

---

# Konvergente Netze als Infrastruktur für die Gigabit-Gesellschaft

November 2016

Strategiepapier | Projektgruppe „Konvergente Netze als Infrastruktur für die Gigabit-Gesellschaft“ | Fokusgruppe „Aufbruch in die Gigabit-Gesellschaft“ | Plattform „Digitale Netze und Mobilität“



# Inhalt

1	Gigabit-Gesellschaft – eine sektorübergreifende Vision	2
2	Technische Anforderungen an Netzinfrastrukturen	5
3	Technologien für die Gigabit-Gesellschaft	6
3.1	Charakterisierung der Technologien	6
3.1.1	DSL-Technologien (Kupferdoppelader)	7
3.1.2	HFC-Technologien (Koaxialkabel)	10
3.1.3	FTTB/H-Glasfasertechnologien	13
3.1.4	Mobilfunktechnologien	16
3.1.5	Public-WLAN-Technologien	20
3.1.6	Satellitentechnologien	22
3.1.7	Exkurs: Digitaler terrestrischer Rundfunk	24
3.2	Kombination einzelner Technologien	25
3.3	Bedeutung konvergenter Netze	26
4	Zusammenfassung der Ergebnisse	28
5	Handlungsempfehlungen an die Politik	30
	Abkürzungsverzeichnis	32
	Mitglieder der Projektgruppe „Konvergente Netze als Infrastruktur für die Gigabit-Gesellschaft“	33

# Präambel

Das Ziel der Projektgruppe „Konvergente Netze als Infrastruktur für die Gigabit-Gesellschaft“ ist die Beschreibung und Charakterisierung geeigneter Netzinfrastrukturen als Grundlage für die Gigabit-Gesellschaft, verbunden mit der Ableitung von Handlungsempfehlungen an die Politik. Dabei wird die „Gigabit-Gesellschaft“ als eine im Zuge der Digitalisierung veränderte Alltagsrealität in wesentlichen Arbeits- und Lebenswelten mit großen Potenzialen für

Gesellschaft und Wirtschaft umschrieben. Hierfür bilden die notwendigen leistungsfähigen Netzinfrastrukturen die entsprechende Grundlage. Eine besondere Herausforderung stellt die Zugangsnetzebene dar, welche die Endkundenanbindung realisiert. Aus diesem Grund stehen diese Zugangsnetze im Zentrum der Analysen dieses Strategiepapiers.

## 1

# Gigabit-Gesellschaft – eine sektorübergreifende Vision

Das Tempo der Digitalisierung in Wirtschaft und Gesellschaft wurde lange durch die Verfügbarkeit von Rechenleistung und Speicherplatz vorgegeben. Seit Beginn der 2000er Jahre hat die vierte Industrielle Revolution die Wachstumstreiber verändert. Durch die umfassende Vernetzung von technischen und sozialen Systemen bestimmt immer mehr die zunehmend flächendeckende Verfügbarkeit von Breitbandzugang das Tempo und die Qualität der industriellen und gesellschaftlichen Entwicklung. Bereits heute gibt es 100 Millionen Smartphones, in naher Zukunft wird die Anzahl der Endgeräte, die parallel online verbunden sind (Computer, Fahrzeuge, Maschinen und Gebäude), die Zahl der Einwohner weltweit übersteigen. Dafür bilden die Konnektivität der Netze untereinander und die Durchgängigkeit von netzbasierten Diensten die Grundlage. Neben spezifischen Leistungs- und Qualitätsparametern, welche im nächsten Kapitel thematisiert sind, wird die verfügbare Bandbreite ein entscheidender Faktor und Treiber für die Gigabit-Gesellschaft sein. Die Erfahrung hat gezeigt, dass zunehmend leistungsfähige Netzinfrastrukturen zu einem rasch wachsenden Angebot an innovativen Anwendungen führen, die aus heutiger Sicht noch nicht im Detail absehbar sind.

Eine politische und wirtschaftliche Herausforderung besteht darin, diese leistungsfähigen Netzinfrastrukturen möglichst flächendeckend und zeitnah zugänglich zu machen. Im Sinne eines effizienten Ressourceneinsatzes erfordert dies auch die Einbeziehung des Aus- und Umbaus bestehender Infrastrukturen in die Netz- und Kapazitätsplanungen. Die Vision der Gigabit-Gesellschaft auf der Grundlage von leistungsfähigen Netzinfrastrukturen umschreibt eine durch Breitbanddigitalisierung veränderte Alltagsrealität in wesentlichen Arbeits- und Lebenswelten, die an dieser Stelle beispielhaft beschrieben werden.

### Industrielle und gewerbliche Plattformen

Deutschland ist weltweit führender Standort für Maschinenbau, Mobilitätsprodukte und innovativen Mittelstand. Die Automatisierung und die digitale Vernetzung von Maschinen in Echtzeit werden Produktionsprozesse, Nutzungsmuster und Geschäftsmodelle grundlegend wandeln. Intelligente Systeme werden sich standortunabhängig über Betriebszustände, Materialfluss und Prozesse austauschen, um ihre Produktivität ständig zu optimieren. Millionen von Geräten werden über ein „Internet der Dinge“ spezifische Daten nahezu in Echtzeit abrufen, abgleichen und abspeichern. Die Verbreitung von

beispielsweise 3D-Druck-Zentren von Instandhaltung bis hin zu international organisierten, dezentralen Produktionsverbänden potenziert das zu übertragende Datenaufkommen und erfordert eine Anpassung der gewachsenen Fertigungs-, Logistik- und Infrastrukturen.

Kollaboratives Arbeiten in virtuellen Arbeitsräumen mit 360°-Videoqualität wird möglich, was breitbandigen Datenverkehr am Arbeitsplatz – in Ballungsgebieten wie im ländlichen Raum – erforderlich macht. Dabei werden die Dienstqualität und die Effizienz ganzer Branchen durch die Verfügbarkeit zuverlässiger und sicherer Netze für industrielle Cloud-Anwendungen beeinflusst. Industrielle Produktion benötigt darüber hinaus eine klimaneutrale und wettbewerbsfähige Energieversorgung über intelligente Netze, die dezentrale Energieerzeugung smart mit einer volatilen Energienachfrage verknüpft. Neben Verfügbarkeit und Bandbreite ist die Ausfallsicherheit durch Redundanz und eine Resilienz der digitalen Netzinfrastrukturen bei Störfällen zu gewährleisten.

### Automatisierte und vernetzte Mobilität

Der automatisierte Transport von Menschen, Gütern und Daten wird zukünftig intermodal von intelligenten Systemen organisiert. Autonome Fahrzeuge auf Straßen und Schienen kommunizieren miteinander und mit der flächendeckenden Infrastruktur in Echtzeit, um das wachsende Verkehrsaufkommen im Herzen Europas sicher und effektiv abzuwickeln. Unter der Voraussetzung internationaler Standards sind schon vor der Ankunft die wichtigen Daten von Patienten oder Paletten am Ziel, damit dort die richtigen Maßnahmen vorbereitet werden können. Smarte On-Bord-Systeme werden redundant mit einem intelligenten Backend verknüpft, das die Verkehrsflüsse koordiniert und bei Bedarf warnend oder steuernd eingreifen kann, was für Nutzer und Betreiber von 5G-Netzen hohe räumliche Abdeckung und höchste Datensicherheit bei minimalen Latenzzeiten erforderlich macht. Insbesondere im Bereich der Elektromobilität erhöht die Echtzeit-Vernetzung von Energieangebot und -nachfrage durch dezentrale Smart Grids die Reichweite und Wirtschaftlichkeit von Elektrofahrzeugen. Neben der Erhöhung der nutzbaren Kapazität und der Effizienz der intermodalen Verkehrssysteme für Personen- und Güterverkehr durch Einsatz Künstlicher Intelligenz wird mittels breitbandiger Vernetzung intelligenter Mobilitätssysteme der Energieverbrauch weiter reduziert und die Umwelt entlastet.

### Digitaler Komfort für intelligente Haushalte

Das Smart Home in der Gigabit-Gesellschaft umfasst mehr als Smart Metering oder Fernsehen über Internet. Vernetztes Gaming mit hochauflösenden Animationen wird ebenso wie Entertainment on Demand die private Nachfrage nach Bandbreite weiter ansteigen lassen. So kann beispielsweise ein Konzertbesuch in der Elbphilharmonie auf der heimischen Couch in 360°-Videoqualität erlebt werden, wobei der Zuschauer zum Regisseur einer persönlichen Klang-Aufführung wird und seinen Bild- und Ton-Mix von mehreren Kamerapositionen live dirigieren kann. Computerspiele sind längst ein Milliardenmarkt und virtuelles, interaktives Gaming hat mit Pokémon GO eine neue Evolutionsstufe erreicht. Mobiles Gaming, für das sich Spielergruppen über Konsole oder Mobiltelefon in Virtual-Reality-Erlebnisräumen vernetzen, erhöht den Bandbreitenbedarf außerhalb der stationären Umgebung. Das standortunabhängige Arbeiten nutzt die Möglichkeit des Homeoffice, die sich an den kommerziellen Erfordernissen der Arbeitgeber an virtuelle Bürogemeinschaften und den Erwartungen der Arbeitnehmer an Flexibilität und Privatsphäre ausrichten muss. Mit breitbandigem E-Learning wird die Teilnahme an virtuellen Studienreisen möglich und die Teilnahme an Konferenzen und Vorlesungen internationaler Eliteuniversitäten erschwinglich.

Einkauf und Vorratshaltung, Steuerung des Raumklimas und Fernwartung von haustechnischen Anlagen erfolgen zukünftig über digitale Endgeräte und Netze. Videotelefonie und Videosicherheitstechnik werden zunehmend selbstverständlich im privaten Bereich. Kundendienstmitarbeiter arbeiten oftmals virtuell. Architekten und Makler werden Immobilien verstärkt in virtuellen Datenräumen planen, einrichten und vermarkten. Eine Vielzahl von Haushaltshelfern in Form von Robotern, die mehr können als staubsaugen oder Rasen mähen, ist absehbar, Händler, Post- und Kurierdienste, Reinigungs- und Pflegedienste erproben diverse virtuelle Haushaltsanwendungen, wenn auch nicht jede Erfindung Einzug in die Wohnungen in Deutschland halten wird. Schon heute wird der Wert einer Immobilie maßgeblich durch die digitale Erreichbarkeit bestimmt. Fehlender Breitbandanschluss wirkt wertmindernd.

## Flächendeckendes Gesundheitsmanagement durch E-Health

Digitalisierung unterstützt die Entwicklung von einer kostenintensiven Gerätemedizin hin zu patientenzentrierten, individualisierten Therapieformen, bei denen Ärzte und Patienten im Heilungsprozess interaktiv zusammenwirken. Systemgestützte Prävention wird dabei durch ganzheitliche Health-Management-Programme unterstützt. Dabei ermöglicht die breitbandige Vernetzung von Krankenhäusern, Praxen und Gesundheitszentren einen hohen Versorgungsstandard in Städten und durch innovative Technik auch im ländlichen Raum. Die Krankenakten und Befunde sind optimalerweise für jeden behandelnden Arzt digital verfügbar. Bei Bedarf kann ein virtuelles Konzil einberufen und Therapieansätze können in Echtzeit erörtert werden. So können Spezialisten und Spezialtechnologien, die heute nur an Universitätskliniken verfügbar sind, künftig dank entsprechender infrastruktureller Ausstattung bundesweit verfügbar gemacht und komplexe Operationen über große Entfernungen sicher dank Echtzeit-Übertragung durchgeführt werden. Da im virtuellen Operationssaal Millisekunden und Millimeter über Erfolg oder Scheitern eines chirurgischen Eingriffs entscheiden können, müssen für eine hochqualitative Datenübertragung die entsprechende Zuverlässigkeit und minimale Latenzzeiten gewährleistet werden. Auf diesem Weg können die Qualität der medizinischen Versorgung und die Wirtschaftlichkeit der Investitionen in moderne Medizintechnik erhöht werden, z. B. in Form digitaler Gesundheitsdienste und virtueller Sprechstunden. Darüberhinaus kann der Gesundheitszustand von chronisch kranken Personen mithilfe von am Körper getragenen und anderen Sensoren (Wearables) konstant überwacht werden. Dadurch werden kritische Gesundheitszustände bereits im Ansatz erkannt und therapeutische Interventionen früher begonnen. Dabei müssen die Privatsphäre und die Datenrechte der Patienten umfassend respektiert werden. Die Grundlage für solche Anwendungen bildet die möglichst umfassend verfügbare breitbandige Daten- und Sprachkommunikation.

## Bürgernahe öffentliche Institutionen

Bei Umsetzung der E-Government-Initiativen kann der Großteil von Behördenterminen zukünftig digital abgewickelt werden. Pass, Parkausweis oder Führungszeugnis werden dann online beantragt und ausgeliefert. Die Agentur für Arbeit sowie Bürgerämter bieten Videoberatung an. Die digitale Interaktion mit den Bürgern eröffnet Behörden einen direkten und zuverlässigen Feedback-Kanal, um ihre Angebote nutzerorientiert zu verbessern. Den gestiegenen Anforderungen an Sicherheit im öffentlichen Raum sowie bei Umwelt und Verkehr kann durch Videoüberwachung und Sensorsysteme Rechnung getragen werden. Behörden und Organisationen, die Sicherheitsaufgaben wahrnehmen, können ihre Analysen durch Vernetzung mit den Daten anderer Systeme (z. B. Witterungs- und Verkehrsdaten) optimieren.

Feuerwehren, Rettungsdienste und Sicherheitsbehörden von Bund und Ländern erhalten durch leistungsfähige Netzinfrastrukturen in der Fläche die Möglichkeit, nicht mehr über teure proprietäre Infrastrukturen zu kommunizieren, sondern öffentliche Kommunikationssysteme für ihre Sprach- und Datenanwendungen zu nutzen. Im Katastrophenfall kann die Bevölkerung primär über digitale Kanäle alarmiert werden, wobei alle Netze synchron kaskadiert zum Einsatz kommen. Basis hierfür ist eine auch im Katastrophenfall flächendeckend verfügbare Breitbandkommunikation. Internet und Breitbandzugang werden somit – mobil wie stationär – zur kritischen Infrastruktur und stellen damit die gleichen Schutzanforderungen wie andere kritische Infrastruktursysteme, wie z. B. Energie- und Wasserversorgung oder Verkehrsinfrastruktur.

## 2

## Technische Anforderungen an Netzinfrastrukturen

In der Gigabit-Gesellschaft nimmt das Spektrum der Anwendungsszenarien zu. Neben der Weiterentwicklung von bestehenden Diensten, wie z. B. Videodienste mit höherer Auflösung oder Virtual Reality, verbindet man mit der Gigabit-Gesellschaft, wie in Kapitel 1 dargestellt, besonders auch das vernetzte Fahren sowie industrielle Anwendungen („Industrie 4.0“) und das Internet der Dinge, d. h. die Vernetzung von Millionen von Sensoren und Geräten.

Diese Weiterentwicklungen von bestehenden, aber auch die Entwicklung von neuen Diensten und Anwendungsszenarien führen dazu, dass die nachgefragte Bandbreite bis in den Gigabit-Bereich stetig anwächst. Sowohl die Einzelanwendung als auch die parallele Nutzung datenintensiver Anwendungen treiben die Nachfrage nach Anschlüssen mit entsprechend hohen Download-Raten. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an die Upload-Raten, etwa durch eine zunehmende Nutzung von Cloud-Diensten und Social-Media-Plattformen. Auch zukünftig wird die Datenrate daher aufgrund des steigenden Bedarfs ein wichtiges Leistungsmerkmal sein. Daneben werden nun aber auch weitere funktionale Leistungsparameter für verschiedene Anwendungen der Gigabit-Gesellschaft eine zunehmende Bedeutung haben. Im Folgenden sind beispielhaft wichtige Parameter aufgeführt:

- Datenrate
- Räumliche Abdeckung
- Latenz, Jitter (Schwankung der Latenz), Paketverlust
- Mobilität
- Nahtlose Konnektivität beim Wechsel zwischen verschiedenen Anschlussnetzen („Seamless Connectivity“)
- Endgerätedichte am Zugangspunkt
- Batterieeffizienz / Energieeffizienz
- Ausfall- und Datensicherheit

Bereits am Beispiel der eingangs genannten Anwendungsszenarien offenbart sich die Heterogenität der Anforderungen an die Netze: Die wichtigste Anforderung beim hochauflösenden Videostreaming (Beispiel: Video on Demand zu Hause) ist z. B. die Bereitstellung einer hinreichend hohen Datenrate. Bei allen übrigen Leistungsparametern stellen sich hier kaum kritische Anforderungen. Beim vernetzten Fahren, gerade in hochautomatisierter Form, stehen hingegen die Anforderungen nach geringer und vor allem vorhersagbarer Latenz, inhärente Anforderungen an hohe Mobilität der Netzanbindung sowie die Sicherstellung sehr hoher Ausfallsicherheit im Vordergrund. Das Auslesen von weitverzweigten Sensornetzen (z. B. Smart Metering, „intelligente Landwirtschaft“ oder Parkplatzüberwachung) erfordert nur geringste Datenraten und stellt in der Regel keine besonderen Anforderungen an die Latenz, stellt aber hohe Anforderungen an besonders energieeffiziente Endgeräte, die Datensicherheit und eine hohe Netzabdeckung.

Die Schwerpunkte dieser drei Anwendungsszenarien stehen beispielhaft für ein breites Anwendungsspektrum in der Gigabit-Gesellschaft, das unterschiedliche funktionale Anforderungen an die Netze im Anschlussbereich stellt. Die Gigabit-Gesellschaft ist damit durch die flächendeckende Verfügbarkeit von Netzen gekennzeichnet, welche diesen heterogenen funktionalen Anforderungen möglichst gerecht werden. Daneben müssen die Netze auch weiteren Anforderungen wie zum Beispiel an die Wirtschaftlichkeit genügen, weil der Netzausbau maßgeblich von privatwirtschaftlichen Unternehmen geleistet wird. Vor dem Hintergrund der zu erwartenden hohen Investitionsmittel für einen flächendeckenden Ausbau stellt dies eine enorme Herausforderung dar, die ebenfalls Einfluss auf den Ausbau der Netze hat.

## Technologien für die Gigabit-Gesellschaft

Der Hauptteil dieses Strategiepapiers beschreibt die Technologien in den Zugangsnetzen. In erster Linie erfolgt dies durch die Charakterisierung der einzelnen Technologien (Kapitel 3.1). In Kurzform werden zusätzlich die Potenziale für die Kombination der Einzeltechnologien aufgezeigt (Kapitel 3.2) und die Bedeutung konvergenter Netze für die Gigabit-Gesellschaft wird herausgearbeitet (Kapitel 3.3).

### 3.1 Charakterisierung der Technologien

Die Zugangsnetz-Technologien für die Gigabit-Gesellschaft werden nachfolgend hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit und ihrer spezifischen Eigenschaften charakterisiert. Dabei werden die jeweiligen kurz-, mittel- und langfristigen Potenziale der Technologien aufgezeigt. Praktisch allen Zugangsnetz-Technologien liegt ein – unterschiedlich umfangreicher – Glasfaserausbau im Anschlussnetz zugrunde.

Für jedes Übertragungsmedium werden grundsätzliche Zusammenhänge und besondere Eigenschaften zunächst in einer einleitenden Präambel dargelegt. Die einzelnen Technologien werden danach je Übertragungsmedium in einem tabellarischen Steckbrief dargestellt, der die folgenden Charakteristika vergleichbar macht:

- **Durchsatz:** Datenraten im jeweiligen Technologie-Kontext
- **Reichweite:** Reichweite im jeweiligen Technologie-Kontext
- **Einsatzfähigkeit:** Standardisierungs- und Verbreitungsgrad
- **Rollout:** spezifische Eigenschaften, die den Rollout in Deutschland beeinflussen, bzw. Angaben zu bereits erfolgtem oder geplantem Netzaus-/umbau
- **Kostentreiber:** wichtigste Einflussfaktoren auf die Kosten
- **Gigabit-Gesellschaft:** potenzieller Beitrag der Technologie für die Gigabit-Gesellschaft

In einem separaten Kapitel wird ohne detaillierten Steckbrief von Einzeltechnologien das Potenzial von terrestrischem Rundfunk (DVB-T) aufgezeigt. Im Gegensatz zu den anderen Technologien ermöglicht der terrestrische Rundfunk nur unidirektionale Kommunikation in Richtung Kunde („Broadcast“), sprich nur Downlink und kein Uplink. Tabelle 1 zeigt die in Steckbriefen dargestellten Technologien nach Übertragungsmedium im Überblick.

**Tabelle 1: Übersicht über Technologie-Steckbriefe**

Übertragungsmedium	Technologie
Kupferdoppelader	VDSL Vectoring VDSL 35b („Super-Vectoring“) G.fast Next Generation G.fast
Koaxialkabel	DOCSIS 3.0 DOCSIS 3.1 DOCSIS 3.1+ („Full Duplex“)
Glasfaser	GPON NG-PON1/2 100G-PON Ethernet PTP
Mobilfunk	LTE / 4G LTE-A LTE-A Pro (4.5G) NB-IoT LTE-V 5G
Public WLAN	802.11n/ac/ah
Satellit	Geostationär (GEO) Mittlerer Erdborbit (MEO)



### 3.1.1 DSL-Technologien (Kupferdoppelader)

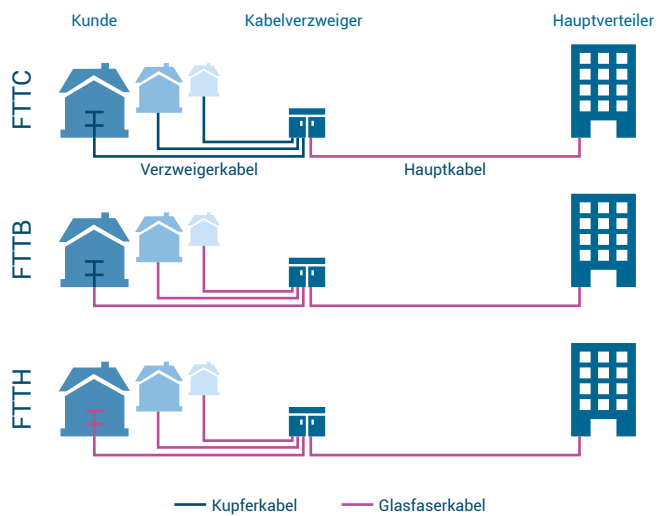
Das kupferbasierte Telefonnetz ist das einzige in Deutschland flächendeckend verfügbare Festnetzmedium. Allerdings nimmt die übertragbare Bandbreite auf der Kupferdoppelader mit zunehmender Leitungslänge ab und die Übertragungsqualität ist abhängig von der Kupferbeschaffenheit (Durchmesser etc.). Durch einen schrittweise erfolgenden Glasfaserausbau wird die verbleibende Kupferstrecke zum Kunden verkürzt, sodass höhere Übertragungsgeschwindigkeiten verfügbar sind.

In Abhängigkeit vom Umfang des Glasfaserausbaus unterscheidet man, wie in Abbildung 1 dargestellt, typischerweise zwischen Fiber to the Curb (FTTC), Fiber to the Building (FTTB) und Fiber to the Home (FTTH). Bei dem in Deutschland derzeit dominierenden FTTC-Ausbau werden durchschnittlich ca. 80 % der Länge des vorhandenen Kupferkabels durch Glasfaserkabel ersetzt. Die Kupferleitungen werden nur noch auf der Strecke zwischen dem Kabelverzweiger (KVz) und dem Teilnehmeranschluss genutzt.

Weitere Technologieentwicklungen wie G.fast eignen sich in Deutschland insbesondere für die kupferbasierte Hausverkabelung und benötigen hierzu Glasfaseranschlüsse bis ins Gebäude (FTTB).

Diese Technologien erreichen Datenraten im Gbit/s-Bereich und ergänzen pure FTTH-Lösungen.

**Abbildung 1: Zugangsnetz-Topologien bei schrittweisem Ausbau der Glasfaser**



**Tabelle 2: DSL-Technologien – Teil 1**

Technologie	VDSL2 / Vectoring	VDSL2 35b (Super-Vectoring)
<b>Beschreibung</b>	Verbessertes Übertragungsverfahren für die Nutzung des Telefonkabels bei Glasfaserausbau bis zum Kabelverzweiger. Einsatzort: FTTC	Weiterentwicklung der VDSL2-Technik, die ebenfalls mit Vectoring eine weitere Erhöhung der Bandbreite bringt. Einsatzort: FTTC Koexistent mit VDSL2
<b>Durchsatz</b>	Typische Werte * (down / up): 100 / 40 Mbit/s bei ca. 300 m 90 / 35 Mbit/s bei ca. 450 m 50 / 10 Mbit/s bei ca. 600 m	Typische Werte * (down / up): 250 / 40 Mbit/s bei ca. 300 m 200 / 35 Mbit/s bei ca. 450 m 100 / 10 Mbit/s bei ca. 600 m
<b>Reichweite</b>	Diese Technologie findet Anwendung bis zu einer max. verbleibenden Kupferleitungslänge von ca. 1.200 m.	Diese Technologie findet Anwendung bis zu einer max. verbleibenden Kupferleitungslänge von ca. 1.200 m.
<b>Einsatzfähigkeit</b>	Standardisierte Technologie, millionenfach im Einsatz	Standardisiert, Technologie verfügbar
<b>Rollout</b>	Ermöglicht eine Abdeckung von rund 90 % der Haushalte mit mindestens 50 Mbit/s.	Existierende FTTC-Abdeckung vollständig wiederwertbar. Einsatz möglich ab 2017
<b>Kostentreiber</b>	Ausbau der Glasfaserinfrastruktur bis zum KVz. Die weitere Nutzbarkeit des Kupferkabels vom KVz bis zum Kunden reduziert die Kosten.	Ausbau der Glasfaserinfrastruktur bis zum KVz. Bei bestehendem FTTC einfacher Technikausch ohne Änderungen an Kabelinfrastruktur, daher verhältnismäßig günstig.
<b>Gigabit-Gesellschaft</b>	Effizienter Mitteleinsatz für schrittweisen Glasfaserausbau zur schnellen Erreichung von Bitraten bis 100 / 40 Mbit/s und Verbreitung von Glasfaserinfrastruktur in der Fläche für einen großen Teil der Bevölkerung.	Einfach umsetzbarer Beitrag zur schnellen Erhöhung der Abdeckung mit Bandbreiten bis zu 250 / 40 Mbit/s.

\* Die Bitraten werden in Abhängigkeit von der Leitungslänge des Kupferkabels angegeben, da die Bitrate dämpfungsbedingt mit der Entfernung abnimmt, sie sind aber unabhängig von der Netzauslastung.

Tabelle 2: DSL-Technologien – Teil 2

Technologie	G.fast 106 / 212 MHz	Next Generation G.fast (z. B. XG-FAST)
Beschreibung	Ermöglicht hohe Bitraten auf kurzen Leitungslängen. Einsatz: FTTB Koexistenz mit VDSL-Technologien erfordert Frequenz-trennung (Details zur Umsetzung in Deutschland sind noch in Diskussion).	Weitere Bitratensteigerung bei reduzierter Leitungslänge. Einsatz: FTTB Koexistenz mit VDSL-Technologien erfordert Frequenz-trennung.
Durchsatz	Typische Werte * (down / up): G.fast 106 MHz Auf 100 m ca. 600 Mbit/s** bei Koexistenz mit VDSL2 / Vectoring-Frequenzen (20–106 MHz) G.fast 212 MHz Auf 100 m ca. 1,5 Gbit/s ** (down / up aggregiert) bei Koexistenz mit VDSL2 35b (40–212 MHz)	In Versuchsanlagen ca. 11 Gbit/s auf < 50 m** bei Nutzung von zwei Doppeladern im Spektrum bis 500 MHz.
Reichweite	Diese Technologie findet Anwendung bis zu einer max. Leitungslänge von ca. 250 m.	Diese Technologie findet Anwendung bis zu einer max. Leitungslänge von ca. 100 m.
Einsatzfähigkeit	106 MHz Standardisiert, Technologie verfügbar 212 MHz In Standardisierung (erwartet für 2017)	Noch keine Standards verfügbar.
Rollout	Bestehende Kupfer-Inhausverkabelung kann genutzt werden. Piloten / kommerzieller Ausbau mit FTTB ergänzend zu FTTH ab 2016.	> 2020
Kostentreiber	Glasfaserausbau bis zum Gebäude. Die Nutzung der bestehenden Kupfer-Hausverkabelung ist möglich.	Glasfaserausbau bis zum Gebäude. Die Nutzung der bestehenden Kupfer-Hausverkabelung ist möglich. Bei bestehender FTTB/G.fast-Installation einfacher Technikausch.
Gigabit-Gesellschaft	Angebot sehr hoher Bitraten (1 Gbit/s), ohne Eingriff in die Hausverkabelung; bringt Glasfaser ans Gebäude. Fördert im gemeinsamen Mischausbau FTTH/B die Wirtschaftlichkeit des Glasfaserausbaus (im Vergleich zu einem reinen FTTH-Ausbau).	Multi-Gbit/s-Datenraten unter Nutzung bestehender Kupfer-Hausverkabelungen.

\*\* Technologien, die eine flexible Aufteilung zwischen Up- und Downstream-Bitraten zulassen, werden im Steckbrief in aggregierter Form dargestellt. Das zugehörige FTTB-Netz muss dafür hinreichende Kapazität im Up- und Downstream bereitstellen.

## 3.1.2 HFC-Technologien (Koaxialkabel)

Das HFC-Netz (Hybrid-Fiber-Coax) ist aus dem koaxialen TV-Kabelnetz entstanden. Die Vorteile des Koaxialkabels sind die gute Schirmung und der dicke Kupferkern, die zu einer hohen Leistungsfähigkeit führen. Dank der Möglichkeit, im Netz Verstärkerpunkte zu setzen, die die Dämpfung des Signals ausgleichen, bestehen nur geringe Reichweitenrestriktionen.

HFC-Netze sind als sogenanntes Shared Medium – ähnlich dem Mobilfunk – konzipiert: Mehrere Teilnehmer in einem Nutzer-Cluster teilen sich die insgesamt zur Verfügung stehende Bandbreite. Bei steigender Nachfrage werden Cluster-Splits durchgeführt, bei denen Cluster geteilt werden und zugleich der Glasfaseranteil erhöht werden muss.

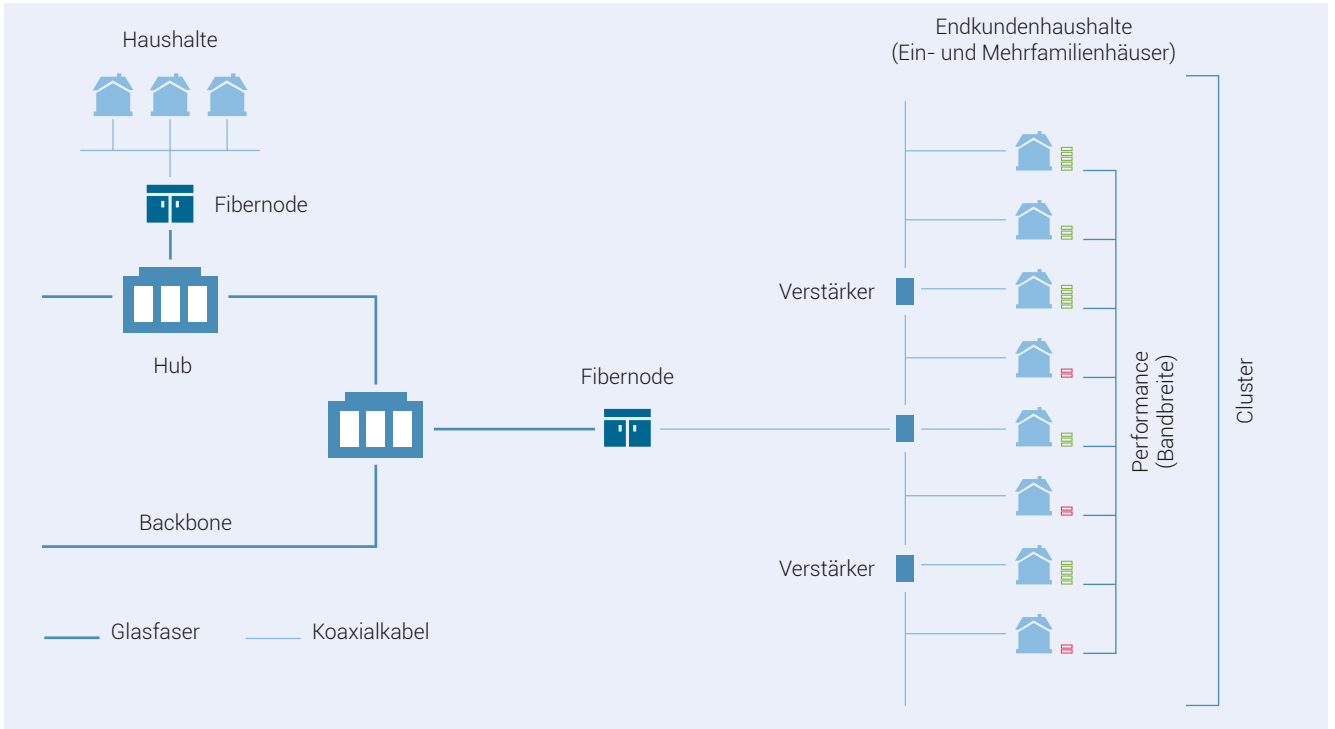
Bei steigenden Nutzerzahlen je Cluster und / oder der Vermarktung von Produkten mit höherer Bandbreite kann ein Cluster-Split ab einem bestimmten Verkehrsschwellenwert angestoßen werden. So kann für alle in einem Cluster befindlichen Nutzer die erforderliche Bandbreite zur Verfügung gestellt werden. Durch den Cluster-Split wird die Anzahl der gemeinsam über das Koaxialnetz zu versorgenden Nutzer ständig verringert. Dafür muss die Glasfaser näher an die Gebäude gebracht werden. Dies kann, falls erforderlich, bis hin zu FTTB-Strukturen erfolgen. Auf diese Weise findet im HFC-Netz ein bedarfsgerechter Glasfaserausbau statt. Alternativ kann auch durch die Umwidmung von bisher für die Rundfunkübertragung genutzten Frequenzen und durch die Nutzung immer höherer Frequenzen die Übertragungsleistung (Bandbreite) für die Internetversorgung gesteigert werden. Bislang werden große Teile des Frequenzbands in HFC-Netzen zur Übertragung von TV- und Hörfunksignalen genutzt. Durch die Abschaltung der analogen TV- und Hörfunkübertragung, aber beispielsweise auch durch die Verlagerung von Spartensendern zu Streaming-Diensten kann das vorhandene Spektrum für Breitbanddienste erweitert und die Leistungsfähigkeit für die Internetübertragung im gesamten Netz erhöht werden.

Da das TV-Kabel vornehmlich in Wohngebieten verlegt wurde, ist dies auch beim heutigen HFC-Netz das zentrale Verbreitungsgebiet. Aktuell können ca. 70 %<sup>1</sup> aller deutschen Haushalte schnelles Internet über HFC-Netze beziehen. Damit bildet die Infrastruktur aktuell eine zentrale Säule der Versorgung Deutschlands mit Hochgeschwindigkeits-Internet. Dank des neuen Standards DOCSIS 3.1 („Gigasphere“), mit dessen Rollout die Kabelnetzbetreiber in Kürze beginnen werden, wird das HFC-Netz gigabitfähig und die HFC-Infrastruktur eine wichtige Basis der Gigabit-Gesellschaft. Mit DOCSIS 3.1 können die zur Verfügung stehenden Frequenzen effizienter genutzt werden. Um die Kapazität voll auszuschöpfen, ist die Anzahl der in Reihe geschalteten Verstärker auf dem Koax-Netz zu verringern, was einen weiteren Glasfaserausbau erfordert.

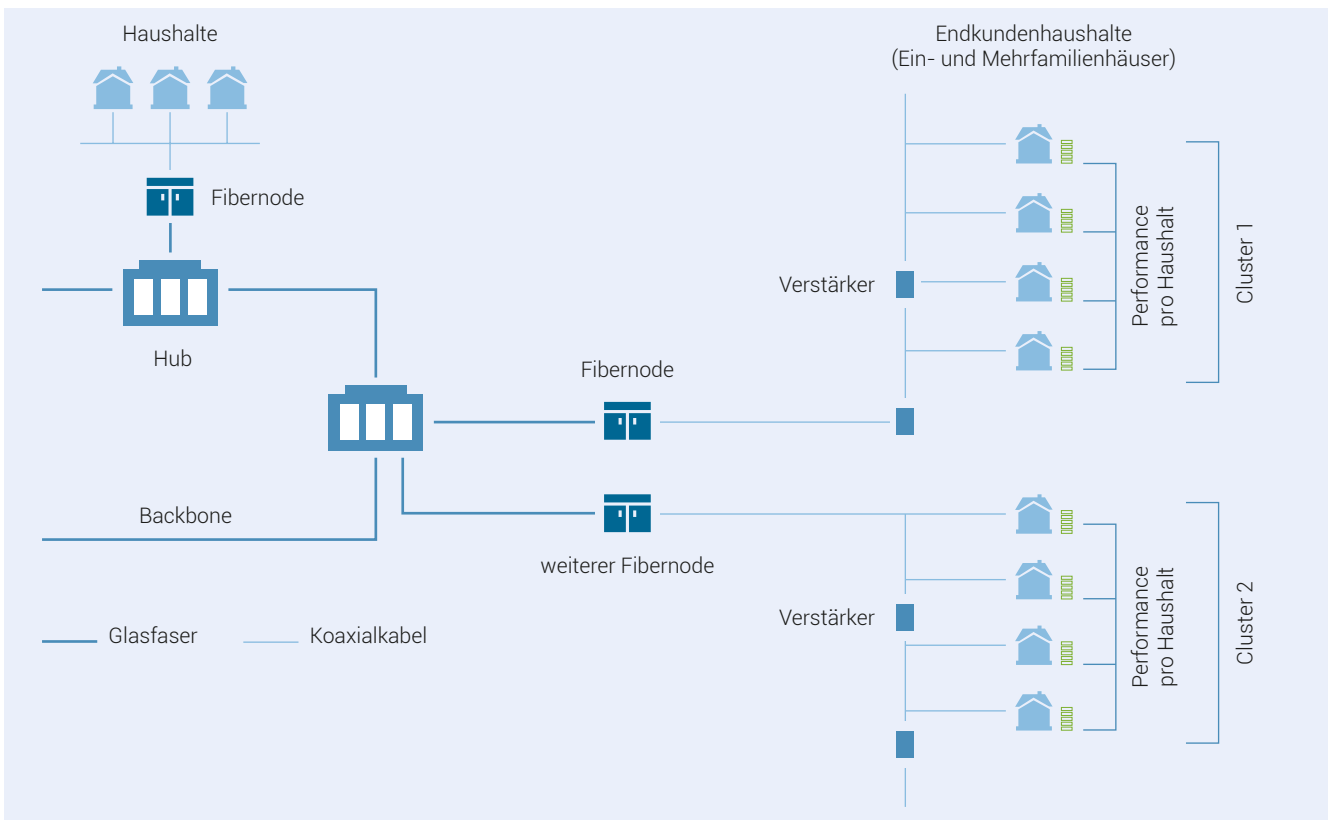
<sup>1</sup> ANGA Verband Deutscher Kabelnetzbetreiber e. V.: Das deutsche Breitbandkabel 2016  
[http://www.anga.de/media/file/937.Anga\\_Factsheets-BB-online.pdf](http://www.anga.de/media/file/937.Anga_Factsheets-BB-online.pdf)

Abbildung 2: HFC-Netztopologie vor und nach Cluster-Teilung

Situation vor Cluster-Split



Situation nach Cluster-Split



**Tabelle 3: HFC-Technologien**

Technologie	DOCSIS 3.0	DOCSIS 3.1 („Gigasphere“)	Full Duplex Technology
<b>Beschreibung</b>	Aktuell meistgenutzter Standard für HFC-Netze.	Gigabitfähige Weiterentwicklung des Standards für HFC-Netze.	(DOCSIS 3.1+) Weiterentwicklung innerhalb des Standards
<b>Durchsatz</b>	Max. down: > 1 Gbit/s Max. up: 150 Mbit/s pro Nutzer  Maximale Übertragungsraten werden bei zunehmender Penetration durch sukzessive Cluster-Splits sichergestellt.  Aktuell im deutschen Markt vorhandene Angebote Mitte 2016: DL: 400 Mbit/s UL: 20 Mbit/s	Max. down: 10 Gbit/s Max. up: mindestens 1 Gbit/s pro Nutzer  Maximale Übertragungsraten werden bei zunehmender Penetration sukzessive durch Cluster-Splits sichergestellt.  Erste Angebote erwartet für 2017 / 2018: DL: 1 Gbit/s UL: 100 Mbit/s pro Nutzer	Max. down: > 10 Gbit/s Max. up: > 10 Gbit/s pro Nutzer
<b>Reichweite</b>	Bei der HFC-Technik bestehen nur geringe Reichweitenbegrenzungen.	Bei der HFC-Technik bestehen nur geringe Reichweitenbegrenzungen.	Bei der HFC-Technik bestehen nur geringe Reichweitenbegrenzungen.
<b>Einsatzfähigkeit</b>	Standard in HFC-Netzen. In Deutschland praktisch alle Netze auf diesem Standard.	Standard vorhanden, Hardware verfügbar und Technologie bereits im Einsatz.	Standardisierung startet 2016 und Einführung wird zwischen 2020 und 2025 erwartet.
<b>Rollout</b>	ca. 70 % Homes Passed <sup>2</sup>	Abwärtskompatibel zu DOCSIS 3.0 & 2.0  Netzertüchtigung beginnt 2016 bei vielen Kabelnetzbetreibern, Aufrüstung wird mehrere Jahre in Anspruch nehmen.	Frühestens 2020
<b>Kostentreiber</b>	Bei zunehmender Nutzung hoher Bandbreiten weiterer Glasfaserausbau für Cluster-Splits erforderlich.	Austausch / Ertüchtigung einzelner aktiver und passiver Komponenten.  Zur Ermöglichung der maximalen Datenraten Ausbau des Glasfaseranteils.  Zusätzlich bei steigenden Nutzerzahlen Fortführung der Cluster-Splits.	Austausch / Ertüchtigung einzelner aktiver Komponenten.  Zur Ermöglichung der maximalen Datenraten Ausbau des Glasfaseranteils.  Bei größeren Gebäuden Tendenz Richtung FTTB.  Zusätzlich bei steigenden Nutzerzahlen Fortführung der Cluster-Splits.
<b>Gigabit-Gesellschaft</b>	Aufgrund der bereits bestehenden hohen Reichweite der HFC-Netze zunächst ein Haupttreiber der Breitbandversorgung für die Gigabit-Gesellschaft, wirtschaftliche und weitverbreitete Versorgung von im Wesentlichen Privathaushalten und Unternehmen mit hohen Bandbreiten. Aus historischen Gründen aber selten Anschluss von Gewerbegebieten mit HFC.	Zeitnah entstehende Gbit/s-Infrastruktur, die die Versorgung von zukünftig mehr als 70 % der privaten Haushalte und von Gewerbebetriebern im Anschlussbereich der HFC-Netze mit Gbit/s-Anschlüssen ermöglicht.	Technologische Weiterentwicklung ermöglicht Up- und Downloads im zweistelligen Gbit/s-Bereich über HFC-Netze.

<sup>2</sup> „Homes Passed“ umfasst alle Haushalte, die entweder direkt über die HFC-Struktur angeschlossen sind oder bei denen noch ein Hausanschluss realisiert werden muss.

### 3.1.3 FTTB/H-Glasfasertechnologien

Man unterscheidet bei Glasfasernetzen, die bis zum Gebäude reichen, typischerweise zwischen FTTB (Fiber to the Building) und FTTH (Fiber to the Home): Bei FTTB-Netzen werden Glasfaserleitungen bis in den Gebäudekeller gelegt. Das Inhausnetz wird dann nicht über Glasfaser, sondern über andere Medien, z. B. die Kupferleitung (G.fast, siehe Kapitel 3.1.1), Koaxialkabel (siehe Kapitel 3.1.2), strukturierte Ethernetverkabelung oder auch Funk- / Drahtlostechnologien, bereitgestellt. Bei FTTH-Netzen (Fiber to the Home) werden Glasfaserleitungen bis in die Wohnung der Kunden bzw. bis in die Betriebsräume von Unternehmen verlegt.

Man unterscheidet bei FTTB/H-Netzen grundsätzlich zwischen zwei unterschiedlichen Netzstrukturen. Bei der PON-Technik (Passive Optical Network) handelt es sich um eine Punkt-zu-Mehrpunkt-Architektur, bei der sich die Kunden von einem Glasfaser-Verteilpunkt aus unter Einsatz passiver Splitter eine gemeinsame Glasfaserzuführung teilen. Dagegen werden Kunden bei PTP-Netzen (Punkt-zu-Punkt-Architekturen) jeweils mit einer eigenen Glasfaser von einem Glasfaser-Verteilpunkt aus versorgt, wodurch das Angebot noch höherer Bandbreiten ermöglicht wird.

FTTH-Netze ermöglichen nahezu unbegrenzte Datenübertragungsraten im Gbit/s-Bereich sowohl im Download als auch im Upload, höchste Übertragungsqualitäten und Ausfallsicherheit. Daneben bieten Glasfasernetze sehr geringe Latenzzeiten, die für zukünftige Anwendungsbereiche der Gigabit-Gesellschaft von besonderer Bedeutung sind. Anders als bei einigen anderen Breitbandtechnologien gibt es bei FTTH nahezu keine Längenbeschränkungen. Darüber hinaus sind FTTH-Netze im Betrieb besonders energieeffizient, da keine aktiven Netzelemente zwischen Kunde und Betriebsstelle eingesetzt werden müssen.

Um die zukünftigen Anforderungen der Gigabit-Gesellschaft zu erfüllen, ist FTTB/H sowohl für Privat- als auch für Geschäftskunden von herausragender Bedeutung. FTTB/H-Anschlüsse sind aktuell in Deutschland für ca. 7 %<sup>3</sup> der Privathaushalte verfügbar. Ein großflächiger FTTB/H-Ausbau in Deutschland erfordert den Einsatz erheblicher Ressourcen.

Im Folgenden wird in der Tabelle nur auf FTTH abgestellt, da die Leistungsfähigkeit von FTTB-Netzen von der eingesetzten Inhaus-Technologie abhängig ist. FTTB-Netze können in Abhängigkeit von der eingesetzten Inhaus-Technologie zukünftig auch Datenraten im Gigabit-Bereich bereitstellen.

**Tabelle 4: FTTH-Technologien – Teil 1**

Technologie	FTTH GPON (Gigabit Passive Optical Network)	FTTH GPON Nachfolgetechnologien: (NG-PON, NG-PON2, 100G-PON)
<b>Beschreibung</b>	<p>Passives Glasfasernetz bis in die Wohnung / das Haus des Kunden.</p> <p>Bei der GPON-Technik werden einzelne Glasfasern vom Kunden an einem Verteilpunkt durch Splitter zusammengefasst und auf einer gemeinsamen Glasfaser weitergeführt (Punkt-zu-Mehrpunkt-Architektur / PMP).</p> <p>Die Kunden an einem Splitter teilen sich die maximal verfügbare Bandbreite.</p>	<p>Weiterentwicklungen von GPON, die höhere Datenübertragungsraten ermöglichen.</p>
<b>Durchsatz</b>	<p>Maximale Werte (down / up): 2,5 / 1,25 Gbit/s</p> <p>Aufgrund der topologischen Eigenschaften teilen sich die Nutzer die Maximalkapazität des Shared Medium. Grundsätzlich sind hohe Produktdatenraten, z. B. 1 Gbit/s Downstream, für den Endkunden möglich.</p> <p>Angebote im Markt Mitte 2016 (down / up): 500 / 100 Mbit/s <sup>4</sup></p>	<p>Maximale Werte (down / up): Aktuell 40–80 Gbit/s symmetrisch (NG-PON, NG-PON2) 100 / 40 Gbit/s (100G-PON)</p> <p>Aufgrund der topologischen Eigenschaften teilen sich die Nutzer die Maximalkapazität des Shared Medium.</p> <p>Ermöglicht sehr hohe symmetrische Produktbandbreiten im Multi-Gbit/s-Bereich.</p> <p>Noch keine Produkte im Markt, da Technik noch nicht im Einsatz.</p>
<b>Reichweite</b>	Verwendung bis zu einer Leitungslänge von 20–30 km.	Verwendung typischerweise bis zu einer Leitungslänge von 20–30 km.
<b>Einsatzfähigkeit</b>	<p>Standardisierte Technologie (ITU-T G.984)</p> <p>Einsatzfähig im gesamten Festnetzbereich.</p>	<p>Standardisierte Technologien</p> <p>Kompatibel zu GPON</p>
<b>Rollout</b>	Aktuell größte Verbreitung im FTTH-Umfeld.	Noch nicht im Einsatz.
<b>Kostentreiber</b>	<p>Glasfaserausbau bis in die Wohnung, d. h. insbesondere Tiefbaukosten und Kosten für die Errichtung eines Glasfasernetzes in den Gebäuden.</p> <p>Bei geringen Leerrohrkapazitäten besonders geeignet, da aufgrund der Punkt-zu-Mehrpunkt-Architektur nur eine geringe Anzahl an Glasfasern benötigt wird.</p>	<p>Prinzipiell gleiche Kostentreiber wie bei GPON.</p> <p>Bei Aufrüstung existierender GPON-Netze Austausch der Systemtechnik / Endgeräte, aber kein Tiefbau erforderlich.</p>
<b>Gigabit-Gesellschaft</b>	<p>Ermöglicht sehr hohe symmetrische Bandbreiten.</p> <p>Ermöglicht grundsätzlich alle (stationären) Use Cases der Gigabit-Gesellschaft.</p> <p>Steigende Nutzung hochbitratiger Produkte erfordert bedarfsgerechte Erhöhung der Kapazität bzw. ein Upgrade auf eine GPON-Nachfolgetechnologie.</p>	<p>Ermöglicht sehr hohe symmetrische Bandbreiten.</p> <p>Effiziente Aufrüstung von bestehenden GPON-Netzen.</p> <p>Ermöglicht grundsätzlich alle (stationären) Use Cases der Gigabit-Gesellschaft.</p>

<sup>4</sup> Bezogen auf Privatkundenprodukte. Für Geschäftskunden sind bereits Produkte mit höheren Bandbreiten verfügbar.



Tabelle 4: FTTH-Technologien – Teil 2

Technologie	FTTH Point-to-Point (PTP)
Beschreibung	<p>Aktives Glasfasernetz mit einem durchgehenden Glasfaseran-schluss bis in die Wohnung / den Betriebsraum des Kunden.</p> <p>Jeder Kunde erhält eine eigene Glasfaser.</p>
Durchsatz	<p>Maximale Werte (down / up): Aktuell 1–10 Gbit/s symmetrisch; perspektivisch 100–1.000 Gbit/s</p> <p>Angebote im Markt Mitte 2016 (down / up): 1 Gbit/s symmetrisch<sup>5</sup></p>
Reichweite	Typische Verwendung bis zu einer Leitungslänge von 10 km aufgrund netzplanerischer Einschränkungen.
Einsatzfähigkeit	<p>FTTH PTP bereits eingeführt</p> <p>Einsatzfähig im gesamten Festnetzbereich, aktuelle Endgeräte bis 1 Gbit/s symmetrisch.</p>
Rollout	FTTH-PTP-Netze kommen immer öfter zum Einsatz.
Kostentreiber	<p>Glasfaserausbau bis in die Wohnung / den Betriebsraum, d. h. insbesondere Tiefbaukosten und Kosten für die Errichtung eines Glasfasernetzes in den Gebäuden.</p> <p>Wegen höherer Faserzahl im Hauptkabel u. U. höhere Infrastruk-turkosten im Vergleich zu PON-Netzen.</p>
Gigabit-Gesellschaft	<p>Höchste symmetrische Bandbreiten im Gbit/s-Bereich</p> <p>Datenübertragungsrate praktisch unbegrenzt skalierbar.</p> <p>Ermöglicht alle (stationären) Use Cases der Gigabit-Gesellschaft.</p> <p>Passiv entbündelbar, sodass Technologie- und Bandbreitenwett-bewerb auf der Infrastruktur entstehen kann.</p>

5 Bezogen auf Privatkundenprodukte. Für Geschäftskunden sind bereits Produkte mit höheren Bandbreiten verfügbar.

## 3.1.4 Mobilfunktechnologien

Alle Mobilfunktechnologien, wie GSM (2G), UMTS (3G) bzw. LTE (4G), nutzen lizenziertes Spektrum und sind durch folgende Eigenschaften gekennzeichnet: Die Datenrate für einen einzelnen Nutzer hängt prinzipiell von seiner Entfernung von der Sendeantenne ab, dabei nimmt mit wachsender Entfernung die Datenrate ab. Zudem findet grundsätzlich eine Ressourcenteilung zwischen allen Nutzern einer Mobilfunkzelle statt, d. h., gleichzeitig aktive Nutzer teilen sich die in einer Zelle verfügbare Datenrate. Darüber hinaus wird die Qualität von topografischen und meteorologischen Bedingungen beeinflusst.

Die maximale in einer Funkzelle erzielbare Datenrate ist jeweils abhängig von den genutzten Trägerbandbreiten, wobei die Datenrate grundsätzlich mit der genutzten Trägerbandbreite steigt. So basiert beispielsweise GSM auf einer 200-kHz-Trägerbandbreite, während die von LTE maximal 20.000 kHz (20 MHz) beträgt, was LTE leistungsfähiger macht. Vor diesem technischen Hintergrund ergeben sich folgende Leistungsmerkmale für Mobilfunktechnologien:

- Die **maximale Datenrate** steht für einen alleinigen Nutzer einer Funkzelle in der Nähe der Sendestation zur Verfügung.
- Die **Reichweite** ist der maximale Abstand, den ein Nutzer von einer Sendestation einnehmen kann, um noch Empfang zu haben. Sie hängt von der Sendefrequenz und -leistung ab. Mobilfunktechnologien decken Gebiete zwar nicht lückenlos, aber weitgehend flächendeckend in Form von Zellen ab. Dabei beschreibt der Zellradius den Abstand zwischen Sendestation und dem Zellrand bzw. zur angrenzenden Zelle. Mit wachsendem Abstand des Nutzers von der Sendeantenne sinkt die Datenrate.

- Die **Kapazität einer Funkzelle** ist nun die Summe der Datendurchsätze aller gleichzeitig aktiven, gleichmäßig über die Funkzelle verteilten Nutzer bei Vollauslastung („Dauerstrichnutzung“, beispielsweise durch gleichzeitiges Videostreaming). Dabei teilen sich alle aktiven Nutzer der Zelle die am jeweiligen Ort erreichbare Datenrate unter Aufteilung des Spektrums der Zelle („Shared Medium“). Die in Mbit/s angegebene Kapazität einer Mobilfunkzelle ist daher deutlich kleiner als die maximale Datenrate eines Einzelnutzers.
- Die **typischen Datenraten pro Nutzer** stellen das statistische Mittel aller gegenwärtig in Deutschland erfassten LTE-Verbindungsaufrufe dar. Sie hängen vom Netzausbauzustand und der Nutzungsintensität in den heutigen LTE-Netzen ab.

Die 4. Mobilfunkgeneration (LTE) ist gekennzeichnet durch eine flexible Trägerbandbreite von bis zu 20 MHz. Alle nachfolgenden LTE-basierten Weiterentwicklungen beruhen auf dieser maximalen Bandbreite und erlauben beispielsweise die Bündelung mehrerer Träger. Die 4G-Netze in Deutschland sind unter Aufrüstung der existierenden 2G / 3G-Standorte gebaut worden. Idealerweise sind sie mit Glasfaseranschlüssen versehen, was aber gegenwärtig nicht flächendeckend der Fall ist. Aufgrund des zunehmenden mobilen Breitband-Kapazitätsbedarfs werden die Standorte immer weiter technologisch aufgerüstet oder mit sogenannten Kleinzellenstandorten („Small Cells“) verdichtet. Zukünftig müssen, insbesondere auch durch die 5G-Einführung getrieben, Stadtmöbel, wie Laternen, Werbetafeln usw., als weitere Standorte erschlossen werden, um die genannte Kleinzellenverdichtung zu gewährleisten. Eine der Herausforderungen der Gigabit-Gesellschaft besteht darin, diese notwendigen neuen Mobilfunkstandorte mit der nötigen Glasfaseranbindung auszustatten, um den zunehmenden Datenraten gerecht zu werden.

Ein wichtiges Ziel der Mobilfunktechnologie-Entwicklung ist es, den beschriebenen zellularen Charakter der Mobilfunknetze, d. h. die stark reduzierten Datenraten an den Zellgrenzen, zu verbessern. Die Latenzzeiten der LTE-Netze liegen gegenwärtig bei 30 bis 40 ms. LTE Advanced, LTE Advanced Pro (4.5G) und 5G werden diese Latenzzeiten, abhängig von Anwendungsszenarien, deutlich reduzieren.

Kennzeichnend für die standardisierten Mobilfunktechnologien, in Abgrenzung von den drahtlosen Zugangstechnologien (wie WLAN), ist die Eignung für schnelle Bewegung der Nutzer und reibungslose Übergänge zwischen den Funkzellen. Die Mobilfunktechnologien der 4. und 5. Generation sind wichtige Bestandteile der Digitalisierung der Gigabit-Gesellschaft für den Breitbandbedarf außer Haus und die Mobilitätsanforderungen beispielsweise durch das vernetzte Fahren. Mit der 5. Mobilfunkgeneration ergeben sich aufgrund der angestrebten Leistungsmerkmale bezüglich Datenraten und Latenzen weitergehende Ansatzpunkte für eine Konvergenz zwischen drahtgebundenen und drahtlosen Netzzugangstechnologien.

**Tabelle 5: Mobilfunktechnologien – Teil 1**

Technologie	LTE / 4G	LTE Advanced	LTE Advanced Pro (4.5G)
<b>Beschreibung</b>	4. Generation, als erste vollständig auf dem Internet-Protokoll (IP) basierende Technologie für den mobilen Internetzugang, IP-basierte Sprach- und (Unicast- / Broadcast-) Multimedia-Dienste 20 MHz Trägerbandbreite und 2 x 2 MIMO Antennensystem	Evolution von LTE mit 2–3 x Trägerbündelung und 4-fach-Sende- und Empfangsdiversität (4 x 4 MIMO).	Evolution von LTE Advanced, die Datenraten im Gigabit-Bereich durch Frequenzbündelung und intelligente Antennentechnik erlaubt.
<b>Durchsatz</b>	Maximale Datenrate im Shared Medium (down / up) * < 150 / 75 Mbit/s < 200 m Zellkapazität (down / up) ** 25 / 17 Mbit/s Typische Werte (down / up) *** ~ 17 / ~ 5 Mbit/s	Maximale Datenrate im Shared Medium (down / up) * < 300–600 / 150 Mbit/s < 200 m Zellkapazität (down / up) ** 50–100 / 17 Mbit/s Typische Werte (down / up) *** ~ 35–60 / ~ 10 Mbit/s	Maximale Datenrate im Shared Medium (down / up) * < 1,2 Gbit/s / 150 Mbit/s < 200 m Zellkapazität (down / up) ** 200 / 35 Mbit/s Typische Werte (down / up) *** ~ 120 / ~ 10 Mbit/s
<b>Reichweite</b>	Zellradius abhängig von Spektrumlage, Szenario (Stadt / Land): 300 m bis ~ 5 km	Zellradius abhängig von Spektrumlage, Szenario (Stadt / Land): 300 m bis ~ 5 km	Zellradius abhängig von Spektrumlage: 300–500 m in innerstädtischen Bereichen, bis zu 5 km mit Beamforming.
<b>Einsatzfähigkeit</b>	Standardisierte Technologie, millionenfach im Einsatz.	Standard seit 2010.	Standard seit 10 / 2015.
<b>Rollout</b>	Seit 2010 eingeführt auf dem Spektrum aus Digitaler Dividende (800 MHz), Umwidmung GSM (1.800 MHz), neuem Spektrum (2.600 MHz). ~ 95 % Bevölkerungsabdeckung (2016)	Bereits teilweise eingeführt in Großstädten, weiterer Rollout in 2016–2018, Spektrum aus Digitaler Dividende I + II (800 / 700 MHz zukünftig), GSM bzw. UMTS ((900 /)1.800 / 2.100 MHz), LTE (2.600 MHz)	Einführung ab 2016 möglich in städtischen Bereichen bzw. Bedarfsgebieten (z. B. als drahtlose Anschluss-technologie für unterversorgte Gebiete) mit wirtschaftlicher Versorgung auf dem Spektrum 2.600 MHz (TDD) bzw. im 3,5-GHz-Band (TDD-Nutzung).
<b>Kostentreiber</b>	Spektrumlizenzen; Flächendeckung Verwendung existierender 2G / 3G-Standorte reduziert Kosten für die LTE-Einführung Richtfunk- oder Glasfaseranbindung von Funkstandorten	Spektrumlizenzen; Standortaufrüstung (Antennen) und Systemtechnik Die Aufrüstung bestehender 2G / 3G / 4G-Standorte bzw. Parallelbetrieb 2G / 3G / 4G reduziert Einführungskosten. Glasfaseranbindung von Funkstandorten (teilweise noch Richtfunk).	Standortaufrüstung (Antennen) und Systemtechnik Die Aufrüstung bestehender 2G / 3G / 4G-Standorte bzw. Parallelbetrieb 2G / 3G / 4G reduziert Einführungskosten. Glasfaseranbindung von Funkstandorten (teilweise noch Richtfunk)
<b>Gigabit-Gesellschaft</b>	Wirtschaftliche, weitgehend flächendeckende mobile Internet-Grundversorgung. Bereits gute „Außer Haus“-Versorgung.	Wirtschaftliche städtische mobile Internetversorgung mit sehr guter Endnutzerqualität für den mobilen „Außer Haus“-Gebrauch. Ermöglicht generelle mobile HD-Video-Nutzung (nonlinear) (Consumer) bzw. industrielles Video in den Ausbaugebieten.	Ermöglicht Erweiterung auf mobile 4K-Videoanwendung, Virtual bzw. Augmented Reality (Consumer / industriell). Einschränkungen bei massenhafter Nutzung als Festnetz-Ersatz.

\* Für einen alleinigen Nutzer einer Funkzelle in der Nähe der Sendestation zur Verfügung stehend

\*\* Summe der Datendurchsätze aller gleichzeitig aktiven, gleichmäßig über die Funkzelle verteilten Nutzer (gerundet)

\*\*\* Tatsächlich gemessene Werte, abhängig vom Netzausbauzustand und der Nutzungsintensität, www.opensignal.com Q4/2015 (LTE, in Großstädten) bzw. sonst Schätzung

Tabelle 5: Mobilfunktechnologien – Teil 2

Technologie	NB-IoT (Narrowband Internet of Things)	LTE-V	5G
Beschreibung	3GPP Low Power, Wide Area Technology, mit Fokus auf das Internet der Dinge, wesentliche Verbesserungen in Bezug auf Reichweite und Energieverbrauch für geringe Datenvolumen und preiswerte Sensorik.	LTE-Erweiterung für die Bedürfnisse aus dem Bereich Kommunikation. Fahrzeug zu Fahrzeug / x und Fahrzeug zu Netz für die Bereiche Verkehrssicherheit bzw. automatisiertes Fahren.	Vereinheitlichte Mobilfunk- / drahtlose Technologie der nächsten Generation mit höheren Datenraten, verbesserter Spektraleffizienz, geringerer Latenzzeit, höherer Energieeffizienz, steuerbarer Verfügbarkeit und auf Anwendungsfälle / -szenarien konfigurierbarer Netzarchitektur („Slicing“).
Durchsatz	Max. 300 Kbit/s bis 1,2 Mbit/s pro Verbindung	~10–30 Mbit/s Fahrzeug zu Fahrzeug	Maximale Datenrate im Shared Medium (down) ~ 10 Gbit/s Peakdatenrate ~ 1 Gbit/s pro Nutzer
Reichweite	~ 2–3 × GSM Reichweite, insbesondere tiefe Inhausversorgung	~Klassische zellulare Reichweite	Reichweite abhängig von verwendetem Spektrum, Technologie und Einsatzfall.
Einsatzfähigkeit	Standard verfügbar seit 06 / 2016.	Standard erwartet 2017.	Standardisierung startet 2016 und Einführung wird zwischen 2020 und 2025 erwartet.
Rollout	~ 2017 Spektrum aus teilweiser Umwidmung der GSM- bzw. LTE-Frequenzen bzw. Koexistenz innerhalb der (800 / 900 /)1.800 / 2.100-MHz-Bänder.	~ 2018 Traditionelles LTE-Spektrum + zusätzlicher Bänder 3.x GHz / 5,9 GHz	~ 2020–2025 Existierendes Mobilfunkspektrum (Refarming) und neues Spektrum im cm / mm-Wellenlängenbereich.
Kostentreiber	Systemtechnik, Sensoren Die Aufrüstung bestehender 2G / 3G / 4G-Standorte bzw. Parallelbetrieb mit 2G / 3G / 4G reduziert Einführungskosten gegenüber einem separaten Netz.	Systemaufrüstung, Verkehrswegeabdeckung Neue Module für die V2X-Kommunikation. Glasfaseranbindung von Funkstandorten	Spektrumlizenzen Neue Netzinfrastruktur, Standortverdichtung mittels Kleinzellen („Small Cells“) und neuer Endgeräte Glasfaseranbindung von Funkstandorten.
Gigabit-Gesellschaft	Diese Technologie erschließt einen bisher nicht adressierbaren Bereich der Digitalisierung durch die massive Verbesserung der Erreichbarkeit. (Beispiel: Bisher sind Smart-Metering-Anwendungen limitiert durch die fehlende GSM-Funkabdeckung für Kellerinstallationen.)	Diese Technologie ermöglicht die gesicherte / koordinierte Kommunikation für die Intelligenten Transport-Systeme, wichtige Komponente der Digitalisierung Deutschlands.	Allgemein verwendbare Technologie für sämtliche mobilen Anwendungsfälle und neu hinzukommenden Vernetzungslösungen im Bereich Mobilität und Industrie (Stichwort: Industrie 4.0) und damit eine Grundlagentechnologie für die Digitale Gesellschaft und die Gigabit-Gesellschaft.

---

### 3.1.5

## Public-WLAN-Technologien

WLAN wurde für eine lokale kabellose Netzwerkanbindung entwickelt. Die Verbreitung von mobilen Geräten, die WLAN beherrschen, und das damit einhergehende Nutzerverhalten, öfter online zu sein, führten schnell zu einer Verbreitung von WLAN-Hotspots im öffentlichen Bereich. Zunächst vorwiegend von privaten Anbietern bereitgestellt, werden diese inzwischen auch durch die öffentliche Hand angeboten. Die Technologie ist nicht flächendeckend verfügbar. WLAN wird normalerweise in nicht lizenzierten Frequenzspektren eingesetzt, dies führt stellenweise zu starken Interferenzen. Die Stärken liegen aufgrund der Zellgröße und der erreichbaren Bandbreite in der Versorgung hochfrequentierter abgrenzbarer Areale. Somit eignet sich die Technologie als Ergänzung zu vorhandenen Mobilfunk- und Festnetzlösungen.

Bei WLAN-Systemen werden die Datenübertragungsraten (Bruttorate) im praktischen Einsatz nicht erreicht. Die Durchsatzrate (Nettorate) liegt mindestens 50 % unter der Bruttorate. Die Ursache hierfür ist unter anderem, dass WLAN-Systeme (im Gegensatz zu Mobilfunktechnologien) für das Senden und Empfangen die gleichen Frequenzkanäle verwenden und ein gleichzeitiges Senden zweier Stationen auf dem gleichen Kanal zur Störung der Datenübertragung führt. Aus diesem Grund muss vor dem Senden geprüft werden, ob der Funkkanal frei ist. Dies führt zur Reduktion der Nettorate.

Tabelle 6: Public-WLAN-Technologien

Technologie	IEEE 802.11n	IEEE 802.11ac	IEEE 802.11ah
<b>Beschreibung</b>	Optimiertes Übertragungsverfahren für die Nutzung der Luftschnittstelle im 2,4- und 5-GHz-Bereich.  Einsatzort: lokal  Koexistent mit älteren Standards wie a / b / g.	Übertragungsverfahren für die Nutzung der Luftschnittstelle im 5-GHz-Bereich.  Einsatzort: lokal  Koexistent mit älteren Standards wie a.	Übertragungsverfahren für die Nutzung der Luftschnittstelle im 900-MHz-Bereich.  Einsatzort: lokal
<b>Durchsatz</b>	Maximale Datenrate im Shared Medium (aggregiert):  150–600 Mbit/s brutto 60–240 Mbit/s netto	Maximale Datenrate im Shared Medium (aggregiert): 433–6.936 Mbit/s brutto  Der Nettodurchsatz liegt deutlich unter der Bruttodatenrate. Annäherungsweise kann von einer Reduktion um mindestens 50 % ausgegangen werden.	Der Durchsatz ist mit mindestens 115 Kbit/s äußerst gering. Die Zielsetzung des Standards ist, IoT zu ermöglichen.
<b>Reichweite</b>	Verwendung bis zu 70 m in Gebäuden, bis zu 250 m im Freien.	Verwendung bis zu 50 m in Gebäuden	Sehr viel höhere Reichweite als andere WLAN-Standards. Laut IEEE wird eine Verdoppelung angestrebt.
<b>Einsatzfähigkeit</b>	2009 standardisierte Technologie, millionenfach im Einsatz. Viele Geräte beherrschen zumeist nur die 2,4-GHz-Frequenz.	2013 standardisiert, kommerziell verfügbar. Im Handel sind zumeist Geräte mit einer Durchsatzrate von 1.300 oder max. 1.733 Mbit/s brutto.	Standard ab 2016 bekannt.
<b>Rollout</b>	Ein wesentlicher Teil der im Einsatz befindlichen Hotspots basiert auf dem Standard 11b/g, ein Rollout findet statt. Hervorzuheben ist ein direkter Rollout in Verkehrsmitteln wie Zügen, der derzeit stattfindet.	Endgeräte, die den ac-Standard beherrschen, sind bereits vorhanden, zumeist handelt es sich um High-End-Geräte.	Erste Geräte ab 2018.
<b>Kostentreiber</b>	Eine Vielzahl von Standorten ist notwendig, die Stromversorgung wie auch eine ausreichende Internetanbindung müssen gewährleistet werden.	Kostentreiber bei diesem WLAN-System ist die Internetanbindung. Um effizient Bandbreiten von mehreren Gbit/s übertragen zu können, sollte eine hochleistungsfähige Anbindung wie FTTB/H verfügbar sein.	Spektrumlizenzen  Neue Netzinfrastruktur, Standortverdichtung mittels Kleinzellen („Small Cells“) und neuer Endgeräte.  Glasfaseranbindung von Funkstandorten
<b>Gigabit-Gesellschaft</b>	Ein Aspekt der Gigabit-Gesellschaft ist der einfache Zugang zu hohen Bandbreiten, hierfür eignen sich WLAN-Systeme aufgrund der Verbreitung grundsätzlich.	Einfach umsetzbarer Beitrag zur schnellen Erhöhung der Bandbreite von WLAN-Systemen über 1 Gbit/s hinaus.	Treiber für IoT und M2M-Kommunikation

### 3.1.6

## Satellitentechnologien

Breitbandinternet-Lösungen über Satellit ermöglichen flächendeckend in Deutschland Breitbandzugänge. Vorteil der reinen Satellitenverbindung ist, dass sie völlig unabhängig von terrestrischen Daten- oder Telefonleitungen praktisch flächendeckend verfügbar ist und kein fester Standort benötigt wird. Sie steht somit auch für Schiffe und Flugzeuge zur Verfügung. Der Nutzer muss sich lediglich im Ausstrahlungsbereich eines geeigneten Satelliten befinden bzw. sich darin bewegen.

Die Satellitentechnik ist derzeit vor allem eine Ergänzungstechnologie für Regionen, in denen kein anderes Breitbandnetz verfügbar ist. In diesem Zusammenhang wird die Satellitentechnologie auch als Backhaul für andere terrestrische Netzzugänge (wie DSL oder Mobilfunk) eingesetzt, wenn die terrestrische Anbindung entfernter Ortschaften sehr aufwendig ist (siehe unten). Ein weiterer wichtiger Anwendungsfall wird künftig die redundante Anbindung von Unternehmen und Betrieben sein (Ausfallsicherheit bei Industrie 4.0 und Cloud-Lösungen).

Aufgrund der Entfernung von rund 36.000 km zum geostationären Satelliten ist die Latenzzeit höher als bei vergleichbaren terrestrischen Technologien. Niedrigere Umlaufbahnen, sogenannte Medium Earth Orbit (MEO,

8.062 km Orbit), die geringere Latenzen ermöglichen, werden international zwar genutzt, sind für den deutschen Markt aber bisher noch nicht vorgesehen. Dennoch wäre die Latenz auch in diesem Fall höher als bei den terrestrischen Zugangstechnologien. Die Latenzzeit spielt aber bei Basisanwendungen wie Surfen im Internet oder dem E-Mail-Handling nur eine untergeordnete Rolle. Auch spezifischere Anwendungen wie das Streamen von hochauflösenden Videos, das Nutzen von manchen Cloud-Services und auch Smart-Grid-Technologien können mit dem Satelliten grundsätzlich verwendet werden. Einige Anwendungen der Gigabit-Gesellschaft wie z. B. autonomes Fahren mit strengeren Anforderungen an niedrige Latenzen werden jedoch nicht durch Satellitentechnik ermöglicht. Auch einige heutige Anwendungen wie reaktionsschnelle Computerspiele können mit Internet via Satellit nur eingeschränkt oder gar nicht genutzt werden.

Internet via Satellit kann auch für die Versorgung ganzer Ortschaften in ländlichen Regionen genutzt werden. Die Bandbreite wird hierbei an einer oder mehreren Stellen zentral im Ort zugeführt und von dort aus über die vorhandene terrestrische Infrastruktur (DSLAM oder Kabelnetz) oder über Funk im Ort verteilt. Dies stellt für viele kleine Orte eine sehr schnell verfügbare und kostengünstige Alternative zur Breitbandversorgung dar. So kann vergleichsweise schnell Konnektivität für eine Übergangszeit erzeugt werden, bis ein leistungsstärkerer terrestrischer Backhaul zur Verfügung steht.

**Abbildung 3: Satellitentechnik als Backhaul von terrestrischen Anschlussnetzen**

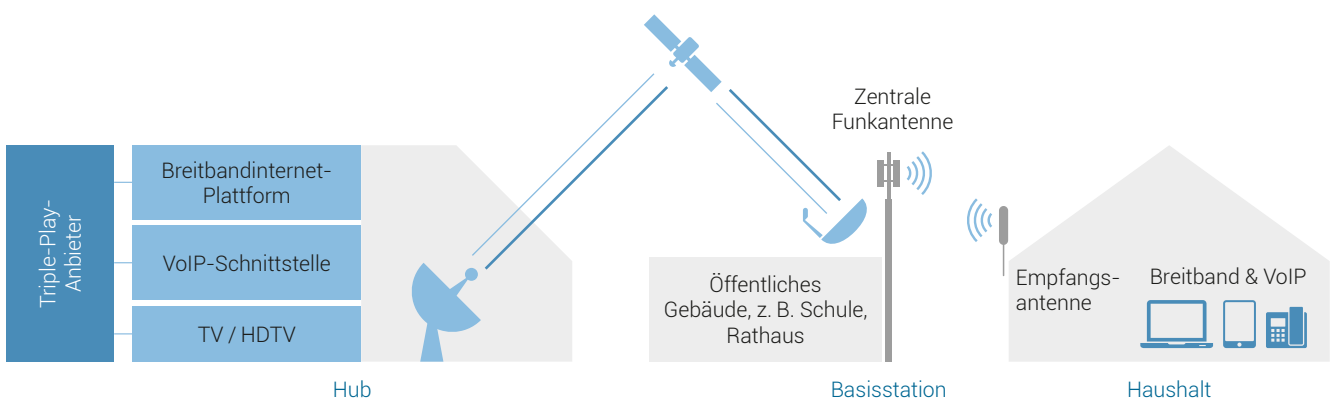




Tabelle 7: Satellitentechnologien

Technologie	Internet via Satellit für Endverbraucher (Einzelantennen pro Haushalt)	Internet via Satellit für B2B und als Backuplösung
Beschreibung	Bidirektionale Satellitenverbindung, unabhängig von terrestrischen Infrastrukturen. Einsatzort: komplementär zu anderen Infrastrukturen	Bidirektionale Satellitenverbindung, unabhängig von terrestrischen Infrastrukturen. Einsatzort: komplementär zu anderen Infrastrukturen oder als Backup
Durchsatz	Typisches Angebot Mitte 2016 (down / up): 20 / 2 Mbit/s Ab 2019 können durch neue Satellitengenerationen Bandbreiten von ca. 50 Mbit/s und mehr für den Endverbraucher zur Verfügung gestellt werden.	Kann plattformabhängig momentan auch als symmetrische und / oder dedizierte Bandbreite mit bis zu 70 Mbit/s angeboten werden.
Reichweite	Überall im Footprint des Satelliten verfügbar, Standort hat keinen Einfluss auf verfügbare Bandbreite.	Überall im Footprint des Satelliten verfügbar, Standort hat keinen Einfluss auf verfügbare Bandbreite.
Einsatzfähigkeit	Standardisierte Technologie, weltweit im Einsatz.	Standardisierte Technologie, weltweit im Einsatz.
Rollout	Flächendeckend in ganz Deutschland verfügbar.	Flächendeckend in ganz Deutschland verfügbar.
Kostentreiber	Höhere Bandbreitenkosten verglichen mit terrestrischen Netzen. Dies ist bedingt durch einen hohen Einstiegsinvest und die in der Satellitenkommunikation längere Dauer des Return-of-Investment. Höhere Hardwarekosten der Endgeräte bedingt durch niedrigere Kundenzahlen.	Höhere Bandbreitenkosten verglichen mit terrestrischen Netzen. Dies ist bedingt durch einen hohen Einstiegsinvest und die in der Satellitenkommunikation längere Dauer des Return-of-Investment. Höhere Hardwarekosten der Endgeräte bedingt durch niedrigere Kundenzahlen.
Gigabit-Gesellschaft	Flächendeckende sofortige Verfügbarkeit mit Bandbreiten von ca. 20 Mbit/s. Kann auch ergänzend zu anderen Infrastrukturen eingesetzt werden, wenn Teilbereiche sonst nicht kosteneffizient erschlossen werden können.	Flächendeckende Verfügbarkeit für Unternehmen, um eine Grundversorgung herzustellen, oder als Backuplösung, um unabhängig von anderen Infrastrukturen eine Anbindung sicherzustellen.

### 3.1.7

## Exkurs: Digitaler terrestrischer Rundfunk

Digitale Rundfunksysteme sind universelle Übertragungssysteme, die neben Radio- und TV-Programmen Daten nahezu jedweder Art unidirektional übertragen können. Terrestrische Rundfunksysteme wie DAB+ und DVB-T2 erlauben den Empfang dieser Daten über Funk mit einfachen Empfängern im Haus und außerhalb. Die Datenrate ist dabei je nach System bis zu einer Geschwindigkeit von über 300 km/h verfügbar.

Die digitalen terrestrischen Rundfunksysteme arbeiten in der Regel im sogenannten Gleichwellenbetrieb, das heißt, die Sender in einem Versorgungsgebiet senden alle auf der gleichen Frequenz. Dies bedeutet eine effiziente Nutzung von Frequenzressourcen und geht einher mit einer hohen Empfangssicherheit, da der Empfänger die Signalanteile aller Sender (und deren in der Landschaft reflektierten Anteile) aufaddiert.

Die Qualität und die Kosten der Übertragung sind dabei unabhängig von der Anzahl der Empfänger im Versorgungsgebiet der Sender. Bei einem Stau auf der Autobahn mit einer großen Empfängerdichte gelangen so die Verkehrsinformationen sicher zu allen Fahrzeugen.

Digitale terrestrische Rundfunksysteme stellen in Bezug auf eine effiziente Verbreitung von Informationen eine Ergänzung moderner Mobilfunksysteme dar und sind insbesondere geeignet für das Verteilen („Broadcast“) von Informationen und Daten, die sich an eine Vielzahl von Empfängern richten. Beispiele sind die Verbreitung von Differential-GPS-Daten, die für das autonome Fahren unabdingbar sind, um eine präzise Lokalisierung des Fahrzeugs zu ermöglichen. Mittels Rundfunkübertragung können zudem Millionen von Navigationssystemen in Zukunft effizient mit Übersichten zu Tagesbaustellen etc. versorgt werden. Zudem können digitale Rundfunksysteme bei der Steuerung von Smart Grids wie dezentralen Einrichtungen zur Stromerzeugung, beispielsweise Solaranlagen und Windräder, eingesetzt werden.

In Kombination mit Mobilfunksystemen lassen sich Lösungen mittels „hybrider Systeme“ realisieren, die Rundfunk und Mobilfunk in einem Gerät integrieren. Informationen mit Relevanz für jedermann werden über Rundfunk übertragen; will der Empfänger weitergehende, individuelle Informationen, so fragt er diese über den Mobilfunkkanal ab und erhält sie auch über diesen Kanal.

### 3.2 Kombination einzelner Technologien

Aufgrund der Struktur des Internet-Protokolls und dessen zunehmender Verbreitung entstehen stark verknüpfte Netze, welche „Ersatzwege“ und „parallele Wege“ zur Datenübertragung ermöglichen. Dadurch ergeben sich verschiedene Kombinations- bzw. Bündelungsmöglichkeiten der zuvor beschriebenen einzelnen Zugangstechnologien. Sie zielen auf Leistungssteigerungen z. B. hinsichtlich Bandbreite, Reichweite oder Verfügbarkeit im Vergleich zur Einzelanwendung der jeweiligen Technologie ab.

Technisch können bei der Technologie-Kombinatorik grundsätzlich zwei Ausprägungen unterschieden werden:

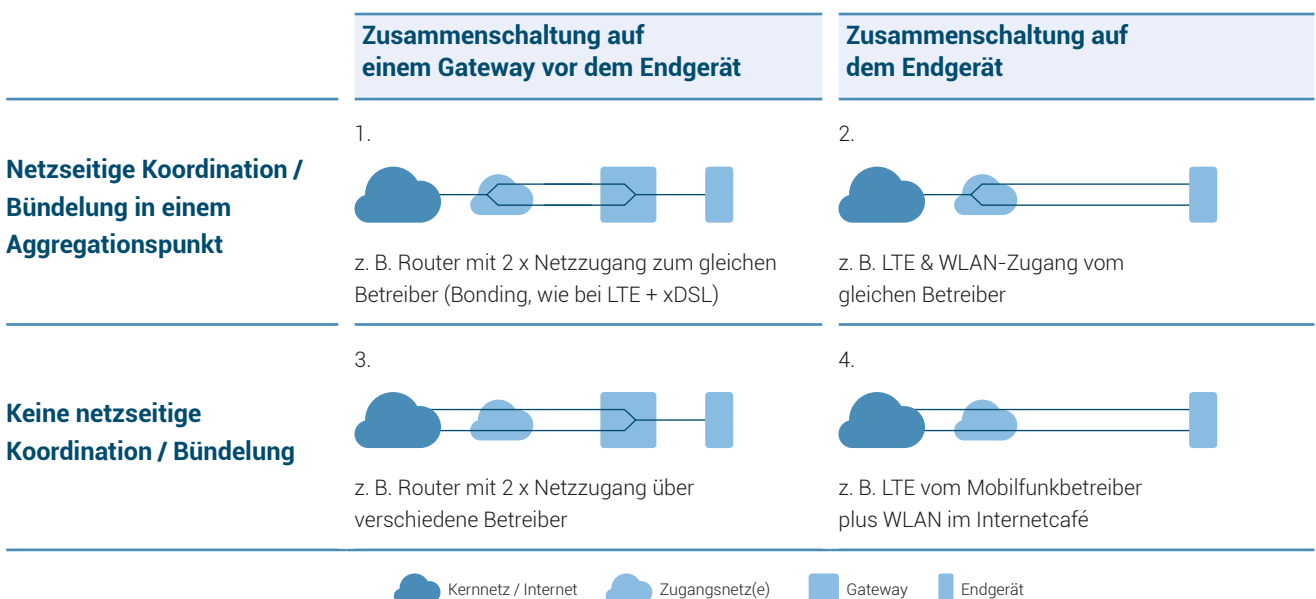
1. Zusammenschaltung einer Technologie-Kombination nur im Endgerät oder nur auf einem Gateway
2. Zusätzlich zu 1. netzwerkseitige Unterstützung durch Koordinations- bzw. Bündelungsfunktionen (in einem Aggregationspunkt)

Somit lassen sich grundsätzlich wie in Abbildung 4 dargestellt vier Kombinationsansätze (1.–4.) unterscheiden. Die verschiedenen Ansätze haben unterschiedliche Auswirkungen auf die erzielbaren Leistungsverbesserungen. Dabei gibt es in der Implementierung zwei unterschiedliche Herangehensweisen an die Standardisierung, welche beispielhaft verdeutlicht werden.

Die endgeräteseitige Technologiebündelung ohne netzwerkseitige Unterstützung (siehe 4. in Abbildung 4) ist insbesondere bei der Smartphone-Nutzung bereits im Einsatz. Dabei wird der Einsatz von Mobilfunk- und WLAN-Technologien koordiniert, also beispielsweise Mobilfunk mit der Nutzung von WLAN. Dabei unterscheidet man die parallele Nutzung (Kombinatorik im Sinne dieses Kapitels) und die alternative Nutzung (z. B. WLAN statt Mobilfunk).

Bei den netzwerkunterstützten Kombinationsansätzen sind prinzipiell Kombinationen zwischen allen Zugangstechnologien realisierbar, einschließlich gleicher Einzeltechnologien untereinander. Die Kombination innerhalb einer Einzeltechnologie ist stark von den Infrastrukturvoraussetzungen beeinflusst. Beispielsweise ist Kupferbonding technisch nur dort möglich, wo mindestens ein zweites Kupferadernpaar in den gleichen Haushalt bzw. das gleiche Unternehmen führt, und es ermöglicht dann nahezu eine Verdoppelung der Datenrate.

Abbildung 4: Systematisierung von Ansätzen zur Kombination einzelner Technologien



Als beispielhaft für gekoppelte Einzeltechnologien mit netzwerkseitiger Unterstützung ist die gemeinsame Nutzung von LTE / LTE-A und xDSL oder grundsätzlich jeder anderen Festnetztechnologie zu nennen, bei der ein stationärer DSL-Anschluss durch gleichzeitige Nutzung der LTE-Technologie eine Leistungssteigerung erfährt. In diesem Fall werden die Technologien nicht auf dem Endgerät, sondern auf einem Zugangsrouter (z. B. Home Gateway) terminiert (siehe 1. in Abbildung 4). Der gewählte Ansatz erhöht die erreichbare maximale Datenrate für einen Anschluss oder alternativ die Reichweite für eine gegebene Datenrate sowie die prinzipielle Netzverfügbarkeit. Bei dieser Form von netzwerkseitiger Unterstützung addieren sich die Kapazitäten der Übertragungsmedien. Allgemein ist die Kombination von LTE mit allen Festnetz-Zugangstechnologien als eine Form der synergetischen Nutzung von Festnetz- und Mobilfunktechnologien möglich. Dies stellt eine Möglichkeit zur relativ kurzfristigen (ggf. übergangsweisen) und kostengünstigen Aufwertung der bestehenden stationären Breitbandversorgung dar (mit den Vor- und Nachteilen des Mobilfunknetzes). Diese Kombination ist ein Beispiel für die Kopplung standardisierter Einzeltechnologien, ohne die Kombination selbst (schon) in einem Standard zu hinterlegen. Bei dieser Art der hybriden Lösung werden die Datenströme im Netzwerk wieder in einem Aggregationspunkt zusammengeführt. Ein anderes Beispiel ist die Kombination von Satellit und DSL / LTE für unterversorgte Gebiete, bei der Dienste mit höheren Anforderungen an Latenz über den terrestrischen Anschluss geführt werden.

Ebenfalls im praktischen, meist professionellen Einsatz sind Lösungen für Lastverteilung und die Verbesserung der Verfügbarkeit. Hierbei werden zwei Netzzugänge (mit ggf. gleicher Technologie, z. B. Glasfaser + Glasfaser) am Zugangsrouter kombiniert, jedoch ohne Unterstützung innerhalb der Netzwerkinfrastruktur, d. h. ohne Aggregationspunkt im Netz (siehe 3. in Abbildung 4). In diesem Fall erhöht sich die insgesamt nutzbare Bandbreite, nicht jedoch die Datenrate für eine einzelne Netzverbindung, d. h., die maximale Down- und Upload-Rate für eine Datei ergibt sich aus dem schnelleren Übertragungsweg. Diese Kombination wird typischerweise von Firmen mit hohen Anforderungen an Bandbreite und Verfügbarkeit verwendet.

Neben den (noch) nicht standardisierten Kombinationen gibt es auch die gezielte Standardisierung von Zugangstechnologie-Kombinationen. In diesem Zusammenhang wird gegenwärtig zum Beispiel die Aggregation von

LTE und WLAN („LTE Wireless LAN Aggregation“, LWA) diskutiert (siehe 2. in Abbildung 4). Im Einzelnen ergeben sich bei der Kombination von Mobilfunk mit WLAN Effizienzvorteile durch die koordinierte Nutzung lizenzierter und unlizenzierter Frequenzen. Dies betrifft sowohl die Dienstbereitstellung durch die verbesserten Performanceparameter als auch den Bereich der Frequenzökonomie durch die zusätzliche Verwendung von unlizenziertem Spektrum. Zusammenfassend kommt es zu einer Verbesserung der prinzipiellen Netzverfügbarkeit durch die gleichzeitige (additive) oder die alternative Nutzung verschiedener Netzbereiche bei den einzelnen Netzbetreibern.

Beide dargestellten Herangehensweisen an die Standardisierung werden von der Industrie genutzt. Die gezielte Standardisierung von Zugangstechnologie-Kombinationen (Beispiel LWA, siehe 2. in Abbildung 4) entspricht dem etablierten Verfahren in der Industrie zur Befriedigung der Nachfrage nach Interoperabilität für Produkte auf globalen Märkten. Dem gegenüber steht der Ansatz der Kopplung von bereits standardisierten Einzeltechnologien (Beispiel LTE mit xDSL, siehe 1. in Abbildung 4) mit dem Ziel schnellerer Marktverfügbarkeit und stärkerer Angebotsdifferenzierung. Letztendlich mündet auch diese Herangehensweise im Erfolgsfall in einer konventionellen Technologiestandardisierung.

### 3.3 Bedeutung konvergenter Netze

Die Netzanforderungen der Anwendungen in der Gigabit-Gesellschaft beispielsweise an Bandbreite, Flächendeckung, Verfügbarkeit, Mobilität, Latenz oder Sicherheit sind vielfältig. Abhängig, z. B. vom Grad der erforderlichen Mobilität und vom Standort der genutzten Anwendung ist unter Umständen ein anderes Anschlussnetz erforderlich; einige Anwendungen haben sogar den Anspruch, während der Nutzung nahtlos zwischen Netzen wechseln zu können.

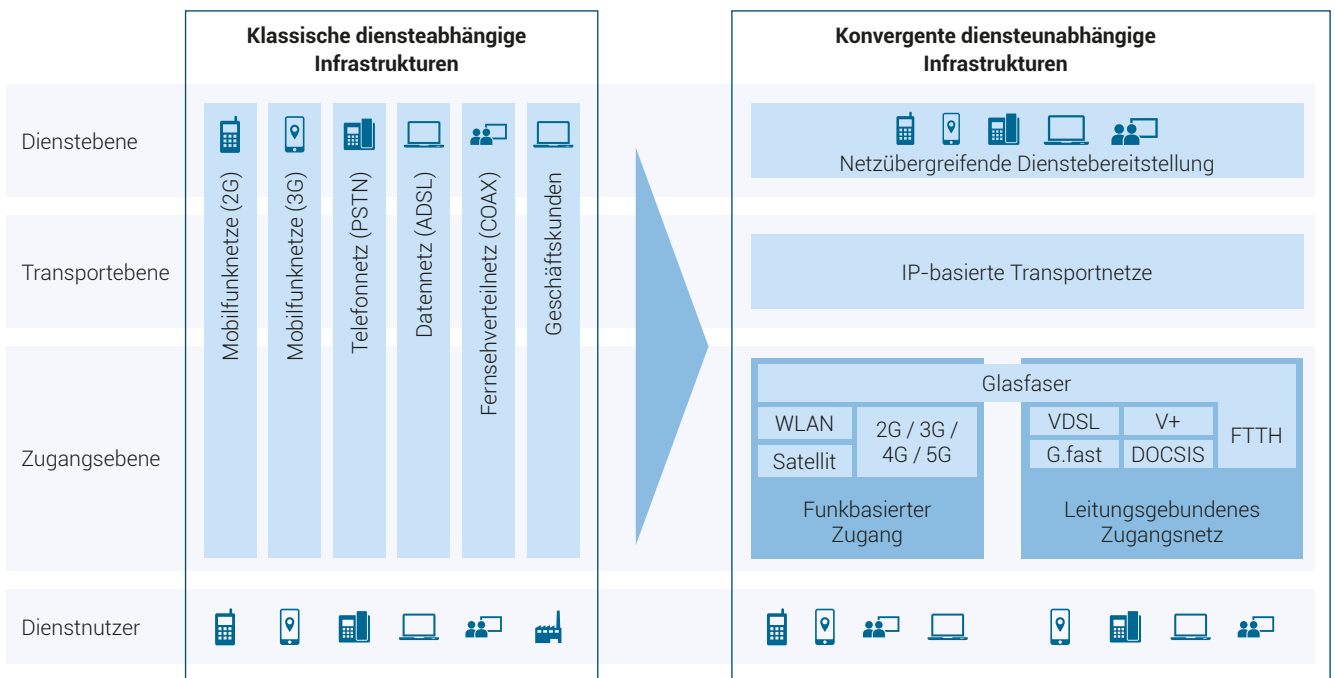
Um Dienste über unterschiedliche Netzzugänge effizient bereitstellen zu können, ist eine einheitliche Produktions- und Transportlogik erforderlich. Dies erfordert einen Umbau der klassischen diensteabhängigen Infrastrukturen zu konvergenten, diensteunabhängigen Infrastrukturen, insbesondere auch vor dem Hintergrund der zunehmenden Nutzung von Internetdiensten.

Bei der klassischen Bereitstellung von Diensten waren die Dienste bisher fest mit den jeweiligen Netzen gekoppelt: Für die Telefonie und schmalbandige Datendienste gab es das PSTN / ISDN-Netz, für das Fernsehen die klassischen Verteilnetze (Satellit, Kabel und terrestrische Netze), für die breitbandigen Datendienste wurden die xDSL-Zugangstechnik mit der erforderlichen IP-Technik im Kernnetz und die DOCSIS-Technologie in den Kabelnetzen eingeführt. Für mobile Anwendungen wurden separate Mobilfunknetze aufgebaut.

Zukünftig werden die Dienste vollständig auf Basis des Internet-Protokolls (IP) übertragen. Aus Anwendungssicht wachsen die Netze daher zusammen, was als Konvergenz der Netze bezeichnet wird. Idealerweise werden in einem „konvergenten“ Netz gemeinsame Serviceplattformen und ein einheitliches Transportnetz zur Anbindung aller Zugangsnetze genutzt. Die folgende Darstellung veranschaulicht beispielhaft den Übergang zu einer konvergenten „All-IP“-Infrastruktur.

Im Zuge der Umstellung auf All-IP wird die Netz-, Prozess- und Produktwelt durch Entkopplung der servicegebundenen Produktion von Grund auf vereinfacht. Neben der Reduktion der Komplexität in den Netzen durch einheitliche Netzkomponenten ist die IP-Transformation auch die Basis für eine einheitliche netzübergreifende Bereitstellung von Diensten und damit auch für die Hebung der zuvor geschilderten Potenziale der Technologie-Kombinatorik. Neue Dienste und Anwendungen können so flexibler realisiert und genutzt werden – weitgehend unabhängig vom verwendeten Anschlussnetz. Neben dem Ausbau leistungsfähiger Anschlussnetze ist die IP-Transformation eine wichtige Voraussetzung für den Aufbau der Gigabit-Gesellschaft (siehe auch Abschlussdokument 2015 Projektgruppe All-IP-Netze – Plattform „Digitale Netze und Mobilität“).<sup>6</sup>

Abbildung 5: Übergang zu einer konvergenten All-IP-Infrastruktur



6 <http://plattform-digitale-netze.de/fokusgruppe-aufbruch-gigabit-gesellschaft/>

## 4

# Zusammenfassung der Ergebnisse

- Die „Gigabit-Gesellschaft“ umschreibt eine im Zuge der Digitalisierung veränderte Alltagsrealität in wesentlichen Arbeits- und Lebenswelten mit großen Potenzialen für Gesellschaft und Wirtschaft. Die dafür notwendigen leistungsfähigen Netzinfrastrukturen bilden dabei die Grundlage, um die Wettbewerbsfähigkeit von Deutschland als Wirtschaftsstandort erhalten und ausbauen zu können.
- In der Gigabit-Gesellschaft nimmt die Vielfalt der Anwendungsszenarien weiter zu. Damit ergeben sich sehr heterogene funktionale Anforderungen, wie beispielsweise Datenrate, Latenz oder nahtlose Konnektivität, an die Netze sowie an die Endgeräte. Diese Anforderungen zeichnen sich bereits deutlich ab, sind aber teilweise für die einzelnen Anwendungen noch konkret zu definieren.
- Die Gigabit-Gesellschaft ist durch die Verfügbarkeit von Netzen in der Fläche gekennzeichnet, die diesen heterogenen funktionalen Anforderungen möglichst gerecht werden müssen.
- Die heterogenen Netzanforderungen können durch verschiedene Netzzugangstechnologien (Festnetz, Mobilfunk / drahtlos) bedient werden, die unterschiedliche Eigenschaften haben. Die Technologien unterscheiden sich hinsichtlich ihrer technischen Leistungsfähigkeit, ihrer zeitlichen Verfügbarkeit und des Aufwands für den Netzaus- bzw. -umbau.
- Allen Technologien – Festnetz und auch Mobilfunk – ist gemein, dass die weitere Verbreitung von Glasfaser in Richtung Kundenstandorte (d. h. Haushalte, Gewerbe, Mobilfunkstandorte) unverzichtbar ist, um die zukünftigen Anforderungen (insbesondere hohe Datenraten) der Gigabit-Gesellschaft erfüllen zu können.
- Ein umfassender Glasfaserausbau erfordert einen hohen Ressourcenaufwand. Dabei stellt die Herstellung der Verfügbarkeit in der Fläche eine besondere Herausforderung dar.
- Daneben verlangt auch die Aufrüstung bzw. der Ausbau der unterschiedlichen Technologien hohe Investitionen der Netzbetreiber.
- Vor diesem Hintergrund müssen vorhandene Ressourcen für den Netzaus- und -umbau ausgenutzt werden, um auf dem Weg in die Gigabit-Gesellschaft Konnektivität wirtschaftlich, flexibel und skalierbar anzubieten. Der Weg in die Gigabit-Gesellschaft ist daher durch den Einsatz verschiedener, teilweise komplementärer Netzzugangstechnologien gekennzeichnet.
- Diese unterschiedlichen Netze werden möglichst konvergent vereint, um Dienste plattformübergreifend effizient zu realisieren und zu nutzen. Gerade 5G wird weitergehende Ansatzpunkte für eine Konvergenz zwischen verschiedenen Anschlussnetzen ermöglichen.

- Für die konvergente Dienstrealisierung in der Gigabit-Gesellschaft ist die All-IP-Transformation die Basis. Sie ermöglicht auch verschiedene Kombinationen einzelner Netzzugangstechnologien zur Leistungssteigerung z. B. hinsichtlich Bandbreite, Reichweite oder Verfügbarkeit.
- Neue Dienste auf zunehmend konvergenten Infrastrukturen bieten enorme Potenziale für Wirtschaft und Gesellschaft. In vielen Fällen sind dafür noch branchenübergreifende Geschäftsmodelle zu entwickeln. Dabei sind insbesondere Fragestellungen zu einem angemessenen „Cost Sharing“ innerhalb der sich ausdehnenden Wertschöpfungskette mit Blick auf den kapitalintensiven Aufwand zum Aufbau und Betrieb dieser konvergenten Netzinfrastrukturen zu klären.
- Um eine hinreichende Ende-zu-Ende-Qualität sicherzustellen, müssen neben leistungsfähigen Zugangnetzen auch die dem Bedarf entsprechenden Netzinfrastrukturen in den Verbindungs- und Kernnetzen einer All-IP-Infrastruktur vorgehalten werden. Neben einer leistungsfähigen und möglichst flächendeckenden digitalen Infrastruktur, die die zu erwartenden Datenmengen bewältigen kann, bedarf es einer hohen IT-Sicherheit, die die Vertraulichkeit, Authentizität und Integrität von Daten gewährleistet.

## Handlungsempfehlungen an die Politik

Zum schnellen Erreichen der Gigabit-Gesellschaft sollte der **Netzausbau forciert werden, insbesondere auch in der Fläche**. Dabei gilt es, die hohe Verfügbarkeit von Breitbandzugängen bei einer möglichst geringen Spreizung zwischen städtischen Gebieten und ländlichen Räumen auch zukünftig sicherzustellen. Gleichzeitig ist für eine zukunftsorientierte und flexible Erhöhung der Bandbreiten perspektivisch bis in den Gigabit-Bereich zu sorgen. Im Einzelnen leiten sich für die Projektgruppe daraus folgende Handlungsempfehlungen an die Politik ab:

### Handlungsempfehlung Glasfaserbasierter Ausbau im Technologie-Mix

Der politische und regulatorische Rahmen für den Netzausbau muss technologie-neutral gestaltet und damit ein Technologie-Mix umgesetzt werden. Der Glasfaserausbau in Richtung Kundenstandorte (d. h. Haushalte, Gewerbe, Mobilfunkstandorte) als zentraler Bestandteil für alle Netzzugangstechnologien sollte durch eine Verbesserung des Investitionsrahmens für alle ausbauenden Unternehmen forciert werden. Nur so können absehbar und effizient die Netze für die Gigabit-Gesellschaft ausgerollt werden.

### Handlungsempfehlung Wettbewerb

Der Infrastruktur- und Investitions- sowie auch Dienstewettbewerb muss für einen schnellen Netzausbau zur Erreichung der Gigabit-Gesellschaft sichergestellt werden. Der Wettbewerb war und ist Antrieb für einen effizienten Ausbau, eine hohe Anschlussqualität beim Kunden und innovative Dienste.

### Handlungsempfehlung Finanzierung

Die Finanzierung des Netzausbaus muss auf alle Netzbetreiber gestützt werden, damit öffentliche Fördermittel so gering wie möglich gehalten werden.

### Handlungsempfehlung Staatliche Förderung

Dort, wo ein Ausbau privatwirtschaftlich nicht rentabel ist, wird weiterhin auch staatliche Förderung in technologie-neutraler Weise erforderlich sein, um den angestrebten Netzausbau in der Fläche sicherzustellen. Ein geförderter Überbau ist dabei grundsätzlich zu vermeiden.

### Handlungsempfehlung Konvergenz und All-IP

Die vollständige Umstellung auf Netzinfrastrukturen, die auf dem Internet-Protokoll basieren (All-IP-Migration), ist die Basis für eine konvergente Diensterealisierung in der Gigabit-Gesellschaft und für den Einsatz verschiedener Kombinationsmöglichkeiten einzelner Netzzugangstechnologien. Deshalb sollte die bereits laufende All-IP-Migration weiterhin konsequent vorangetrieben und politisch flankiert werden.

### Handlungsempfehlung Qualitätsgesicherte Dienste

Die Hebung des vollen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Potenzials bestimmter Dienste und Anwendungen, z. B. aus dem Bereich Vernetztes Fahren oder E-Health, erfordert eine verlässliche, gleichbleibend hohe Qualität der Konnektivität. Dafür bedarf es eines angemessenen Verhältnisses von offenem Internet und qualitätsgesicherten Diensten. Dabei sind mehr kommerzielle Preisgestaltungsspielräume erforderlich, gegenüber Endkunden wie auch Over-the-Top Playern.



### **Handlungsempfehlung Level-Playing-Field**

TK-Anbieter stehen zunehmend im Wettbewerb mit Anbietern vergleichbarer Dienste, die über das offene Internet agieren (Over-the-Top, OTT). Dabei gilt jedoch für TK-Anbieter ein deutlich strengerer Rechtsrahmen als für OTTs. Die Folge sind ungleiche Wettbewerbsbedingungen, die Innovationen bei TK-Anbietern erschweren. Zur Schaffung eines Level-Playing-Field müssen in Bereichen wie Kundenschutz, Datenschutz und öffentliche Sicherheit gleiche Regeln für substituierbare Dienste (z. B. Telefonie und E-Mail) gelten.

### **Handlungsempfehlung Mobilität**

Mobilität, u. a. gekennzeichnet durch die Anforderung nahtloser Konnektivität, und ihre Umsetzung durch entsprechende Netztechnologien sind ein maßgeblicher Bestandteil der Gigabit-Gesellschaft. Aus diesem Grund muss die Bereitstellung neuer, mindestens EU-weit harmonisierter Frequenzen insgesamt erleichtert werden, um den erfolgreichen Rollout von 5G als eine Schlüsseltechnologie in diesem Bereich zu gewährleisten. Darüber hinaus sollte eine möglichst entgeltfreie Mitnutzung öffentlicher Infrastrukturen über Straßenlaternen und Ampeln hinaus ermöglicht werden, z. B. öffentliche Gebäude.

# Abkürzungsverzeichnis

2G / 3G / 4G / 5G	2. bis 5. Mobilfunkgeneration	ITU-T	Standardisierungsbereich der ITU
3GPP	3rd Generation Partnership Project	Kbit	Kilobit
4K	Ultra High Definition Television	Kbit/s	Kilobit pro Sekunde
B2B	Business to Business	kHz	Kilohertz
DAB+	Digital Audio Broadcast	KVz	Kabelverzweiger
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification	LTE	Long Term Evolution
DSL	Digital Subscriber Line	LTE-A	Long Term Evolution Advanced
DSLAM	DSL Access Multiplexer	LTE-V	Long Term Evolution Vehicle
DVB-T2	Digital Video Broadcast Terrestrial 2nd Generation	LWA	LTE Wireless LAN Aggregation
FTTB	Fiber to the Building	M2M	Machine-to-Machine
FTTC	Fiber to the Curb	Mbit	Megabit
FTTH	Fiber to the Home	Mbit/s	Megabit pro Sekunde
Gbit	Gigabit	MHz	Megahertz
Gbit/s	Gigabit pro Sekunde	MIMO	Multiple Input Multiple Output
G.fast	Fast Access to Subscriber Terminals	ms	Millisekunde
GHz	Gigahertz	NB-IoT	Narrowband Internet of Things
GPON	Gigabit Passive Optical Network	NG-PON	Next Generation PON
GPS	Global Positioning System	OTT	Over-the-Top
GSM	Global System for Mobile Communications	PON	Passive Optical Network
HFC	Hybrid-Fiber-Coax	PSTN	Public Switched Telephone Network
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	PTP	Point-to-Point
IP	Internet-Protokoll	TDD	Time Division Duplex
ISDN	Integrated Services Digital Network	TK	Telekommunikation
ITU	International Telecommunication Union	UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
		V2X-Kommunikation	Vehicle-to-x-Kommunikation
		VDSL	Very High Speed Digital Subscriber Line
		VoIP	Voice over IP
		WLAN	Wireless Local Area Network

# Mitglieder der Projektgruppe „Konvergente Netze als Infrastruktur für die Gigabit-Gesellschaft“

## Leitung

**Stefan Rinkel-Holgersson**  
Telekom Deutschland GmbH

**Ingoberth Veith**  
Huawei Technologies Deutschland GmbH

## Leitung der Fokusgruppe „Aufbruch in die Gigabit-Gesellschaft“

**Jochen Schwarz**  
Nokia

## Mitglieder der Projektgruppe „Konvergente Netze als Infrastruktur für die Gigabit-Gesellschaft“

**Elke Fischer**  
VDV eTicket Service GmbH & Co. KG

**Sven Knapp**  
BREKO Bundesverband Breitbandkommunikation e. V.

**Lars Petermann**  
Netzikon GmbH

**Ulf Freienstein**  
AteneKom / Breitbandbüro des Bundes

**Nick Kriegeskotte**  
Bitkom - Bundesverband Informationswirtschaft,  
Telekommunikation und neue Medien e. V.

**Klaus Richter**  
Fraunhofer-Institut für  
Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF

**Sebastian Glatz**  
ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und  
Elektronikindustrie e. V.

**Heinz-Peter Labonte**  
Fachverband Rundfunk- und Breitbandkommunikation  
- FRK

**Simon Rinas**  
Ericsson

**Katja Gottschalk**  
Bundesministerium für Verkehr und  
digitale Infrastruktur

**Christoph Legutko**  
Intel Deutschland GmbH

**Stefan Rinkel-Holgersson**  
Telekom Deutschland GmbH

**Philippe Gröschel**  
Telefónica Germany GmbH & Co. OHG

**Christiane Lehmann**  
TÜV Rheinland Consulting GmbH

**Carsten Schmoll**  
Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme  
FOKUS

**Jürgen Grütznert**  
VATM e. V. Verband der Anbieter von  
Telekommunikations- und Mehrwertdiensten

**Dr. Michael Lemke**  
Huawei Technologies Deutschland GmbH

**Andreas Schröder**  
1&1 Internet SE | United Internet AG | 1&1 Telecom GmbH

**Dr. Claus Habiger**  
TelematicsPRO e. V.

**Volker Leyendecker**  
SES

**Dr. Helmut Stocker**  
Coriant GmbH & Co. KG

**Klaus Markus Hofmann**  
Network-Institute GmbH

**Georg Merdian**  
Vodafone GmbH

**Ingoberth Veith**  
Huawei Technologies Deutschland GmbH

**Simon Japs**  
Unitymedia

**Wilhelm Möllemann**  
TelematicsPRO e. V.

**Thomas Wächter**  
MEDIA BROADCAST GmbH

**Stephan Jay**  
Telekom Deutschland GmbH

**Can Oezdemir**  
Nokia

**Martina Westhues**  
Deutsche Telekom Group Headquarters

**Markus Jenisch**  
Nokia

**Marja von Oppenkowski**  
Vodafone GmbH

**Lukas Jeuck**  
ANGA Verband Deutscher Kabelnetzbetreiber e. V.

**Solveig Orłowski**  
VATM e. V. Verband der Anbieter von  
Telekommunikations- und Mehrwertdiensten

