasche Unterstützung der Breitbandziele des Bundes für 2018
- Verbesserte Verfügbarkeit von Glasfaser in der Fläche als Basis für weiteren nachfragegetriebenen Breitbandausbau, da viele der Mobilfunkbasisstationen über Glasfaser angebunden werden
- Hervorragende Versorgung mit mobilem Breitband zur weiteren Entwicklung angrenzender Sektoren wie Entwicklung von Apps, Verkehrswesen und Digitalisierung von Dienstleistungen und Industrie

Neben 700 MHz für die Flächenversorgung benötigt mobiles Breitband weitere Frequenzen für die Bereitstellung ausreichender Kapazitäten in dicht besiedelten Gebieten. Perspektivisch müssen hier neben den bestehenden Bändern bei 1.800 MHz, 2.100 MHz und 2.600 MHz weitere Ressourcen erschlossen werden. Hier zeichnen sich attraktive Optionen unter anderem bei 1.452 bis 1.492 MHz (L-Band), bei 2,3 GHz und bei 3,5 GHz und höher ab.

Grundsätzlich benötigt die Bereitstellung zusätzlicher Frequenzbänder für Mobilfunk mehrjährige intensive Arbeit in der internationalen Frequenzregulierung, der Frequenzkoordination mit den Nachbarländern, der Lizenzierung, der technischen Standardisierung und der Produktentwicklung, bevor diese Bänder im Markt genutzt werden können. So werden auf der WRC-15 weitere Kandidatenbänder für Mobilfunkallokation und -identifikation diskutiert werden. Eine besondere Bedeutung kommt auch dem verbleibenden UHF-Band 470 bis 694 MHz zu, das bislang ausschließlich für Fernseh Rundfunk genutzt wird. Eine Nutzung des Bandes für zukünftige konvergente Systeme ermöglicht eine bedarfsgerechte Verbreitung audiovisueller Inhalte entsprechend den Kundenbedürfnissen z. B. in S- und U-Bahnen. Es ist zu erwarten, dass auf lange Sicht konvergente Systeme in diesem Frequenzbereich die konventionelle terrestrische High-Power-High-Tower-Fernsehversorgung ersetzen können.

Darüber hinaus wird bereits heute über Anforderungen und Lösungsansätze für eine nächste Mobilfunkgeneration „5G“ für die nächste Dekade nachgedacht. Für die breite Verfügbarkeit von Datenraten im Bereich etlicher Gbit/s und Latenzzeiten kleiner 1 Millisekunde werden erhebliche zusätzliche Frequenzressourcen erforderlich, die nicht allein im heute für Mobilfunk erschlossenen Frequenzbereich bis etwa 6 GHz gefunden werden können.

Frequenzen über 6 GHz bieten zwar erheblich Kapazität, stellen aber aufgrund ihrer beschränkten Reichweiten und ihrer Ausbreitungsbedingungen erhebliche Anforderungen an die neu zu entwickelnden Technologien. Die Europäische Kommission hat mit dem 5GPPP-Projekt hier eine Grundlage für die europäische Forschungskooperation von Universitäten, Forschungseinrichtungen und der Industrie geschaffen. Zur Sicherstellung der regulatorischen Randbedingungen sollte bereits die WRC-15 mit einem Beschluss für einen Tagesordnungspunkt „Spektrum für 5G“ für die darauf folgende WRC-18/19 die Voraussetzungen für die Untersuchung und Identifikation möglicher zusätzlicher Frequenzbänder oberhalb von 6 GHz für 5G schaffen, um diese ab etwa 2020 schrittweise dem Markt zur Verfügung stellen zu können.

Internet via Satellit

Unter allen heute bereitstehenden Breitbandtechnologien ist über Internet via Satellit in der breiten Öffentlichkeit mit am wenigsten bekannt. Die Technologie stellt leistungsstarke Breitbandzugänge überall in der Ausleuchtzone eines Satelliten bereit. Die dafür eingesetzten Satelliten befinden sich im geostationären Orbit rund 36.000 Kilometer von der Erde entfernt.

Internet via Satellit ist eine ergänzende Zugangstechnologie, die überwiegend in mit terrestrischen Breitbandinfrastrukturen un- und unterversorgten Gebieten sowie in den Randlagen der Ballungszentren zum Einsatz kommt. Der besondere Vorteil dieses Breitbandzugangs ist es, dass dieser flächendeckend und sofort bereitsteht. Dabei lässt sich Satelliten-Internet als Einzellösung oder auch in Kombination mit anderen Breitbandtechnologien als Ortslösung einsetzen.

Beschreibung der Leistungsfähigkeit dieser Technologie

Während die erste Generation von Internet via Satellit vor einem Jahrzehnt noch die Telefonleitung als Rückkanal nutzte, arbeiten die modernen Systeme von heute bidirektional. Das heißt, sowohl der Up- als auch der Download finden ausschließlich über den Satelliten statt. Der Endkunde steht mit seiner Sende- und Empfangseinheit in einem direkten bidirektionalen Kontakt zum Satelliten.

Die Satelliten-Betreiber setzen bei ihren Breitbandzugangslösungen zunehmend auf das in Europa noch recht junge KA-Frequenzband (27 bis 40 GHz). Durch den Einsatz des KA-Bandes lassen sich im Vergleich zu Vorgängersystemen heute signifikant höhere Datendurchsatzraten und Übertragungsgeschwindigkeiten erzielen. Die auf dem Satelliten eingesetzten Transponder (Beams) empfangen die Datensignale von der Erde und leiten diese in einem anderen Frequenzbereich an Bodenstationen weiter, die über Glasfaserleitungen an den Internet-Backbone angeschlossen sind.



Abbildung 9: Beispiel für mögliche Frequenznutzung durch Mobilfunk

So ist auch der über Europa positionierte KA-SAT-Satellit speziell für Internet- und IP-Dienste konzipiert. Seine Nutzlast besteht aus 82 Spotbeams, die jeweils eine kleine Ausleuchtzone von 250 Kilometern im Durchmesser abdecken. Da sich durch eine spezielle Konfiguration Spotbeams des gleichen Frequenzbereichs nicht überlappen, lässt sich jede Frequenz 20-mal einsetzen. Jeder Spotbeam kommt dabei auf eine Leistung von 1,1 Gbit/s. Der Gesamtdatendurchsatz aller Beams liegt bei über 90 Gbit/s. Damit lassen sich in Europa mehr als eine Million Haushalte mit schnellem Internet versorgen.

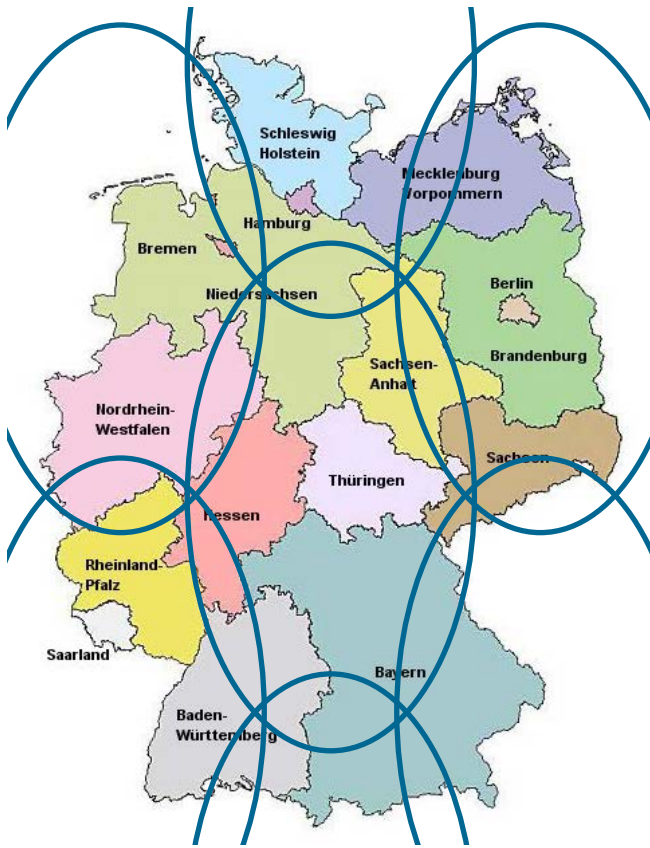


Abbildung 11: KA-SAT-Abdeckung in Deutschland (7 KA-SAT-Spotbeams)

Bei den aktuellen Breitbandzugängen via Satellit wird zwischen Anlagen für einzelne Haushalte und kombinierten Ortslösungen unterschieden. Die Hardware für Einzelanlagen besteht aus einer speziellen kleinen Parabolantenne, einer Sende- und Empfangseinheit sowie einem Modem für den Anschluss der Anlage an den Personal Computer oder einen WLAN-Router. Die Hardware für Satelliten-Internet können Nutzer auf Wunsch mit mitgelieferten Hilfsmitteln selbst installieren und ausrichten. Beim Empfang von Daten sind je nach System aktuell bis zu 22 Mbit/s möglich. Die Höchstgeschwindigkeit beim Versenden liegt bei 6 Mbit/s.

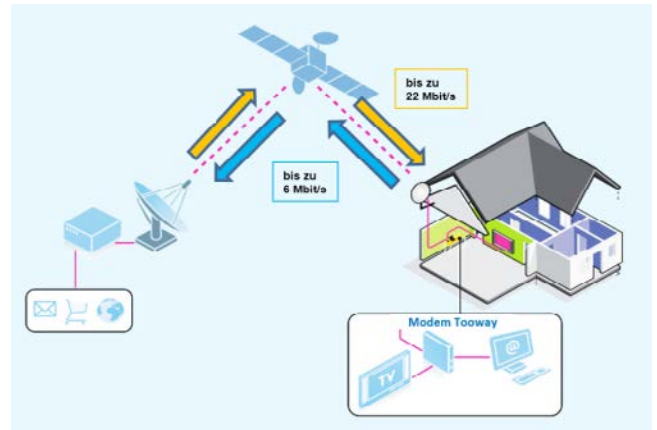


Abbildung 9: Beispiel für mögliche Frequenznutzung durch Mobilfunk

Daneben haben die Betreiber Ansätze konzipiert, die den Satelliten zur Breitbandversorgung von Ortsteilen und ganzen Ortschaften mit anderen Technologien über eine einzige Antenne kombinieren. So erreichen Kombinationen aus Satellit und Funk, für deren Empfang Endkunden nur eine WLAN-Antenne benötigen, Geschwindigkeiten von bis zu 25 Mbit/s. Andere Lösungen bündeln an zentraler Stelle gleich mehrere Antennen und kombinieren die dabei bereitstehenden Bandbreiten mit vorhandenen Kabelnetzinfrastrukturen oder alternativ dem vorhandenen KVz. Für die angeschlossenen Haushalte sind mit dieser Lösung Download-Geschwindigkeiten von bis zu 30 Mbit/s und im Upload bis zu 5 Mbit/s auf Basis des VDSL-Standards möglich. Das Signal wird über den bereits vorhandenen Anschluss für das Telefon mittels Modem beim Endkunden empfangen. Tests mit höheren Geschwindigkeiten laufen derzeit.

Status der Verbreitung der Technologie

In Nordamerika und Asien nutzen inzwischen schon über 2,5 Millionen Haushalte diese Zugangsmöglichkeit. In Europa dürften sich die Nutzerzahlen gegenwärtig nach Angaben der wesentlichen Anbieter im Bereich von 230.000 bis 250.000 bewegen, davon etwa 30.000 in Deutschland.

Grenzen und Vorteile der Technologie

Lange Zeit galten schlechte Wetterbedingungen bei den älteren Satelliten-Systemen als Herausforderung. Durch technische Weiterentwicklungen spielen diese Störfaktoren inzwischen keine nennenswerte Rolle mehr. So können adaptive Technologien sofort etwa auf starke Regenfälle reagieren und die Verbindungen durch die Zuschaltung von mehr Leistung stabil halten.

Als ein weiterer Kritikpunkt von Satelliten-Internet gilt die sogenannte Latenz. Durch die Entfernung des Satelliten zur Erde muss ein Signal etwa 72.000 Kilometer zurücklegen. Dies dauert etwa 250 Millisekunden. Da die modernen Systeme alle bidirektional arbeiten und Signale den Weg quasi zweimal für Senden und Empfangen zurücklegen müssen, verdoppelt sich diese Zeit auf rund 500 Millisekunden. Außer bei Echtzeit-Online-Spielen hat dies jedoch keine gravierenden Auswirkungen auf die Qualität der Verbindung. Zudem optimieren die Satelliten-Anbieter permanent die eigene Infrastruktur und verbundene Applikationen, um den Effekt der Latenz spürbar zu reduzieren. Ein technischer Begriff hierbei ist das „Prefetching“. Mit einer Wahrscheinlichkeitsberechnung werden direkt nach einem Seitenaufruf diverse weitere Inhalte bereits in den Speicher des Personal Computer im Hintergrund geladen, die dann bei einem weiteren Seitenabruf sofort angezeigt werden.

Das Satelliten-Internet steht als Lösung sofort bereit. Es ist zudem schon lange keine Überbrückungstechnologie mehr. Die heutigen professionellen Systeme erreichen bereits 50 Mbit/s und mehr. Da die Endverbraucherdienste in der Regel mit einer zeitlichen Verzögerung nachziehen, dürften diese Geschwindigkeiten in den kommenden drei bis vier Jahren für private Haushalte realistisch sein. Zudem arbeiten die Hersteller an noch leistungsfähigeren Satelliten und Systemen. So sollen durch den Einsatz optischer Systeme Satelliten sogar auf einen Datendurchsatz von 1 Tbit/s und mehr kommen.

Die über Europa bereitstehenden Kapazitäten für Internet via Satellit können von den Betreibern dem Bedarf angepasst und über sich im Orbit befindende Satelliten erhöht werden. In den mittelfristigen Kapazitätsplanungen ist zudem berücksichtigt, dass zwischen dem Bau und der Inbetriebnahme eines neuen Satelliten rund drei Jahre vergehen.

Transportnetze

Einführung

Mit dem weiteren Ausbau von breitbandigen Zugangs- oder Access-Netzen können immer mehr Teilnehmer hohe Datenraten von ihren Anschlüssen zu einem Aggregationsknoten übertragen. In der Abbildung 1: Beispiele für NGA-Zugangspunkte der höheren Ebenen im Gesamtnetz ist dabei der Teilnehmer über ein technologiespezifisches Zugangsnetz und das Transportnetz mit seinem Service Provider bzw. seinen Service Providern verbunden. Die beim Aufbau des Zugangsnetzes eingesetzte Technologie – in Verbindung mit der Dimensionierung beim Aufbau des Netzes – bestimmt dabei die maximale Datenrate, die einem einzelnen Nutzer bei alleiniger Nutzung (dies ist der oft beworbene „bis zu xxx Mbit/s“-Wert), und die minimale Datenrate, die allen Nutzern bei gleichzeitiger Nutzung, zur Verfügung steht.

Mit „Transport“ wird der Netzabschnitt bezeichnet, der das Access-Netz mit zentralen Geräten eines Diensteanbieters verbindet. Erst durch diese Kette können den angeschlossenen Teilnehmern breitbandige Dienste angeboten werden. Für den Teilnehmer ist es wichtig, dass die Daten seiner Anwendungen auf dem gesamten Weg bis zum Service Provider bzw. zur Datenquelle mit einer ausreichend hohen Geschwindigkeit übertragen werden. Dazu gehört auch eine passende Dimensionierung des Transportnetzes.

Nur dort, wo mehrere Diensteanbieter breitbandige Transportverbindungen zu Open-Access⁶-NGA-Netzen haben, werden die dort angeschlossenen Teilnehmer ein breites Angebot an Diensten unterschiedlicher Diensteanbieter nutzen können. Einheitliche Prozesse mit elektronischen Schnittstellen versetzen Diensteanbieter in die Lage, ihre Angebote effizient und schnell über Open-Access-Netze anzubieten. Damit dies auch über größere Distanzen bzw. flächendeckend möglich wird, werden Transportverbindungen notwendig. Für Transport gibt es aktuell keine am Markt etablierten einheitlichen Prozesse und elektronischen Schnittstellen.

Transport-Technologien

In Transportnetzen werden überwiegend Point-to-Point-Verbindungen eingesetzt, die zwei Aggregationsknoten miteinander verbinden. Diese Verbindungen müssen dem immer weiter steigenden Bandbreitenaufkommen der NGA-Netze gerecht werden und eine entsprechend hohe Performance (Bandbreite) zur Verfügung stellen können. In Transportnetzen kommen in erster Linie drei Infrastrukturen zum Einsatz. Hierbei handelt es sich um Kupferkabel, Richtfunk und Glasfaser.

Kupferkabel mit ATM- und SDH-basierter Technologie spielen in den heutigen Aggregationsnetzen keine maßgebliche Rolle mehr. Die darüber erreichbaren Bandbreiten liegen mit bis zu 1 Gbit/s weit unter dem, was heutzutage über eine Glasfaserverbindung erreicht werden kann. Einen weiteren Ausbau von Kupferkabeln in Aggregationsnetzen gibt es de facto nicht mehr. Es werden in der Regel nur noch vorhandene Infrastrukturen insbesondere in ländlichen Gebieten für Transportnetze genutzt.

⁶ Hierzu wird auf das Ergebnispapier der AG 2 der IT-Gipfel-Projektgruppe „Open Access“ aus dem Gipfeljahr 2012/2013 (http://www.it-gipfel.de/IT-Gipfel/Navigation/archiv_did=524992.html) sowie auf die Ergebnisdokumente des NGA-Forums der Bundesnetzagentur (http://www.bundesnetzagentur.de/chn_1411/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Breitband/NGA_NGN/NGA-Forum/Arbeitsergebnisse/arbeitsergebnisse-node.html) verwiesen.

Richtfunkverbindungen finden sehr häufig Anwendung in Mobilfunknetzen zur Anbindung und Aggregation von Basisstationen. Ohne großen Tiefbauaufwand können Richtfunkverbindungen schnell längere Strecken überbrücken, sind dabei aber auch von der Geländetopologie und der Verfügbarkeit von Richtfunkfrequenzen abhängig. Die in Richtfunksystemen angewandte PDH-Technologie weicht mehr und mehr dem Ethernet-basierten Richtfunk. In Abhängigkeit vom dem genutzten Frequenzband und der möglichen Kanalbandbreite sind in der Praxis Richtfunkverbindungen bis zu 1,25 Gbit/s realisierbar. Glasfaserkabel mit der entsprechenden Anzahl von Glasfasern bieten hier die höchste Kapazität. Die Bandbreite auf einer Glasfaserverbindung reicht bis zu mehreren 100 Gbit/s und wird nur durch den aktuellen Stand der aktiven Technik bzw. die physikalischen Eigenschaften der Faser begrenzt (vgl. Point-to-Point – Glasfasertechnologie von heute). Somit stellt Glasfaser eine zukunftssichere Form der Infrastruktur in Transportnetzen dar. Der Aufwand in der Realisierung ist jedoch aufgrund der erforderlichen Verlegung der Glasfaserkabel vergleichsweise hoch.

Andere Technologien wie z. B. Point-to-Multipoint-Richtfunk spielen sowohl im lizenzierten als auch im lizenzfreien Bereich in Transportnetzen eine geringe Rolle. Diese finden sich lediglich in kleineren, abgegrenzten Nischen wieder. Eine Vermarktungsmöglichkeit auf Infrastrukturebene an andere Netzbetreiber ist hier auch nur bedingt gegeben.

Die in Transportnetzen eingesetzten aktiven Netzelemente wie z. B. Ethernet-Switches und Router unterliegen einer permanenten Weiterentwicklung. Hier sind die verschiedenen Systeme schon jetzt in der Lage, Bandbreiten im zweistelligen Terabit-Bereich unterschiedlicher Infrastrukturen zu aggregieren und zu schalten.

Verbindungen in Transportnetzen können durch den Netzbetreiber selbst genutzt, aber auch anderen Netzbetreibern zur Realisierung eigener Daten- und Kommunikationsnetze zur Verfügung gestellt werden.

Software-Defined Networking

Beschreibung und Leistungsfähigkeit der Technologie

Einen wesentlichen Anteil zu kosteneffizientem Aufbau und Betrieb von Breitbandnetzen leistet in den letzten Jahren die Umstellung auf „All-IP“. Dem Komplexitätszuwachs konnte jedoch angesichts des exponentiell wachsenden Netzverkehrs nur unzureichend begegnet werden. Ineffiziente Nutzung von Ressourcen und lange Produkt- und Service-Einführungszeiten sind die Folge.

Um dieser Entwicklung entgegenzuwirken, wurde SDN (Software-Defined Networking) konzipiert. SDN und das in diesem Zusammenhang stehende OpenFlow-Protokoll definieren die Entkopplung von Netzsteuerungs- und Weiterleitungsebene. Der Kerngedanke besteht darin, eine Programmierschnittstelle für die Steuerungsebene bereitzustellen, um Netze und Netzdienste „programmierbar“ zu machen. Durch SDN kann die Netzsteuerung zentralisiert und vereinheitlicht werden, ohne manuell Zugriff auf die einzelnen physischen Netzwerkkomponenten nehmen zu müssen. Somit ändert SDN grundsätzlich die Prinzipien und Strategien, wie moderne Netze aufgebaut und betrieben werden (siehe Abbildung 13: Einfluss von SDN auf die bisherige Netzarchitektur (Quelle: ONF)).

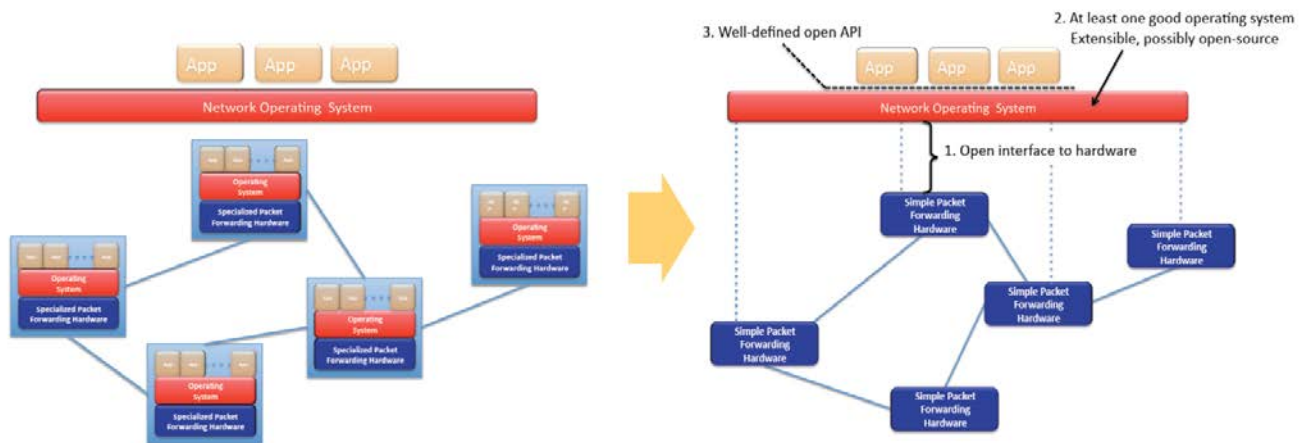


Abbildung 13: Einfluss von SDN auf die bisherige Netzarchitektur (Quelle: ONF)

Status der Verbreitung der Technologie

Ursprünglich wurde SDN von der Stanford University konzipiert, um die Limitierungen bisheriger (autonomer) Netzarchitekturen zu relativieren. Der Begriff „Software-Defined Networking“ wurde erstmals 2009 verwendet. Mittlerweile trifft SDN auf breites Interesse in der Informations- und Kommunikationsbranche und wird von der Open Network Foundation standardisiert und weiterentwickelt. Die erste kommerzielle SDN-Nutzung, die in der breiten Öffentlichkeit bekannt ist, ist die Vernetzung von Google's Rechenzentren. SDN ist eine vergleichsweise junge Technologie, deren Verbreitung noch am Anfang steht.

Vorteile und Grenzen der Technologie

Ein Hauptkostentreiber in modernen Netzen sind die Betriebskosten. Das Augenmerk von SDN liegt deshalb auf der Vereinfachung und Flexibilisierung des Netzbetriebs. Netzressourcen sollen sich dynamisch, effizient, skalierbar, automatisiert und mit offenen Standards nutzen lassen. Neue Dienste können schnell eingeführt und bereitgestellt werden. Netzkonfigurationen können in Echtzeit optimiert werden. Zusammen mit NFV (Network Functions Virtualization), die virtualisierte Netzfunktionen als Software auf Standard-IT-Hardware realisiert, ist es möglich, auch Telekommunikationsfunktionen und -infrastruktur in einer Cloud-Umgebung zu implementieren.

Insbesondere die Betreiber von Internet-Zugangsnetzen müssen neben dem Endkundengeschäft zusätzliche Einnahmequellen erschließen, um auch in Zukunft rentabel zu bleiben. Dafür scheint eine „kontrollierte“ Öffnung der Netze als sinnvoll. Standardisierte Programmierschnittstellen (API) sollen es zukünftig ermöglichen, dass externe Diensteanbieter oder Geschäftskunden kostenpflichtige Dienste eines Netzbetreibers einfacher in ihre eigenen Anwendungen integrieren können. Ein vielversprechendes Anwendungsszenario von SDN ist Infrastructure as a Service (IaaS). Anstatt Infrastruktur zu kaufen, können Betreiber UND Anwender diese bei Bedarf mieten – analog zu Geschäftsmodellen im Bereich Cloud Computing. Daraus ergeben sich eine Vielzahl neuer Anwendungsmöglichkeiten und Geschäftsmodelle. Durch die nutzungsabhängige Vergütung kann die Infrastruktur optimal genutzt werden, die laufenden Kosten passen sich besser dem Bedarf an, Anlauffinanzierungen können verkürzt werden und die damit verbundenen Risiken werden reduziert. Diese Nutzungsoptimierung erweitert auch die Möglichkeiten der Netzbetreiber, um Open-Access-Prinzipien gemeinsam besser umsetzen zu können.

Fazit

Die Übertragungsleistungen, die mit glasfaserbasierten Netzen erreicht werden können, sind nach aktuellem Stand und absehbaren Entwicklungen der Technik durch kein anderes Medium zu erreichen. In Zukunft sind der Produktionsfaktor Information und die für nahezu alle Bereiche der Volkswirtschaft immer wichtigeren digitalen Basisinfrastrukturen in bestmöglicher Weise zur Verfügung zu stellen. Daher führt langfristig kein Weg daran vorbei, Glasfasernetze mit einem fortschreitenden Ausbau möglichst nah an die Endnutzer heranzuführen. Ein vollständiger Ausbau auch der Zugangnetze mit Glasfaser bis in jedes Gebäude bzw. jede Wohnung (sogenanntes FTTB / H), wie durch verschiedene Studien belegt, ist allerdings nur mit einem sehr hohen Investitionsaufwand (siehe dazu z. B. Fußnote 7) erreichbar. Somit müssen kurz- bis mittelfristig alternative, weniger kostenintensive Ausbaustrategien unter Einsatz der verschiedenen hier dargestellten Technologien hinsichtlich der gesetzten Breitbandziele verfolgt werden. Bereits heute allerdings kann ein FTTB / H-Ausbau wirtschaftlich sein, wenn neben Investitionskosten auch andere Faktoren (siehe unten) mit in die Betrachtung einbezogen werden.

Die zuvor beschriebenen Technologien im Zugangsbereich bieten sich dafür an, da dort der größte Teil der Ausbaukosten und dabei primär für Tiefbaumaßnahmen bei der Verlegung neuer Leitungen anfällt. Die Breitbandziele der Bundesregierung (50 Mbit/s flächendeckend bis 2018) können also nur mit dem Einsatz eines derartigen Technologiemix bewältigt werden. Investitionen sowohl in die Ertüchtigung der bestehenden Kupfer- und Kabelinfrastruktur als auch in den Ausbau funkbasierter Zugangslösungen entfallen zu großen Teilen auf die netzseitige Anbindung der VDSL-DSLAMs, der Kabelnetz-Verstärkerpunkte sowie der Basisstationen mit Glasfaser und unterstützen damit direkt den längerfristigen weiteren Glasfaserausbau in der Fläche.

Neben der Geschwindigkeit des Anschlusses ist für die Nutzer auch die Wahlmöglichkeit zwischen verschiedenen Produkten und Diensteanbietern ein wichtiges Kriterium. Deshalb könnten für die hier dargestellten Technologien einheitliche Mitnutzungsmöglichkeiten und Prozesse, wie sie z. B. im NGA-Forum für Festnetze und Breitbandkabelnetze bereits beschrieben wurden, für Diensteanbieter hilfreich sein.

In diesem Dokument wurde die Frage nach der jeweils geeigneten Versorgungstechnologie für bestimmte Einsatzbereiche nicht behandelt. Dies kann nur im Einzelfall und in Kenntnis der örtlichen Gegebenheiten sowie der jeweils vorherrschenden wirtschaftlichen Rahmenbedingungen entschieden werden.

In eine solche Überlegung müssen generell u. a. folgende Parameter mit einbezogen werden:

- die Besiedlungsdichte
- der abzusehende Bedarf steigender Telekommunikationsanforderungen (z. B. in im Aufbau befindlichen Gewerbegebieten, durch Nutzungsänderungen bei privaten Endkunden etc.)
- die Topologie des zu versorgenden Gebiets
- die bereits vorhandene Telekommunikationsinfrastruktur und deren Alter
- der Abstand zu den jeweiligen Netzknoten
- die Betriebskosten
- die Vollkosten beim Ausbau in mehreren Technologiezyklen

Die schnellen technologischen Entwicklungen in der ITK-Industrie und die damit einhergehenden Nutzungsmöglichkeiten erfordern eine kontinuierliche Auseinandersetzung mit dem Thema. Das Erreichen der Ziele der Breitbandstrategie wird ein wesentlicher Meilenstein auf dem fortschreitenden Weg zur Gigabit-Gesellschaft sein.

Abkürzungsverzeichnis

5GPPP	5G Infrastructure Public Private Partnership	NE4	Netzebene 4
API	Application Programming Interface	NFV	Network Functions Virtualization
App	Application	NGA	Next Generation Access
ATM	Asynchroner Transfer-Modus	NG-PON	Next Generation Passive Optical Network
BSA	Bit-Stream-Access	OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplex
CMTS	Cable Modem Termination System	OLT	Optical Line Termination
DAVIC	Digital Audio Video Council	ONF	Open Network Foundation
DOCSIS	Data over Cable Service Interface Specification	ONT	Optical Network Termination
DSL	Digital Subscriber Line	OSI	Open Systems Interconnection
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer	PDH	Plesiochrone digitale Hierarchie
DVB-C	Digital Video Broadcast – Cable	PON	Passive Optical Network
EPON	Ethernet Passive Optical Network	QAM	Quadraturamplitudenmodulation
FN	Fiber Node	QoS	Quality of Service
FSAN	Full Service Access Network	RF	Radio Frequency
FTTB	Fiber to the Building	RFoG	Radio Frequency over Glass
FTTC	Fiber to the Cabinet	SDH	Synchrone digitale Hierarchie
FTTD	Fiber to the Distribution Point, Fiber to the Door, Fiber to the Drop Point – mitunter in Breitbandkabelnetzen verwendet	SDN	Software-Defined Networking
FTTH	Fiber to the Home	SMS	Short Message Service
FTTN	Fiber to the Node – mitunter in Breitbandkabelnetzen verwendet	TAL	Teilnehmeranschlussleitung
FTTS	Fiber to the Street	TWDM-PON	Time and Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Network
Gbit/s	Gigabit pro Sekunde	UHF	Ultra-High Frequency
GdW	Gesamtverband der Wohnungswirtschaft	UKW	Ultrakurzwellen
GHz	Gigahertz	VDSL	Very High Speed Digital Subscriber Line
GPON	Gigabit Passive Optical Network	VrP	Verstärkerpunkt
HFC	Hybrid Fiber Coax	WLAN	Wireless Local Area Network
HSPA	High Speed Packet Access	WRC	World Radio Conference
IaaS	Infrastructure as a Service		
IP	Internet Protocol		
IT	Informationstechnologie		
ITK	Informations- und Telekommunikationstechnologie		
ITU	International Telecommunication Union		
KVz	Kabelverzweiger		
LTE	Long Term Evolution		
Mbit/s	Megabit pro Sekunde		
MHz	Megahertz		
MIMO	Multiple Input Multiple Output		

Mitglieder der Projektgruppe Technologien

Leiter:

Johannes Weicksel
BITKOM

Tim Arnold

Vodafone GmbH

Dr. Frank-Reinhard Bartsch

T-Systems International GmbH

Ulf Bauer

Breitbandbüro des Bundes

Tim Brauckmüller

Breitbandbüro des Bundes

Florian Braun

BUGLAS e.V. Bundesverband Glasfaseranschluss e. V.

Arne Deubelius

Nokia Solutions and Networks GmbH & Co. KG

Carsten Engelke

ANGA Verband Deutscher Kabelnetzbetreiber e. V.

Dr. Wolfgang Fischer

Cisco Systems GmbH

Markus Fritz

Eutelsat European Telecommunications Satellite
Organization Division Exploitation des Systèmes

Harald Geywitz

E-Plus Mobilfunk GmbH & Co. KG

Jürgen Grütznert

Verband der Anbieter von Telekommunikations- und
Mehrwertdiensten e. V. (VATM)

Wolfgang Heer

BUGLAS e. V. Bundesverband Glasfaseranschluss e. V.

Simon Japs

Unitymedia KabelBW GmbH

Lukas Jeuck

ANGA Verband Deutscher Kabelnetzbetreiber e. V.

Dr. Wolfgang Kluge

Ericsson GmbH

Michael Krämer

E-Plus Mobilfunk GmbH & Co. KG

Stefanie Krause

Verband der Anbieter von Telekommunikations- und
Mehrwertdiensten e. V. (VATM)

Christoph Legutko

Intel GmbH

Dr. Jürgen Lolischkies

IfKom – Ingenieure für Kommunikation e. V.

Uwe Löwenstein

Telefónica Germany GmbH & Co. OHG

Dr. Christian Menzel

Samsung Electronics GmbH

Georg Merdian

Kabel Deutschland Vertrieb und Service GmbH

Dirk Metz

Eutelsat Services & Beteiligungen GmbH

Udo Neukirchen

Eutelsat Services & Beteiligungen GmbH

Sarah Neumeyer

Verband der Anbieter von Telekommunikations- und
Mehrwertdiensten e.V. (VATM)

Jürgen Pechmann

Huawei Technologies Deutschland GmbH

Uwe Pietschmann

NetCologne Gesellschaft für Telekommunikation mbH

Ulrich Rehfuëß

Nokia Solutions and Networks GmbH & Co. KG

Olaf Reus

Ericsson GmbH

Horst Schmitz

NetCologne Gesellschaft für Telekommunikation mbH

Andreas Schröder

Vodafone GmbH

Dr. Thomas-Joachim Schröder

Alcatel-Lucent Deutschland AG

Dr. Helmut Stocker

Coriant GmbH & Co. KG

Ingobert Veith

Huawei Technologies Deutschland GmbH

Marja von Oppenkowski

Kabel Deutschland Vertrieb und Service GmbH