

Anlage 1 zu Drucksache-Nr. 21/0104



Technischer Hintergrund Gigabit-Ausbau

Dienstleister

TÜV Rheinland Consulting GmbH

Standort Berlin

Uhlandstr. 88-90, 10717 Berlin

Autoren

Johannes Ludwigs, Thomas Erdmann

Stand

September 2020

Auf die Differenzierung der weiblichen und der männlichen Form wurde in der Schriftform verzichtet. Der gewählte Ausdruck ist als neutrale Bezeichnung anzusehen und umfasst gleichberechtigt und gleichgestellt männliche als auch weibliche Personen.

Urheberrechtsvermerk

Dieses Dokument und alle seine Inhalte sind urheberrechtlich geschützt. TÜV Rheinland Consulting GmbH sind alle Rechte vorbehalten. Urheberbezeichnung, Kennzeichen oder andere Hinweise dürfen weder verändert noch entfernt werden.

Dem Auftraggeber ist es gestattet, dieses Dokument vollständig und unverändert an Dritte weiterzugeben und zu veröffentlichen, wobei im Falle der elektronischen Form gewährleistet sein muss, dass die Inhalte des Dokuments nicht verändert und nicht kopiert werden können (z. B. PDF-Dokument mit entsprechendem Dokumentenschutz).

Übersetzung und Veränderung von jeglichen Teilen des Dokuments sowie die Weitergabe von nur Auszügen bedarf der vorherigen schriftlichen Zustimmung der TÜV Rheinland Consulting GmbH.

Inhaltsverzeichnis

1 Von NGA-Netzen zu Gigabitnetzen	2
1.1 Einleitung.....	2
1.2 Aufbau.....	3
2 Steigender Bedarf nach hohen Bandbreiten	4
2.1 Nachfrageentwicklung im privaten und wirtschaftlichen Bereich	4
2.2 Zusammenfassung zum IST-Zustand und zum zukünftigen Bedarf	10
3 Netze der nächsten Generation werden zu Gigabitnetzen	11
3.1 Netzaufbau.....	11
3.2 Kabelgebundene Technologien	12
3.3 Mobilfunk/5G - Kabellose Technologien	16
3.4 Gigabit-Gesellschaft - Zukunftsfähigkeit der aktuellen Netze	20
4 Die Notwendigkeit flächendeckender Gigabitnetze.....	22
Annex	24
Abkürzungsverzeichnis	24
Abbildungsverzeichnis	25
Tabellenverzeichnis	26

1 Von NGA-Netzen zu Gigabitnetzen

Der Ausbau zu NGA-Netzen kann nur ein mittelfristiges Ziel sein. Schon heute werden für bestimmte Anwendungen Gigabitanschlüsse benötigt. Langfristig wird die Zahl der Anwendungen, die hohe Übertragungsraten benötigen, nur mit gigabitfähiger Infrastruktur zu gewährleisten sein.

1.1 Einleitung

Die Digitalisierung führt zu Veränderungen in allen Lebensbereichen. Damit eröffnen sich völlig neue Potenziale, sowohl im privaten, als auch im wirtschaftlichen Kontext.

Streaming in UHD-Qualität, Smart-Home-Lösungen und E-Health sind nur einige Anwendungen, die aus dem privaten Bereich bekannt sind. Für Unternehmen, Forschungs- & Entwicklungseinrichtungen (F&E), Bildungsstätten und Verwaltungen ist eine leistungsstarke Breitbandanbindung zu einem der wichtigsten harten Standortfaktoren geworden. Der Bedarf an gigabitfähiger Netzinfrastruktur ist in diesem Bereich aufgrund der Automatisierung von Geschäfts-, Produktions- und Dienstleistungsprozessen sowie Anwendungen aus dem Bereich Industrie 4.0, Cloudservices, E-Learning, E-Government, etc. ungleich höher. Schon jetzt hat die Bandbreitenversorgung enorme Auswirkungen auf die Wirtschaftskraft einer Region oder gar eines ganzen Landes.

Berechnungen des Fraunhofer-Instituts gehen davon aus, dass sich der IP-basierte Datenverkehr in Deutschland zwischen 2015 und 2025 versechsfachen dürfte.¹ Die Deutschen werden zunehmend mit mobilen Endgeräten wie Tablets, Smartphones oder Connected TVs den Datenverkehr hochtreiben. Bis 2025 wird die Anzahl dieser Geräte um das Sechsfache zunehmen. Pro-Kopf wird der Datenverkehr in GB/Monat bis 2025 um das Fünffache ansteigen.² Eine noch größere Nachfrageentwicklung wird beim mobilen Datenverkehr erwartet. Cisco rechnet bis 2025 mit einer 43-fachen Steigerung.³

Tabelle 1: Steigerung des geschätzten Netzbedarfs in Deutschland im Vergleich zu 2015

Datenverkehr ⁴	2020	2025
Mobiler Datenverkehr (PB/Monat)	6,5 %	43 %
IP-Datenverkehr (EB/Monat)	2,4 %	6 %
Pro-Kopf-Datenverkehr (GB/Monat)	2,3 %	5 %
Datenverkehr zu Stoßzeiten (Tbps)	4,2 %	18 %

¹ Fraunhofer Institut

² Cisco Systems (2017): Cisco Visual Networking Index. Forecast and Methodology, 2016-2021, White Paper, S. 1.

³ Cisco Systems (2017): Cisco Visual Networking Index, 2016-2021, VNI Complete Forecast Highlights Germany; URL: https://www.cisco.com/c/dam/m/en_us/solutions/service-provider/vni-forecast-highlights/pdf/Germany_2021_Forecast_Highlights.pdf (Stand: 12.10.2017)

⁴ Fraunhofer Institut

Gestützt werden diese Einschätzungen zur Entwicklung des Breitbandbedarfs durch den D21-Digital-Index, der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie in Auftrag gegeben wird. Dieser betrachtet die bisherige und zukünftige Entwicklung des Nutzerverhaltens vor dem Hintergrund der Digitalisierung der Gesellschaft. Der Index konstatiert von 2001 bis 2017 ein kontinuierliches Wachstum des Anteils der Internetnutzer von 37 auf inzwischen 81 % im Jahr 2017 – Tendenz weiter steigend. Seit 2015 misst der Index auch die mobile Internetnutzung. In den letzten zwei Jahren stieg der Anteil der Nutzer in diesem Bereich von 54 auf 64 % an.⁵

Anhand dieser Trends wird deutlich, dass die Entwicklung hin zu gigabitfähiger Breitbandinfrastruktur unabdingbar ist.

1.2 Aufbau

Im Verlauf dieser Ausarbeitung wird auf die Bedarfsentwicklung – gegliedert nach privatem und wirtschaftlichem Bereich – eingegangen. Es werden die aktuellen Bedarfe und die zukünftige Entwicklung dargestellt. Hierbei stehen speziell Anwendungen im Vordergrund, für die eine Gigabitnetzinfrastruktur unerlässlich ist.

Neben den Anforderungen an Gigabitnetze und der Entwicklung technischer Breitbandbedarfe stehen die diversen Netztechnologien im Fokus, die auf ihre Gigabitfähigkeit hin untersucht und bewertet werden. Dabei werden sowohl kabelgebundene, als auch kabellose Technologien betrachtet.

Zu den relevanten kabelgebundenen Technologien gehören HFC/CATV, FTTC, FTTB und FTTH, die sich hinsichtlich Leistungsfähigkeit und Reichweite deutlich voneinander unterscheiden.

Bei den kabellosen Technologien ist aktuell LTE/4G der Standard und wird stetig weiter ausgebaut. Die unterschiedlichen LTE-Versionen ermöglichen bis zu 1,2 Gbit/s im Downstream. Darauf aufbauend wird in Zukunft zunehmend die 5G-Technologie implementiert werden, deren Leistungsfähigkeit die aktuelle LTE-Technologie deutlich übersteigt. Dabei erhöht sich nicht nur die Geschwindigkeit um ein Vielfaches, sondern auch Kapazität und Verbindungsdichte nehmen zu, während sich die Latenzzeit verringert.

Abschließend werden die unterschiedlichen kabelgebundenen und kabellosen Technologien hinsichtlich ihrer Gigabitfähigkeit untersucht und bewertet.

⁵ Initiative 21 e.V. (2017): D21 Digital Index 2017/2018. <http://initiatived21.de/app/uploads/2018/01/d21-digital-index-2017-2018.pdf>

2 Steigender Bedarf nach hohen Bandbreiten

Der Zeitpunkt, ab welchem Gigabitnetze benötigt werden, wird maßgeblich von der Nachfrageseite beeinflusst. Die bereits vorhandenen Anforderungen an die Netzinfrastruktur und deren zukünftige Entwicklung unterscheiden sich in den privaten und unternehmerischen Bereichen deutlich voneinander. Unabhängig davon ist ein leistungsfähiger Breitbandanschluss ein essentieller Standortfaktor – für Privatpersonen und Unternehmen.

2.1 Nachfrageentwicklung im privaten und wirtschaftlichen Bereich

Zunächst ist ein Breitbandanschluss ein harter Standortfaktor, der die Ansiedlung, bzw. den Verbleib, sowohl von Privatpersonen als auch Unternehmen, maßgeblich beeinflusst. Vom Kunden werden häufig nicht nur eine breitbandige Grundversorgung vorausgesetzt, sondern hochbitratige Breitbandanschlüsse, die den Bedarf mittel- bis langfristig decken. Sowohl im privaten als auch im wirtschaftlichen Bereich findet diese Entwicklung statt.

Wie sich der zukünftige Bedarf an Gigabitnetzen entwickelt, wird zunächst maßgeblich durch die Preis- und Nachfrageentwicklung beeinflusst. Seitens der Telekommunikationsunternehmen werden entsprechende Investitionen nur getätigt, wenn von Kunden auch tatsächlich auf Produkte mit einer hohen Bandbreite zurückgegriffen wird, so dass sich die Investitionen amortisieren.

Bezogen auf den privaten Bereich, beeinflussen Haushaltsgröße und die Treiber technischen Bedarfs die Nachfrageentwicklung. Zu den relevanten Treibern gehören im Wesentlichen:

- Smart Home
- Videotelefonie
- Livestreaming und Virtual Reality
- Videonutzung für VoD
- Cloud-Gaming

In **Tabelle 2** ist die prognostizierte Breitbandentwicklung bis 2025 für Haushalte von ein bis mehr als vier Personen dargestellt.

Die Prognose ergibt, dass Anschlüsse jenseits der 500 Mbit/s von Kunden in den kommenden Jahren kaum bis gar nicht nachgefragt werden. Stattdessen werden aktuell vorrangig Bandbreiten zwischen 100 bis 250 Mbit/s nachgefragt. Zukünftig steigt die Nachfrage jedoch bis zu 500 Mbit/s an. Somit werden in den nächsten Jahren Anschlussprodukte nachgefragt, die mit Hilfe von VDSL2 und Super-Vectoring nicht gedeckt werden können. Somit ist der Ausbau von FTTB/H unabdingbar. Auch HFC-Netze können die Nachfrage mittelfristig bedienen, jedoch werden auch hier die angebotenen Bandbreiten langfristig nicht ausreichen.

Tabelle 2: Entwicklung des Breitbandbedarfs im privaten Bereich (Downstream)

Internet-Nutzer pro HH	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
1 Person									
2 Personen									
3 Personen									
4+ Personen									
Produktkategorien nach Download-Bandbreite in Mbit/s:	<50	50	ab 100 - >150	ab 150 - >250	ab 250 - 500	>500 bis 1000	>1000		

Beim Vergleich zwischen dem technischen Bedarf und den gebuchten Bandbreiten im Privatkundenbereich zeigt sich, dass aufgrund des starken Preiswettbewerbs häufig Anschlussprodukte gebucht werden, die deutlich über dem eigentlichen technischen Bedarf liegen.

Aufgrund dieser Beobachtung besteht die Annahme, dass die Nachfrage bei stabilen Produktpreisen in den kommenden Jahren langsamer zunehmen wird.

Aktuell kosten Privatanschlüsse mit 100 - 250 Mbit/s zwischen 33€ und 34€ pro Monat. Laut Prognose wird ein Anschluss mit 500 - ≤1.000 Mbit/s im Jahr 2025 ähnlich viel, nämlich 35€ pro Monat kosten. Bei Produkten ≥1.000 Mbit/s wird 2025 der Preis mit 78€ im Monat hingegen verhältnismäßig hoch sein. Folglich ist davon auszugehen, dass diese Bandbreiten aufgrund des fehlenden Bedarfs und des relativ hohen Produktpreises vom Kunden in naher Zukunft kaum nachgefragt werden.

Tabelle 3: Prognose marktfähiger Durchschnittspreise für Privatkundenprodukte in €/Monat

Kategorie/Jahr	2 Mbit/s	2 < 10 Mbit/s	10 < 30 Mbit/s	30 < 100 Mbit/s	100 < 150 Mbit/s	150 < 250 Mbit/s	250 < 500 Mbit/s	500 < 1.000 Mbit/s	>1.000 Mbit/s
2010	28	37	38	104	139				
2011	28	36	36	87	112	174			
2012	28	36	35	73	91	136			
2013	27	35	33	622	73	106	174		
2014	27	34	32	52	59	83	132		
2015	27	33	30	44	48	65	100		
2016	26	32	29	37	38	51	76		
2017	26	32	28	31	35	40	58	174	
2018		25	27	29	33	34	47	142	
2019		21	25	28	32	33	39	116	
2020			22	27	30	32	32	95	
2021			21	26	28	29	30	78	174
2022				24	25	28	29	64	142
2023				23	24	26	27	52	116
2024				22	23	25	26	43	95
2025				21	22	24	25	35	78

Die Nachfrage wird primär bei Produkte zwischen 250 - 500 Mbit/s liegen. Im Vergleich bietet ein solcher Anschluss mit einem prognostizierten Preis von 25€ im Jahr 2025 ein gutes Preis-Leistungsverhältnis; sowohl Produkte mit geringerer Bandbreite als auch Produkte mit höherer Bandbreite bieten keinen gravierenden Preisvorteil.

Nachfrageentwicklung in der Wirtschaft

Sämtliche Wirtschaftszweige werden aktuell mit Digitalisierungsthemen und damit einhergehend mit der Nachfrage nach gigabitfähigen Breitbandprodukten konfrontiert. Die großen Treiber des technischen Bedarfs für die steigende Nachfrageentwicklung in der Wirtschaft sind primär Folgende:

- Industrie 4.0
- Big Data
- Vernetzte Anwendungen
- Virtual Reality
- Augmented Reality

- Cloud Anwendungen
- Videotelefonie/-streaming

Diese decken sich in Teilen mit den Treibern im privaten Bereich.

Mit Blick auf das einzelne Unternehmen ist der Bedarf von unterschiedlichen Faktoren abhängig. Generell sind die

- Branche,
- die Unternehmensgröße und
- der Durchschnittsbedarf pro Online-PC-Arbeitsplatz

relevant, um die benötigten Bandbreiten zu ermitteln.

Branchen, in welchen Online-PC-Arbeitsplätze einen Großteil der Gesamtbeschäftigten ausmachen, sind sowohl im IT-Sektor als auch im Dienstleistungsbereich mit diversen Schwerpunkten angesiedelt.

Sinkende Preise und steigende Nachfrage

Die Preisstruktur von Geschäftskundenprodukten wird maßgeblich davon beeinflusst, ob es sich um einen symmetrischen oder asymmetrischen Anschluss handelt. Bei asymmetrischen Standardprodukten wird eine hohe Downloadrate bei geringem Upstream bereitgestellt. Für Unternehmen mit gleichermaßen hohem Bedarf an Uploadkapazitäten werden darüber hinaus symmetrische Anschlüsse angeboten, bei denen die Upload- der Downloadrate entspricht.

Tabelle 4: Prognose marktfähiger Durchschnittspreise für asymmetrische Geschäftskundenprodukte (2017-2025 in €/Monat)

Kategorie/ Jahr	10 Mbit/s	12 - 30 Mbit/s	40 - 50 Mbit/s	100 - 150 Mbit/s	200 - 300 Mbit/s	500 Mbit/s	1.000 Mbit/s	>1.000 Mbit/s
2017	25	34	44	63	54	88	274	
2018	23	33	42	60	51	82	225	
2019	22	31	40	57	48	77	184	
2020	20	29	39	54	45	72	150	
2021	19	28	37	52	42	68	123	274
2022	18	27	35	50	40	64	101	225
2023	17	27	34	47	37	60	82	184
2024	16	26	32	45	35	57	76	150
2025	15	25	30	43	33	53	64	123

Die Preise für derartige symmetrische Produkte werden bis zu 25 Mal höher angesetzt, als für asymmetrische: Kostet ein asymmetrischer Breitbandanschluss mit 200 - 300 Mbit/s im Downstream aktuell 51€ pro Monat, kostet ein symmetrisches Produkt mit derselben Übertragungsrate im Durchschnitt 1301€.

Bis 2025 sinken die Preise für beide Produktklassen, jedoch bleiben auch hier deutliche Unterschiede zwischen symmetrischen und asymmetrischen Produkten bestehen.

Tabelle 5: Prognose marktfähiger Durchschnittspreise für symmetrische Geschäftskundenprodukte (2017-2025 in €/Monat)

Kategorie/ Jahr	10 Mbit/s	12 - 30 Mbit/s	40 - 50 Mbit/s	100 - 150 Mbit/s	200 - 300 Mbit/s	500 Mbit/s	1.000 Mbit/s	>1.000 Mbit/s
2017	336	472	573	848	1441	930	1050	
2018	294	412	501	765	1301	840	948	
2019	257	360	438	691	1175	758	856	
2020	225	315	383	624	1061	685	773	
2021	196	275	334	564	958	618	698	1050
2022	172	241	292	509	865	558	630	948
2023	150	210	255	460	781	504	569	856
2024	131	184	223	415	705	455	514	773
2025	115	161	195	375	637	411	464	698

Ob letztlich ein asymmetrisches oder symmetrisches Produkt gebucht wird, ist in erster Linie von den Anforderungen des jeweiligen Unternehmens und der Unternehmensgröße abhängig.

Während sich der Bedarf von Kleinst- und Kleinunternehmen an den Bandbreiten von Privathaushalten orientiert, steht bei mittleren und großen Geschäftskunden der tatsächliche Breitbandbedarf im Vordergrund. Besonders bei symmetrischen Produkten, bei denen der Anschlusspreis generell relativ hoch ist, lässt sich diese Entwicklung prognostizieren. Gleichwohl kann ein niedriger Produktpreis die Entscheidung für ein Produkt mit höherer Bandbreite als benötigt begünstigen.

Auch bei einer Prognose für die Bedarfe im Jahr 2025 ist die Unternehmensgröße maßgeblich. Kleinst- und Kleinunternehmen werden primär asymmetrische Produkte mit einer ähnlichen Bandbreite wie Privatkunden buchen. Mittlere Unternehmen werden mehrheitlich Anschlüsse bis zu 1 Gbit/s buchen, die teils asymmetrisch und teils symmetrisch sind. Vornehmlich Großunternehmen werden aufgrund ihrer Anforderungen symmetrische Gigabit-Anbindungen nachfragen.

Da die Anzahl der kleinen und mittleren Unternehmen die Anzahl der Großunternehmen deutlich übersteigt, werden absolut nur relativ wenige symmetrische Gigabitanschlüsse nachgefragt.

Technologiebedarf in diversen Bereichen

Vorangegangen wurden unterschiedliche digitale Anwendungsbereiche, vornehmlich aus der Wirtschaft, thematisiert. Diese unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Anforderungen an Bandbreite, Verfügbarkeit und Latenz voneinander. Latenz beschreibt in der Telekommunikation die Verzögerung zwischen dem Aussenden eines Signals und dem Empfangen eines Antwortsignals, z.B. beim Aufrufen einer Website mit einem Internetbrowser.

Im Folgenden wird auf diese Anforderungen eingegangen und eine Folgerung hinsichtlich der kompatiblen Technologien vorgenommen.

Tabelle 6: Technische Anforderungen verschiedener Anwendungsbeispiele

Anwendung	Bandbreite	Latenz	Verfügbarkeit	Technologie
Cloud Anwendungen/ Computing	+++	++	+++	FTTB/FTTH
Augmented-Reality	++	+++	+++	FTTB/FTTH
Videotelefonie/ -streaming	++	++	+	FTTC/FTTB/FTTH + 5G

Big Data	+++	+	+++	FTTB/FTTH
Industrie 4.0	++	+++	+++	FTTB/FTTH
Mobile Anwendungen	++	+	+++	FTTB/FTTH + 5G

Legende:**Bandbreite**

- + Geringer Bedarf an Bandbreite, Übertragung großer Datenpakete steht im Hintergrund
- ++ Höherer Bedarf an Bandbreite, Übertragung größerer Datenpakete, Belastungsspitzen können auftreten
- +++ Höchster Bedarf an Bandbreite, Spitzenbelastung sowie kontinuierliche Breitbandauslastung durch hohe Datenübertragung

Verfügbarkeit

- + Ausfall führt zu keinen kritischen Zuständen, es entsteht weder wirtschaftlicher Schaden noch Lebensgefahr
- ++ Ausfall kann zu wirtschaftlichem Schaden führen, Dienst ist aber auch ohne Internetanbindung weiterhin funktionsfähig, wenn auch mit eingeschränkter Funktionalität
- +++ Ausfall hat Einfluss auf die Infrastruktur und führt zu wirtschaftlichem Schaden, durch einen Ausfall können zusätzlich Menschenleben in Gefahr geraten

Latenz

- + Anwendungen sind latenzunkritisch, hohe Latenz hat minimalen Einfluss auf Funktionsumfang
- ++ Latenzstabilität ist erforderlich, jedoch sind Anwendungen nicht latenzkritisch
- +++ Geringe Latenz ist eine technische Voraussetzung, um die Funktionalität der Anwendung zu gewährleisten

Industrie 4.0

Der Industrie-4.0-Sektor stellt mit seinen Spitzenauslastungen bei der Datenübertragung hohe Anforderungen an die Bandbreitenauslastung. Das Netz muss durchweg verfügbar sein, um die Wertschöpfung innerhalb der Betriebe und Versorgernetzwerke aufrechtzuerhalten. Aufgrund des Einsatzes vielseitiger Sensoren und der erforderlichen Verarbeitung von Informationen wird eine geringe Latenz (Verzögerung) benötigt.

Diese Anforderungen lassen sich auf lange Sicht nur durch FTTB/FTTH-Anbindungen realisieren.⁶

Big Data/Data Analytics

Big Data-Lösungen, wie etwa bei E-Health-Anwendungen, benötigen vor allem bei großen Akteuren – etwa Rechenzentren – sehr hohe Bandbreiten. Dies gilt sowohl für den Up- als auch für den Downstream. Im Optimalfall sollen viele Nutzer große Datenmengen nutzen können. Ebenso wichtig ist daher eine hohe Verfügbarkeit. Latenzen sind im Fall von Big Data hingegen von geringerer Bedeutung, ebenso wie Paketverluste, die zumeist mittels entsprechender Protokolle korrigiert werden können.⁷

⁶ Vgl. Fraunhofer FOKUS: Netzinfrastrukturen für die Gigabitgesellschaft. Berlin 2016, S. 48

⁷ Vgl. IBM Institute for Business Value: Analytics: Big Data in der Praxis. Online unter: <https://www-935.ibm.com/services/de/qbs/thoughtleadership/GBE03519-DEDE-00.pdf>

Für diese Anforderungen werden auf lange Sicht ebenfalls FTTB/FTTH-Anbindungen benötigt.⁸

Mobile Anwendungen

Zur Nutzung mobiler Anwendungen, wie beispielsweise dem digitalen Bürgeramt, ist ein leistungsfähiges Mobilfunknetz unerlässlich. Darüber hinaus sind stationäre WLAN-Hotspots erforderlich. Der Einzelhandel benötigt diese beispielsweise, um seinen Kunden mobile Anwendungen zur Verfügung zu stellen.⁹ Aufgrund der Vielzahl an Sensordaten und Informationen ist eine geringe Latenz notwendig.

Die Kombination der vielen mobilen Teilnehmer macht eine leistungsfähige und weitreichende FTTB/FTTH-Struktur erforderlich. Nur so können die anfallenden Datenmengen übertragen werden. Eine zuverlässige Funkübertragung mit geringer Latenz ermöglicht ein 5G-Mobilfunknetz.¹⁰

Augmented Reality (AR)/Virtual Reality (VR)

Simulationen im Architektur- oder Sicherheitsbereich, Bildungsanwendungen im Klassenzimmer – die technischen Anforderungen zur Verwendung von AR- und VR-Systemen unterscheiden sich in Abhängigkeit von ihrem Anwendungskontext. Generell benötigen AR- und VR-Systeme vor allem hohe Bandbreiten – speziell im Upstream. Zudem bedarf es einer Verfügbarkeit sowie einer stabilen Latenz. Ein Ausfall ist zwar nicht dramatisch, hätte aber eine eingeschränkte Funktionalität zur Folge.

Im Hinblick auf die Zukunftsfähigkeit und die Anforderungen an die Ausfallsicherheit wird auch hier die FTTB/FTTH-Technologie empfohlen.

Cloud-Anwendungen/Cloud Computing

Bei der Verwendung von Cloud-Computing wird eine hohe Bandbreite benötigt. Der Bedarf steigt mit jedem einzelnen Mitarbeiter und jedem zusätzlichen Projekt sowie der Komplexität der Aufgaben. Da Mitarbeiter nicht nur im Büro, sondern auch beim Kunden oder von zu Hause aus arbeiten, wird die Bandbreite nicht nur an einzelnen Gewerbestandorten, sondern flächendeckend benötigt. Um Anwendungen ausführen zu können, ist zudem eine stabile Latenz notwendig.

Durch die hohen Anforderungen an Verfügbarkeit und Übertragungsraten stellen FTTB/FTTH-Anschlüsse die bevorzugte Technologie dar.¹¹

Videotelefonie/-streaming

Videotelefonie erfordert ebenfalls eine geringe Latenz der Internetverbindung. Da die Bildqualität und die Auflösung von (eingebauten) Kameras und Bildschirmen stetig steigen, wächst auch der Bandbreitenbedarf. Die Anwendungen sind zwar latenzunkritisch, sie bedürfen jedoch einer latenzstabilen Verbindung, um eine Echtzeitkommunikation zu ermöglichen, bei der Bild und Ton übereinanderliegen.

⁸ Vgl. Fraunhofer FOKUS: Netzinfrastrukturen für die Gigabitgesellschaft. Berlin 2016, S. 56

⁹ Vgl. IFH Institut für Handelsforschung GmbH: Implementierung digitaler Technologien am Point of Sale. Ein Leitfaden für kleine und mittlere Unternehmen, Köln 2016, S. 16.

¹⁰ Vgl. Fraunhofer Institut: 5G – mehr als Mobilfunk. Online unter: <https://www.iis.fraunhofer.de/de/ff/kom/mobile-kom/5G.html>

¹¹ Vgl. Nationaler IT-Gipfel. Konvergente Netze als Infrastruktur für die Gigabit-Gesellschaft.

Diese Anforderungen können von einem breiten Technologiemix abgedeckt werden. In Betracht kommen daher Lösungen, die auf FTTC/FTTB/FTTH oder im mobilen Bereich 5G basieren.¹²

2.2 Zusammenfassung zum IST-Zustand und zum zukünftigen Bedarf

Mittel- bis langfristig steigt die Nachfrage nach leistungsfähigen Breitbandprodukten weiter an. Sowohl die Breitbandnachfrage als auch die Motivation für steigende Nachfrage unterscheiden sich in Wirtschaft und Privatbereich deutlich voneinander:

Im privaten Bereich steigt die Nachfrage bis auf 500 Mbit/s im Jahr 2025. Dies liegt primär am Preis-Leistungs-Verhältnis. Immer höhere Bandbreiten können zu immer geringeren Preisen nachgefragt werden. Somit werden höhere Bandbreiten nachgefragt als tatsächlich benötigt. Dies ist stets vor dem Hintergrund der Haushaltsgröße zu betrachten. Je größer der Haushalt, desto eher nähern sich der tatsächliche technische Bedarf und die gebuchte Bandbreite an.

Bei Unternehmen ist die Nachfrageentwicklung maßgeblich von der Branche und der Unternehmensgröße abhängig. So ist die Nachfrage in kleinen, mittleren und großen Unternehmen sehr unterschiedlich - nicht nur was die Bandbreite angeht, sondern auch ob symmetrische oder asymmetrische Produkte gebucht werden.

Die Nachfrage für Kleinst- und Kleinunternehmen entwickelt sich parallel zur Nachfrage im privaten Bereich. Die Unternehmen fragen Bandbreiten bis zu 500 Mbit/s ab, wobei der Produktpreis entscheidenden Einfluss auf die Wahl des Kunden hat.

Anders als bei kleinen Unternehmen orientiert sich die Nachfrage in mittleren und großen Unternehmen maßgeblich am tatsächlichen technischen Bedarf. Mittlere Unternehmen fragen im Jahr 2025 hauptsächlich Bandbreiten bis 500 Mbit/s nach, während Großunternehmen primär Anschlüsse im Gigabitbereich benötigen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass dies überwiegend symmetrische Anschlüsse sind, die im Down- und Upstream dieselbe Bandbreite anbieten.

Langfristig können nur FTTB/H-Netze den Breitbandbedarf decken. Dies ergibt sich aus den Prognosen, laut derer im Jahr 2025 Großunternehmen mitunter 1 Gbit/s symmetrisch nachfragen werden. Grund für diese hohen Nachfragen sind Treiber wie Industrie 4.0, Big Data, Vernetzte Anwendungen, Virtual Reality und Cloud Anwendungen.

¹² Vgl. Nationaler IT-Gipfel 5G-Schlüsseltechnologie für die vernetzte Gesellschaft. Berlin 2015.

3 Netze der nächsten Generation werden zu Gigabitnetzen

Um den Anforderungen zukünftiger Internetanwendungen gerecht zu werden, ist es unabdingbar, eine leistungsfähige Breitbandinfrastruktur zur Verfügung zu stellen.

Es gibt eine Vielzahl an unterschiedlichen Netztechnologien, die sich hinsichtlich Bandbreiten und Reichweiten zum Teil deutlich voneinander unterscheiden. Des Weiteren gibt es große Unterschiede in Hinblick auf die Kosten für Errichtung und Betrieb.

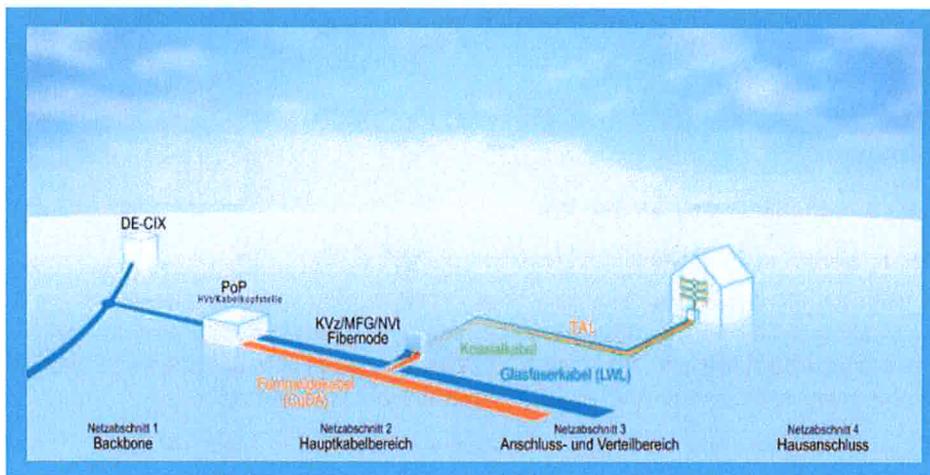
Auch die Entwicklungspotenziale sind sehr uneinheitlich. Während einige Technologien ihre Grenzen in naher Zukunft erreichen, bieten andere auch auf lange Sicht enorme Möglichkeiten zur Weiterentwicklung.

Aufgrund dessen eignen sich die verschiedenen Netztechnologien zum Teil nur bedingt als Gigabitinfrastruktur. Im Folgenden werden sie daher hinsichtlich ihrer Gigabitfähigkeit verglichen und bewertet.

3.1 Netzaufbau

Bei der Netzplanung werden vier Netzabschnitte voneinander unterschieden: der Backbone, der Hauptkabelbereich, der Anschluss- und Verteilbereich sowie der Hausanschluss.

Abbildung 1: Netzaufbau im Überblick



Der Backbone bildet die Basis jedes Breitbandnetzes: Er verbindet die einzelnen zentralen Knotenpunkte des Netzes auf regionaler Ebene miteinander. Der Backbone endet am Point of Presence (PoP), welcher – z. B. in Form eines Hauptverteilers (HVt) – sämtliche Verbindungen für den Daten- und Sprachverkehr zusammenführt. Er markiert zugleich den Beginn des Hauptkabelbereichs, der wiederum von dort bis zu einem Verteilerelement reicht. Je nach genutzter Netztechnologie gibt es verschiedene Verteilerelemente, z. B. Kabelverzweiger (KVz) bzw. Multifunktionsgehäuse (MFG), Netzverteiler (NVt) oder sogenannte Fibre Nodes.

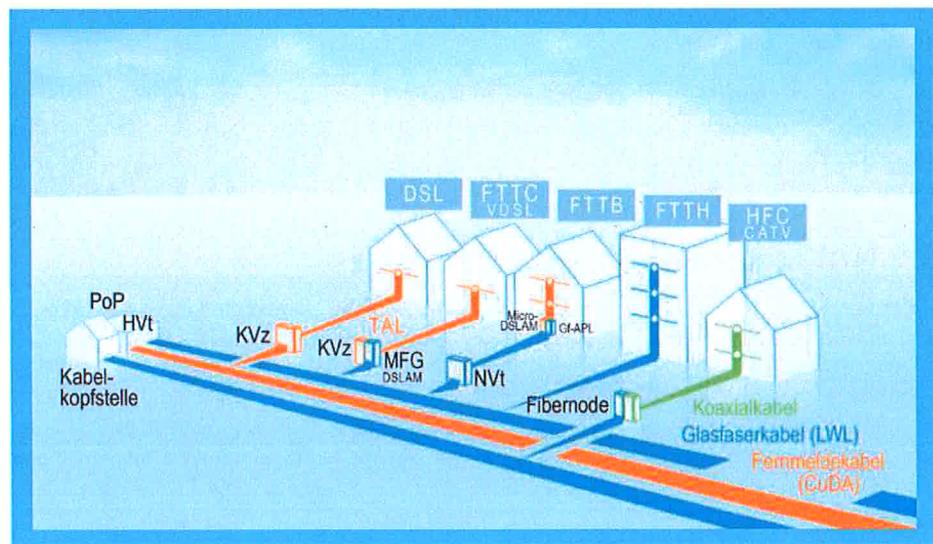
Am Verteilerelement beginnt der Anschluss- und Verteilbereich, von wo aus die Leitung über das Verteilernetz bis zum Endkundenanschluss geführt wird. Dieser Abschnitt wird Teilnehmeranschlussleitung (TAL) oder umgangssprachlich „letzte Meile“ genannt. Mit dem Übergang von der Außen- zur Innenverkabelung beginnt schließlich der Hausanschluss.

3.2 Kabelgebundene Technologien

Kabelgebundene Übertragungstechnologien werden nach der Art des Anschlusses unterschieden, über den der Endkunde an das Netz angebunden wird. In der vorliegenden Studie werden die folgenden Technologien berücksichtigt:

- FTTC (Fiber To The Curb): Glasfaser bis zum Straßenrand
- FTTB (Fiber To The Building): Glasfaserkabel bis ans Gebäude
- FTTH (Fiber To The Home): Glasfaserkabel bis in die Wohnung
- CATV/HFC (Cable TV/Hybrid Fiber Coax): Datenübertragung durch Kabelfernsehnetze, basierend auf Koaxialkabeln und Glasfaserkabeln

Abbildung 2: Kabelgebundene Netztechnologien



Aktuell verfügbare Netztechnologien

Zwei mögliche Netzstrukturen für FTTH-Netze: PON und P2P

Im Vergleich aller Breitbandtechnologien bieten FTTH-Anschlüsse die besten Leistungsparameter: Mit ihnen kann die höchste Bandbreite sowie die geringste Latenz erreicht werden. Symmetrische Gigabit-Bandbreiten sind mit FTTH problemlos möglich. FTTH-Netze sind zudem am energieeffizientesten im Vergleich zu den anderen Technologien.

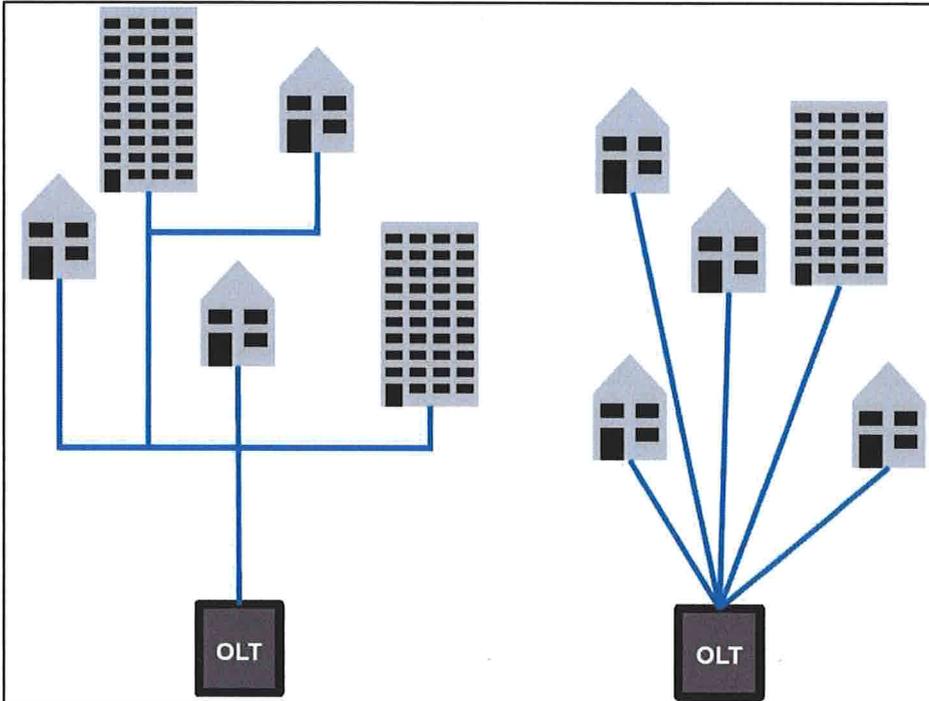
Es lassen sich dabei grundsätzlich zwei Netzstrukturen voneinander unterscheiden:

Passive Optische Netze (PON): Glasfasernetze, die mehrere Endkunden aus einer Laserquelle über passive Netzelemente – sogenannte Splitter – versorgen

Point-to-Point-Netze (P2P): Glasfasernetze, die jedem Anschluss ein eigenes Faserpaar zuweisen

P2P-Netze verwenden einen Ethernet-Standard und sind in der Leistungsfähigkeit schon heute fast beliebig skalierbar. Dementsprechend sind sie wesentlich leistungsfähiger als PONs. Es werden jedoch deutlich mehr Glasfasern und entsprechende Leerrohre benötigt. P2P-Systeme erfordern daher mehr Platz, Material, sind insgesamt komplexer – und infolgedessen teurer als PONs. Sie werden derzeit vor allem bei institutionellen Nachfragern und in Unternehmen eingesetzt.

Abbildung 3: links: schematische Darstellung PON; rechts: schematische Darstellung P2P



Neue PON-Standards machen Gigabit-Bandbreiten möglich

Die Standards für PON und P2P-Netze entwickeln sich kontinuierlich weiter. Eine solche neuere Technologie ist FTTH-GPON. Diese ermöglicht den Teilnehmern eines Clusters eine Bandbreite von rund 2,5 Gbit/s. In kleineren Clustern sind so theoretisch Gigabit-Bandbreiten im Downstream verfügbar. Aktuell üblich sind jedoch Angebote mit 500 Mbit/s im Down- und 100 Mbit/s im Upstream. Diese Bandbreiten können im Umkreis von bis zu 30 km um den sogenannten Central Office realisiert werden.

Darüber hinaus gibt es mehrere PON-Nachfolgetechnologien (NG-PON, NG-PON2, 100G-PON), die technisch noch deutlich höhere Bandbreiten pro Cluster aufweisen – bis zu 80 Gbit/s symmetrisch. Diese machen einen erhöhten Austausch von Systemtechnik und Endgeräten notwendig und werden aktuell noch nicht eingesetzt.

Das Fazit: Als rein glasfaserbasierte Technologie verfügen FTTH-Netze über großes technisches Potenzial. Sie sind daher die anzustrebende Zieltechnologie für Breitbandfestnetze. Dank ihrer technischen Leistungsfähigkeit eignen sie sich zudem als Grundlage für ein 5G-Mobilfunknetz. Einen großen Nachteil haben sie jedoch: Die Kosten, die für den Bau der Netze anfallen, sind hoch. Wie im Kapitel zum IST-Zustand erläutert, fehlt bislang eine entsprechende Nachfrage für FTTH-Lösungen. Deren Markt beschränkt sich bislang vor allem auf Unternehmensanschlüsse und den öffentlichen Sektor.

FTTC: Übertragungsraten von bis zu 100 Mbit/s mit Vectoring

Vectoring ist eine Erweiterung von VDSL2 (FTTC), die es ermöglicht, den sogenannten Nebensprecheffekt zu verringern. Auf diese Weise können die Übertragungsgeschwindigkeit sowie die Anzahl der an einen Kabelverzweiger (KVz) angeschlossenen Teilnehmer erhöht werden. Bezüglich der erreichten Bandbreiten lässt sich Vectoring zwar nicht mit reinen Glasfaserlösungen vergleichen, es können aber dennoch Übertragungsraten von bis zu 100 Mbit/s im Umkreis von wenigen hundert Metern um einen KVz erreicht werden.

Der Einsatz dieser Technologie in Deutschland wurde vielfach kritisiert. Denn an einem mit Vectoring ausgestatteten KVz kann das marktbeherrschende Unternehmen keine entbündelte Teilnehmeranschlussleitung (TAL) mehr anbieten – das aktuell gefragteste Vorleistungsprodukt. Stattdessen sind nur noch Vorleistungsprodukte auf Basis eines Bitstrom-Zugangs einsetzbar. Im August 2017 hat die Europäische Kommission drei entsprechende Vorleistungsprodukte notifiziert, sodass ein Einsatz von Vectoring auch in Fördergebieten und im Nahbereich um die Hauptverteiler (HVT) möglich ist.¹³

Technologische Entwicklungen

Einführung von Super-Vectoring ab 2018

Vectoring 35b – auch als Super-Vectoring bezeichnet – ist eine weitere FTTC-Technologie. Sie erweitert die Frequenzen, die über die Kupferdoppelader verwendet werden können – von 17 MHz (VDSL2-Vectoring) auf 35 MHz. Der Einsatz der Technologie macht Anpassungen erforderlich: Neben dem Einsetzen von aktiver Technik (sogenannte Linecards) in mit Glasfaser angeschlossene KVz, müssen beim Kunden neue Endgeräte installiert werden.

Vectoring 35b ermöglicht Bandbreiten von 250 Mbit/s bis zu einer Kabellänge von 300 Metern, was einem Radius von ca. 250 Metern um den KVz entspricht. Zwar sind mit Super-Vectoring auch Bandbreiten von 300 Mbit/s möglich. Dann wäre jedoch kein Parallelbetrieb mit anderen VDSL-Varianten möglich, denen nach aktuellen Planungen ein Frequenzband zusichert werden soll.

Der Vergleich mit VDSL2-Vectoring ergibt, dass Super-Vectoring bis zu einer Distanz von 1.200 Metern höhere Bandbreiten bietet. Ab etwa 800 Metern ähnelt sich die Leistungsfähigkeit der beiden Technologien jedoch zunehmend. Grund sind die starken Dämpfungseffekte.

Super-Vectoring wird seit 2018 in Deutschland eingesetzt. Die Aufrüstung soll bis spätestens 2020 abgeschlossen sein.

Tabelle 7: Leistungsvermögen von Vectoring 35b (Super-Vectoring) in Bezug zur Leitungslänge

Bandbreite Downstream	Bandbreite Upstream	Maximale Leitungslänge
250 Mbit/s	40 Mbit/s	250 m
200 Mbit/s	35 Mbit/s	450 m
100 Mbit/s	10 Mbit/s	600 m

Vectoring 35b bietet eine kostengünstige Möglichkeit, die bestehenden FTTC-Netze durch den Einsatz neuer aktiver Technik (Linecards, Modems) leistungsfähiger zu machen. Denn: Sofern der KVz bereits mit Glasfaser angeschlossen ist, entstehen keine weiteren Kosten für den Anschluss. Weiterführende Entwicklungen bei FTTC-Netzen – über VDSL2 und Vectoring 35b hinaus – sind aktuell nicht vorherzusagen. Fest steht jedoch: Aufgrund der physikalischen Grenzen der Kupferdoppelader werden Gigabit-Bandbreiten mit FTTC-Netzen nicht erreicht werden.

G.fast-Standard wird kontinuierlich weiterentwickelt

G.fast ist ebenfalls eine DSL-Technik, die auf VDSL2-Vectoring basiert. Sie wird als Nachfolgestandard von VDSL 2 angesehen. G.fast wurde bereits im Jahr 2014 von der Internationalen

¹³ Vgl. Heise-Online 2017: <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Breitbandausbau-EU-Kommission-genehmigt-Beihilfen-fuer-Vectoring-Projekte-3799431.html>

Fernmeldeunion (ITU) standardisiert. In Deutschland implementieren seit 2017 die ersten Unternehmen in Deutschland G.fast im Regelbetrieb.

Zum Einsatz kommt dabei eine Variante, bei der Frequenzen bis 106 MHz auf der Kupferdoppelader genutzt werden. Das erlaubt Übertragungsraten von rund 600 Mbit/s bis ca. 100 Meter Entfernung zwischen der mit Glasfaser versorgten DSLAM-Einheit und dem Modem beim Kunden. Noch in diesem Jahr soll ein erweitertes G.fast zur Verfügung stehen, das Frequenzen bis 212 MHz nutzen kann. Im Ergebnis stünden dann insgesamt 1.200 Mbit/s bis zu einer Distanz von 100 Metern zur Verfügung. Bei beiden G.fast-Varianten kann die verfügbare Bandbreite flexibel für den Up- oder Downstream genutzt werden.

Allerdings ermöglicht die Kupferdoppelader eine derartige Ausweitung des Frequenzspektrums nur auf sehr kurzen Distanzen. Denn mit fortschreitender Distanz zum DSLAM nimmt die Leitungsdämpfung aus physikalischen Gründen stark zu. Schon bei einer Distanz von rund 250 Metern bietet Vectoring 35b im Vergleich mehr Bandbreite. Außerdem ist auch die Zahl der zu versorgenden Anschlüsse stärker begrenzt; aktuell ist bei G.fast lediglich aktive Technik für maximal 96 Anschlüsse verfügbar.

Aus diesem Grund ist G.fast für den Einsatz am Hausübergabepunkt (FTTB) bzw. im Verzweigungsbereich (FTTdp) geplant. Aufgrund der hiesigen Netztopologie ist die Technologie für ein FTTB-Szenario relevant. Mit G.fast werden FTTB-Architekturen damit erstmals gigabitfähig.

Die Entwicklung des G.fast-Standards ist allerdings noch nicht abgeschlossen. Tatsächlich soll Next Generation G.fast (XG.fast) etwa ab dem Jahr 2020 Bandbreiten von über 10 Gbit/s auf einer Kupferlänge bis 50 m verfügbar machen. Die technische Standardisierung steht allerdings noch aus.

Bandbreiten von bis zu 400 Mbit/s mit DOCSIS 3.0

Wie das Telefonnetz waren auch die Kabelfernsehnetze ursprünglich nicht für den IP-Datenverkehr konzipiert, sondern wurden nachträglich umgerüstet. Zu diesem Zweck werden die Koaxialnetze rückkanalfähig gemacht, indem Netzelemente wie Verstärker und Anschlussdosen ausgetauscht werden. Außerdem verfolgen Kabelnetzbetreiber eine Strategie des nachfragegetriebenen Ausbaus von Glasfaser in den Netzen. Dazu wird von der Netzebene 2 kommend die Glasfaser immer näher an die Kundenhaushalte herangeführt und die koaxiale Verkabelung ersetzt.

Diese Art des Glasfaserausbaus geschieht vor allem dort, wo in einem Nutzer-Cluster die insgesamt für alle Nutzer verfügbare Bandbreite nicht mehr ausreicht, um die Nachfrage zu decken. Dann werden Cluster-Splits vorgenommen, bei denen zusätzliche Fibre Nodes installiert und mit Glasfaser angeschlossen werden. In der Folge verringert sich die Zahl der Teilnehmer pro Cluster und es steigt die für jeden Nutzer verfügbare Bandbreite. Auf diese Weise entstehen hybride Glasfaser-Koax-Strukturen (Hybrid Fiber Coax, HFC), die heute für Kabelnetze typisch sind. Durch den Einsatz von Verstärkern kann die Dämpfung im Koaxialkabel generell ausgeglichen werden, so dass die bloße Distanz zum Cable Modem Termination System (CMTS; entspricht dem KVz bei FTTC-Lösungen) aktuell noch wenig ausschlaggebend dafür ist, welche Bandbreite dem Endkunden zur Verfügung steht.

Für den Transport der Daten über die Koaxialverkabelung wurde der Standard DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification) entwickelt. Am gebräuchlichsten ist hierzulande aktuell DOCSIS 3.0. Damit werden Anschlüsse mit bis zu 400 Mbit/s im Downstream realisiert; für die nahe Zukunft sind sogar 500 Mbit/s geplant. Im Upload sind 10-12 Mbit/s üblich. Buchbar sind allerdings auch Anschlüsse mit 20 Mbit/s im Upstream. Damit haben DOCSIS 3.0-basierte Netze ihre maximale Leistungsfähigkeit prinzipiell erreicht.

DOCSIS 3.1 ermöglicht Gigabit-Bandbreiten

DOCSIS 3.1 ist eine Weiterentwicklung des Standards DOCSIS 3.0 und wurde im Jahr 2013 spezifiziert. Dieser Standard kommt in Deutschland seit 2018 zum Einsatz und ermöglicht Gigabit-Bandbreiten über das HFC-Netz. Zunächst werden die Anschlüsse mit bis zu 1 Gbit/s im Down- und 100 Mbit/s im Upstream versorgt. Technisch möglich sind auf diesem Wege aber auch 10 Gbit/s im Down- und 1 Gbit/s im Upstream.

Dieses Potenzial wird aber nur dann ausgeschöpft, wenn die Kabelnetzbetreiber umfassend in ihre Infrastruktur investieren: Die Nutzung des im Standard vorgesehenen Spektrums bis 1,2 bzw. 1,7 GHz setzt Umbauarbeiten in der Koaxialverkabelung voraus. Auch muss die Zahl der Verstärker möglichst bis auf null reduziert werden. Dies käme einer deutlichen Reduktion des Koaxialanteils im Verhältnis zum Glasfaseranteil gleich. Eine solche N+0-Architektur, bei der hinter dem Fibre Node kein Verstärker mehr gesetzt wird, wäre dann auch die Grundlage für die Einführung von DOCSIS 3.1 Full Duplex – welches Bandbreiten von 10 Gbit/s im Down- und Upload ermöglichen würde.

3.3 Mobilfunk/5G - Kabellose Technologien

Verfügbare Netztechnologien (4G, 4.5G)

Neben den kabelgebundenen Netztechnologien gewinnt die drahtlose Datenübertragung im Breitbandbereich an Bedeutung. Dank des technischen Fortschritts nimmt die Leistungsfähigkeit der Mobilfunknetze immer weiter zu. Aktuell ist der Standard LTE/4G im Markt implementiert und wird weiter ausgebaut. Dieser ermöglicht theoretisch eine maximale Datenrate von rund 150 Mbit/s im Downstream und 75 Mbit/s im Upstream. Da es sich jedoch um ein *Shared Medium* handelt, stehen den Endkunden in der Regel nur rund 17 Mbit/s im Down- und 5 Mbit/s im Upstream zur Verfügung.

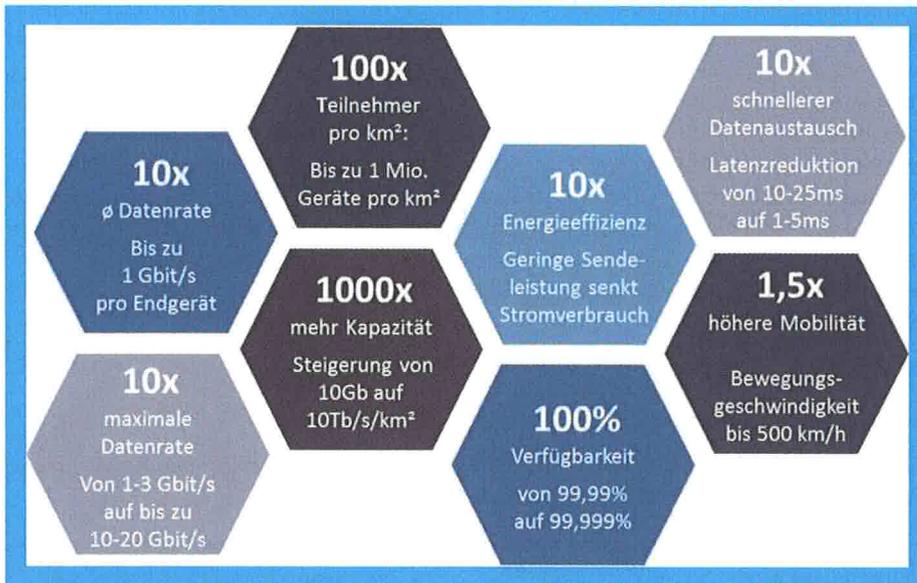
LTE Advanced und LTE Advanced Pro (4.5G) werden vor allem in größeren Städten ausgebaut, sind aber bisher insgesamt weniger verbreitet. Pro Zelle ermöglichen Sie eine Bandbreite von maximal 600 Mbit/s bzw. 1,2 Gbit/s für den Down- und 150 Mbit/s für den Upstream. Diese Bandbreiten sind allerdings nur in unmittelbarer Nähe zur Basisstation verfügbar. In der Praxis sind hingegen Werte von 60 Mbit/s bzw. 120 Mbit/s im Down- und 10 Mbit/s im Upload typischer.

Technologische Entwicklung und infrastrukturelle Voraussetzungen für 5G

Technische Potenziale und Grundlagen

Die 5G-Technologie wird über mehrere Ausbaustufen die Leistungsfähigkeit heutiger LTE-Netze um ein Vielfaches übersteigen. Das bedeutet im fortgeschrittenen Ausbau bis 2025: 1000-fach höhere Kapazität, 100-fach höhere Verbindungsdichte, 10-fach höhere Geschwindigkeit sowie 10-fach geringere Latenzzeiten als heute. Darüber hinaus garantierte Datenraten bis zu 1 Gbit/s an jedem Punkt des Netzes – und Spitzendatenraten von 10 bis 20 Gbit/s.

Abbildung 4: Leistungsunterschiede zwischen 4G (LTE Advanced/LTE-A Pro) und 5G¹⁴



Komplementär dazu sollen eine nahezu vollständige Netzabdeckung und Verfügbarkeit gewährleistet werden. Der Energieverbrauch soll um 90% gesenkt und eine 10- bis 15-jährige Batteriebensdauer von IoT-Endgeräten unterstützt werden.

Diese Leistungsparameter werden jedoch nicht in jeder Funkzelle zur Verfügung stehen, zumal sie sich in Teilen gegenseitig ausschließen – wie energieeffiziente Sendeleistung für IoT-Anwendungen und hohe Gigabitdatenraten pro Endgerät.

Datendurchsatz, Konnektivität und Latenzzeiten der 5G-Zellen sowie die Dichte der Basisstationen in einer Region werden in Zukunft stark von diesen Faktoren abhängen: Was sind die am meisten genutzten Anwendungen? Wie hoch ist die Nachfrage? Und wie hoch ist die Netzabdeckung bestimmter Funkfrequenzbänder?

Technische Grundlagen: Änderungen in der mobilen Netzwerkarchitektur

Die flexible Ausrichtung der 5G-Leistungsparameter auf unterschiedlichste Anwendungsanforderungen im privaten und gewerblichen Bereich ist eines der zentralen Merkmale zukünftiger Mobilfunknetze. Im Wesentlichen werden derzeit die folgenden Anwendungsfälle prognostiziert, die jeweils andere Netzarchitekturen zur Folge haben:

- **enhanced Mobile Broadband (eMBB):** z.B. hochbitratige Anwendungen wie ultra-hochaufgelöstes Videostreaming.
- **massive Machine Type Communication (mMTC):** Hunderttausende Alltagsgegenstände pro Mobilfunkzelle kommunizieren im IoT mit ihren Steuerungszentralen. Dabei muss die Funkübertragung mit höchster Energieeffizienz erfolgen, damit die Batterien in den Sensoren der Geräte möglichst lange halten.
- **Ultra-Reliable and Low-Latency Communication (URLLC):** Dabei handelt es sich um sicherheitskritische Anwendungen z. B. aus dem Fertigungsbereich. Sie sind auf höchste Verbindungsqualität, Verfügbarkeit und Störfestigkeit (Quality of Service) angewiesen. Zudem benötigen sie taktile Netze, die missionskritische Daten in Echtzeit übertragen.

¹⁴ Die Daten basieren auf Goldmedia nach ITU-R und 5G PPP

Beitrag zu Breitbandversorgung und Infrastrukturausbau

Die Einführung von 4.5G im Jahr 2018 findet über eine Bündelung von bis zu fünf Frequenzbändern (im Gegensatz zu bisher nur dreien bei LTE-Advanced) statt, die eine erhebliche Steigerung in der Datenrate ermöglichen: Pro Funkzelle werden dann bis zu 1 Gigabit/s möglich sein. Heute sind es maximal 600 Mbit/s. Diese Bündelung kann jedoch nur in Gebieten erfolgen, in denen mehrere LTE-Frequenzen zur Verfügung stehen. Dies ist derzeit nur in verdichteten Regionen und Ballungsräumen der Fall. Hintergrund: Die Ausbreitung der verschiedenen Bänder reicht unterschiedlich weit. Während bei 700 bis 900 MHz ein Radius von rund 10 Kilometer pro Mobilfunkzelle möglich ist, verringert sich dieser bei 2 GHz auf 5 Kilometer. Je höher die Frequenz, desto mehr Masten werden gebraucht. Gigahertz-Frequenzen werden daher voraussichtlich nur in städtischen Gebieten, möglicherweise ausschließlich in Ballungsräumen angeboten.

Flächendeckende Versorgung macht Milliarden-Investitionen nötig

Damit auch im ländlichen Raum zukünftig deutlich höhere mobile Bandbreiten zur Verfügung stehen, müssen folglich die Infrastrukturen aufgebaut werden.

Nächster wichtiger Schritt ist daher die Mobilfunkfrequenzversteigerung 2019: In diesem Rahmen wird auch das bisher ungenutzte 3,5 GHz-Frequenzband neu vergeben und ausgeweitet. Es soll ab 2020 zur Verfügung stehen und wird als „Pionierband“ für 5G eingestuft. Mobilfunkanbieter gehen davon aus, dass die 5G-Technologie für 3,5 GHz auf der Sendemastinfrastruktur der bestehenden 2 GHz-Netze (UMTS) installiert werden kann. Es wird erwartet, dass dabei trotz der höheren Frequenz und der damit verbundenen Signaldämpfung die gleiche Reichweite erzielt werden kann.

Soll der ländliche Raum von dieser Neuerung profitieren, muss die Zuteilung der Frequenzen mit neuen Versorgungsaufgaben verbunden werden. Denn damit auch außerhalb urbaner Räume eine flächendeckende Versorgung mit 3,5 GHz-Frequenzen möglich wird, müssten die Netzbetreiber in erheblichem Umfang neue Sendemasten bauen. Ob solche Investitionen leistbar sind, hängt von mehreren Faktoren ab:

- Welche Investitionssumme ist bei der Versteigerung an den Bund zu zahlen?
- Welche Möglichkeiten und Auflagen zum Network-Sharing werden geschaffen, so dass die Ausbaukosten geteilt werden können? Dadurch könnten Betreiber zunächst alleine ausbauen, andere das Netz dann mitnutzen.
- In welchem Umfang können Gelder zukünftiger Förderprogramme für die Glasfaseranbindung der Mobilfunkmasten eingesetzt werden?

Anbindung der Masten: viele Betreiber setzen auf Richtfunk

Im Jahr 2018 wurden von den Netzbetreibern zahlreiche neue Sendemasten errichtet und bestehende aufgerüstet. So baute zum Beispiel allein Vodafone in Thüringen 35 neue Standorte, 19 weitere wurden ertüchtigt.¹⁵ Hintergrund: Die Betreiber müssen die Auflagen der Digitalen Dividende 2 erfüllen: 98 Prozent der Bevölkerung müssen mit 50 Mbit/s versorgt, Autobahnen und ICE-Strecken vollversorgt werden.

Inwieweit hierbei zusätzliche Glasfaserstrecken entstehen, hängt von der Strategie des jeweiligen Netzbetreibers und den Gegebenheiten vor Ort ab. Insbesondere die Wettbewerber des Marktführers Deutsche Telekom setzen beim Ausbau derzeit vor allem auf Richtfunk und nicht auf Glasfaser für die Anbindung ihrer Masten an das Kernnetz. Denn die mit 4.5G und 5G Non-

¹⁵ Vgl. MDR 2017: Warum ist der Handy-Empfang auf dem Land so schlecht? Online abrufbar unter: <https://www.mdr.de/mdr-thueringen/service/redakteur-handy-empfang100.html>

Stand-Alone im ländlichen Raum entstehenden Datenraten können technisch gesehen mittelfristig weiter über Richtfunk bereitgestellt werden.

Automatisiertes Fahren: kein kurzfristiger Treiber für Glasfasernetze

Entwicklungen beim automatisierten Fahren werden die Glasfaseranbindung von Mobilfunkinfrastrukturen kurzfristig nicht begünstigen. Denn für das hochautomatisierte Fahren auf Autobahnen ohne dauerhafte menschliche Kontrolle – das ab 2020 schrittweise erwartet wird – reicht das heutige LTE-Netz aus. Auch für die Netzverdichtung durch Mikrozellen an Autobahnkreuzen reicht nach Einschätzung der Betreiber weiterhin Richtfunk aus.

Erst für das vollautomatisierte Fahren (voraussichtlich beginnend ab 2025) müssten alle Basisstationen entlang von Fernverkehrsstraßen direkt an das Glasfasernetz angeschlossen werden. Denn für diese Anwendung werden noch geringere Latenzen benötigt. Ob die Netzbetreiber tatsächlich erheblich in die Glasfaseranbindung ihrer Infrastrukturen investieren werden, wird davon abhängen, ob sich beim automatisierten Fahren der Mobilfunkstandard durchsetzt.

Impulse durch den 5G-Netzaufbau im 3,5GHz-Band

In den Ballungsräumen wird der Anschluss von Mobilfunkstationen an Glasfasernetze marktgetrieben erfolgen – mit dem Fokus auf neuen Micro-Zellen mit Radien von wenigen 100 Metern.

Im ländlichen Raum hingegen werden für eine bessere Netzabdeckung erhebliche Investitionen notwendig sein. Und diese werden nur erfolgen, wenn die anstehende Frequenzversteigerung entsprechende Impulse setzt. Schätzungen von Marktexperten gehen derzeit davon aus, dass sich die Anzahl der Sendemasten mindestens vervierfachen muss, damit das gesamte 5G-Potenzial erschlossen werden kann. All diese Standorte werden dann mit Glasfaser angeschlossen werden müssen.

Dabei gilt:

- Gerade in Städten ist bei einer Nachverlegung von Glasfaserleitungen eine optimale Ausnutzung von Synergiepotenzialen nötig.
- Ebenfalls müssen bestehende Metrozellen mit Glasfaser nacherschlossen werden. Dies gilt nicht nur für diejenigen Zellen, die über Richtfunk angebunden sind.
- Viele mit Glasfaser erschlossene Standorte müssen künftig mit mehreren Glasfaserleitungen angebunden werden, um die wachsenden 5G-Kapazitätsansprüche bewältigen zu können.

Wettbewerb zur Festnetzinfrastruktur

5G hat in urbanen Gebieten für Privathaushalte das Potential, zum Festnetz-Ersatz für Gigabit-Anschlüsse zu werden. Diese Entwicklung zeigt sich bereits daran, dass Datenvolumenbegrenzungen durch Streaming-Flatrates aufgeweicht werden. Hier könnten – bei entsprechendem Wettbewerb – zukünftig echte mobile Daten-Flatrates möglich werden. Vollintegrierte Anbieter hätten die Möglichkeit, Angebote für Gebiete zu erstellen, in denen sie über keine (ausreichende) Festnetzversorgung verfügen.

In ländlichen Regionen kann man davon ausgehen, dass die mit LTE-Advanced-PRO und 5G verfügbaren mobilen Bandbreiten zur Aufwertung der kupferbasierten Festnetzanschlüsse genutzt werden. Über Hybridrouter können so auch Bandbreiten oberhalb von 250 Mbit/s vermarktet werden (Super-Vectoring + LTE-A-Pro/5G).

Hinzu kommt bei vollintegrierten Netzbetreibern die Strategie der sogenannten *Fixed Mobile Convergence*. Damit werden Kunden in Zukunft Endgeräte immer und überall mit der jeweils

besten Datenanbindung nutzen können. Angebote, die Festnetz und Mobilfunk gleichermaßen umfassen, werden eine deutlich wichtigere Rolle einnehmen. Das kann zu einem Wettbewerbsvorteil für Betreiber führen, die über eigene Mobilfunkinfrastrukturen verfügen.

Für Unternehmen bietet 5G als Festnetzzugriff zudem stabileren Netzzugang als WLAN. Es stellt damit zukünftig eine Alternative für eine gesicherte Vernetzung von Maschinen und Geräten auf dem Betriebsgelände dar.

3.4 Gigabit-Gesellschaft - Zukunftsfähigkeit der aktuellen Netze

Zukunftsfähige Bandbreiten im Gigabit-Bereich lassen sich vor allem mittels der Technologien FTTB, FTTH und HFC/CATV erreichen. Einen entsprechenden Glasfaserausbau in der Fläche vorausgesetzt, könnten darüber hinaus auch Mobilfunknetze (5G) zur Gigabit-Versorgung beitragen.

Die aufgeführten Technologien müssen nicht exklusiv eingesetzt werden, sondern können auch parallel – als Technologiemix – zum Einsatz kommen. Auf diesem Weg lässt sich in der Praxis eine flächendeckende Verfügbarkeit entsprechender Bandbreiten schneller und vor allem kostengünstiger umsetzen.

Dabei gilt in Bezug auf die einzelnen Netztechnologien:

- **FTTC:** Die Leistungsfähigkeit von Netzen mit Glasfaser bis zum KVz stößt mit Super-Vectoring an ihre technologischen Grenzen. Mit dieser Technologie sind Bandbreiten von bis zu 250 Mbit/s realisierbar. Das gilt zumindest für Haushalte im Umkreis von ca. 250 Metern um den jeweiligen KVz. Danach nimmt die Bandbreite aufgrund des Dämpfungseffekts schnell ab. Bis zu einem Radius von ca. 800 Metern stehen mit Super-Vectoring 100 Mbit/s im Downstream zur Verfügung.
- **FTTB:** Breitbandnetze, die die Kupfer-Doppelader nutzen, werden erst bei einem Ausbau der Glasfaser bis zum Gebäude gigabitfähig – insofern der Standard G.fast eingesetzt wird. Mit G.fast 212 und Nachfolgestandards wie NG.fast scheint das Limit der Leistungsfähigkeit von FTTB-Technologien noch für längere Zeit nicht erreicht. Unternehmen in Deutschland bauen G.fast bereits heute aus.
- **FTTH:** Glasfasernetze bis in die Wohnung bzw. bis in den Betrieb verfügen über die größte Leistungsfähigkeit aller Breitband-Technologien. Das gilt für die Bandbreite im Up- und Download ebenso wie für die Latenz und den Energieverbrauch.
- **HFC:** Die hybriden Glasfaser-Koax-Netze der Kabelnetzbetreiber sind ebenfalls gigabitfähig. Möglich macht dies der Standard DOCSIS 3.1, der in Deutschland seit 2018 zum Einsatz kommt. Aber auch für die Kabelnetze gilt: Soll DOCSIS 3.1 sein volles Potenzial entfalten, ist ein weitreichender Ausbau der Glasfasertrassen und ein fortgesetzter Cluster-Split notwendig.
- **Mobilfunktechnologien:** Mobilfunknetze werden erst mit 5G gigabitfähig. Es ist jedoch ein entsprechend weiträumig vorhandenes Glasfasernetz für den Anschluss alter und neuer Basisstationen erforderlich. Mit einer flächendeckenden Gigabit-Versorgung ist daher nicht zu rechnen.

Abbildung 5: Überblick der Technologien in Hinblick auf Gigabitfähigkeit

Technologiebewertung				
Synopsis: Von FTTC zu FTTB/H				
Beitrag der vorhandenen und künftigen Netztechnologien für die Gigabit-Gesellschaft				
FTTC	5G	FTTB	FTTH	HFC/CATV
Nicht gigabitfähig		Gigabitfähig		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ KVz-Nahbereich - 250 m - 250 Mbit/s - 800m - 100 Mbit/s ▪ Super Vectoring ab 2019 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bedingung: - Glasfaserausbau in der Fläche - Relativierung durch Markt 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bedingung: - G.fast bei verbleibenden Kupferkabeln - bei Weiterentwicklung Leistungsfähig 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bedingung: - Netzcluster verkleinern - Einführung DOCSIS 3.1 ▪ Ertüchtigung 2018-2025 	

4 Die Notwendigkeit flächendeckender Gigabitnetze

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die aktuellen und zukünftigen Bedarfe an Breitbanddiensten untersucht. Dabei konnte herausgestellt werden, dass sich die diversen Technologien, sowohl kabelgebunden, als auch kabellos, in ihrer Eignung für die langfristige Bedarfsentwicklung unterscheiden.

Sowohl im privaten als auch im wirtschaftlichen Bereich steigt der Breitbandbedarf in den kommenden Jahren stetig an. Neben der Zunahme und wachsenden Komplexität von Anwendungen, nimmt die Zahl der genutzten internetfähigen Devices und deren Onlinezeiten stetig zu. Darüber hinaus nimmt in Unternehmen die Zahl an Online-PC-Arbeitsplätze (in Abhängigkeit von der Branche) stetig zu.

Dadurch steigt der technische Bedarf an Breitband. Im privaten Bereich werden jedoch voraussichtlich auch zukünftig Anschlussprodukte gewählt, die deutlich über dem tatsächlichen Bedarf liegen. Grund hierfür ist das bessere Preis-Leistungs-Verhältnis. Es ist anzunehmen, dass sich 2025 die Nachfrage im privaten Bereich durchschnittlich zwischen 250-500 Mbit/s befinden wird. Der Preis für ein solches Produkt wird vermutlich bei etwa 25€ liegen.

Während im privaten Bereich die Wahl des Anschlussproduktes maßgeblich preislich beeinflusst ist, wird seitens der Unternehmen die Wahl des Produktes durch den technischen Bedarf determiniert. Geschäftliche Anschlussprodukte sind pauschal deutlich teurer, speziell symmetrische Anschlüsse. Abhängig von Unternehmensgröße und Branche wird die Nachfrage im Jahr 2025 bis zu 1 Gbit/s betragen. Abhängig von den branchen-, bzw. unternehmensspezifischen Anforderungen werden diese Bandbreiten symmetrisch oder asymmetrisch nachgefragt. Hier ergeben sich auch preisliche Unterschiede. Kostet ein asymmetrischer 1 Gbit-Anschluss im Jahr 2025 voraussichtlich 64€, kostet das symmetrische Pendant das 7-fache.

Vor dem Hintergrund der steigenden Bedarfe wurden die unterschiedlichen Technologien hinsichtlich ihrer Zukunftsfähigkeit untersucht. Bei den kabelgebundenen Technologien wurden FTTC, FTTB, FTTH und CATV/HFC berücksichtigt. Darüber hinaus wurde 5G als kabellose Technologie in Betracht gezogen.

Trotz des Upgrades von FTTC-Netzen stellt diese Technologie kurz- bis mittelfristig nur eine Übergangslösung dar. Die maximalen Bandbreiten von 250 Mbit/s (Super-Vectoring) wird in absehbarer Zukunft durch die Nachfrage deutlich überstiegen werden. Des Weiteren sind insbesondere Unternehmen auf symmetrische Anschlüsse angewiesen, die über FTTC nicht zu bedienen sind.

Neben den FTTC-Netzen stellen CATV/HFC-Netze ebenfalls eine nicht rein glasfaserbasierte Lösung dar. Gleichwohl können über aufgerüstete CATV/HFC-Netze Bandbreiten bis in den Gigabitbereich erreicht werden. Aus diesem Grund sind CATV/HFC-Netze, zumindest mittelfristig, eine gute Ergänzung zu Infrastrukturen, die vollständig auf Glasfaser basieren.

Langfristig können nur Glasfasernetze in Form von FTTB/H das Ziel sein. Für Anwendungen im privaten und wirtschaftlichen Sektor werden zunehmend Anschlussprodukte nachgefragt, die hohe Bandbreiten liefern, eine geringe Latenz garantieren und wenig bis keine Ausfallzeiten haben. Dies ist nur mit FTTB/H-Netzen zu ermöglichen. Zusätzlich bieten FTTB/H-Produkte symmetrischen Bandbreiten, die in einigen Bereichen der Wirtschaft zunehmend an Bedeutung gewinnen und die Basis für Anwendungen bilden.

5G-Technologie wird flächendeckend Bandbreiten im Gigabitbereich zur Verfügung stellen. Dafür muss jedoch zunächst eine flächendeckende Glasfaserversorgung der Basisstationen initiiert werden. Sobald dieser Ausbau stattgefunden hat, bietet 5G die Möglichkeit, mit mobilen Devices Produkte im Gigabitbereich zu buchen. Somit können Räume zwischen unterschiedlichen kabelgebundenen Gigabitanschlüssen überbrückt und flächendeckend auf Gigabitversorgung zurückgegriffen werden.

Annex

Abkürzungsverzeichnis

ALKIS	Allgemeines Liegenschaftskatasterinformationssystem
APL	Abschlusspunkt Linientechnik
ARPU	Average Revenue per User
CATV	Cable Television
FTTB	Fiber To The Building
FTTC	Fiber To The Curb
FTTH	Fiber To The Home
Gbit/s	Gigabit pro Sekunde
HFC	Hybrid Fiber Coax
HVt	Hauptverteiler
IoT	Internet of Things
ISA	Infrastrukturatlas
KVz	Kabelverzweiger
Mbit/s	Megabit pro Sekunde
MEV	Markterkundungsverfahren
NFC	Near Field Communication
NGA	Next Generation Access
TK	Telekommunikation
WLAN	Wireless Local Area Network

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Netzaufbau im Überblick.....	11
Abbildung 2: Kabelgebundene Netztechnologien	12
Abbildung 3: links: schematische Darstellung PON; rechts: schematische Darstellung P2P ...	13
Abbildung 4: Leistungsunterschiede zwischen 4G (LTE Advanced/LTE-A Pro) und 5G.....	17
Abbildung 5: Überblick der Technologien in Hinblick auf Gigabitfähigkeit	21

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Steigerung des geschätzten Netzbedarfs in Deutschland im Vergleich zu 2015	2
Tabelle 2: Entwicklung des Breitbandbedarfs im privaten Bereich (Downstream)	5
Tabelle 3: Prognose marktfähiger Durchschnittspreise für Privatkundenprodukte in €/Monat	5
Tabelle 4: Prognose marktfähiger Durchschnittspreise für asymmetrische Geschäftskundenprodukte (2017-2025 in €/Monat)	6
Tabelle 5: Prognose marktfähiger Durchschnittspreise für symmetrische Geschäftskundenprodukte (2017-2025 in €/Monat)	7
Tabelle 6: Technische Anforderungen verschiedener Anwendungsbeispiele	7
Tabelle 7: Leistungsvermögen von Vectoring 35b (Super-Vectoring) in Bezug zur Leitungslänge	14