

## § 4 Technische Grundlagen der Telekommunikation

**Schrifttum:** Beck'scher TKG-Kommentar/Geppert, 5. Auflage 2013 (zitiert als: Beck TKG/Bearbeiter); Kühling, Legislative Handlungsbedürfnisse in der neuen Telekommunikationswelt der Next Generation Networks, K&R 2008, 351; Helmes/Schoof/Geppert, Herausforderungen der ALL-IP-Netzmigration: zur Balance zwischen Effizienzgewinnen und Migrationsnachteilen, CR 2008, 419; Schmittmann, Wem gehört das Inhouse-Telefonkabel? Die Rechtsstellung des Gebäudeeigentümers gegenüber TK-Unternehmen, MMR 2009, 520.

### I. Die Telekommunikationsverbindung

Zur sachgerechten Bearbeitung telekommunikationsrechtlicher Fälle ist ein Verständnis der technisch-wirtschaftlichen Hintergründe unerlässlich, da die juristische Sachverhaltsbewertung stark von technischen Gegebenheiten abhängt. Daher soll das folgende Kapitel zunächst einen groben Überblick über die Funktionsweise von Telekommunikationsnetzen und ihre technologische Weiterentwicklung geben, bevor auf die Grundlagen der Regulierung des Telekommunikationsmarktes unter → § 31 Rn. 1 ff. näher eingegangen wird. 1

#### 1. Die physische Verbindung

Als Telekommunikation bezeichnet man den technischen Vorgang des Aussendens, Übermittels und Empfangens von Signalen mittels Telekommunikationsanlagen (§ 3 Nr. 59 TKG). Telekommunikation kann via Kabel- oder Funktechnik realisiert sein (feste oder mobile physische Verbindung). Kabelgebundene Kommunikationsnetze bestehen aus dem Kabelnetzwerk einschließlich der zu dessen Betrieb erforderlichen **Linien- und Vermittlungstechnik**. Hierfür kommen abhängig von zu erzielender Datenrate und zu überbrückender Reichweite unterschiedliche Kabelsysteme zum Einsatz. Die klassischen **Kupferdoppeladern** werden heute noch für Teilnehmeranschlussleitungen, also die Kabelverbindungen von den Verteilkästen im Straßenraum zum Kunden, verwendet. Die Datendurchsatzrate bei Kupferdoppeladern hängt sehr stark von der Länge der Kupferleitungen ab. Im Bereich der Übertragung von Fernsehfunk finden überwiegend **Koaxialkabel** Verwendung. Sie bestehen aus einem isolierten Innenleiter, der von einem in konstantem Abstand zu diesem angebrachten Außenleiter umgeben ist. Die neueste und schnellste Technik bilden **Glasfaserkabel** bzw. Lichtwellenleiter, die aus Mineralglas oder organischem Glas bestehen und im Gegensatz zur klassischen Leittechnik nicht elektromagnetische Wellen, sondern Lichtimpulse kontrolliert leiten. Kabelgebundene Verbindungswege können durch **Richtfunkstrecken** ersetzt werden. Hierzu werden über einen Richtfunkspiegel gebündelte Funksignale ausgesendet, die auf eine meist baugleiche Antenne abzielen. 2

**Funkgestützte Kommunikationsnetze** basieren auf der Aussendung oder Abstrahlung elektromagnetischer Wellen. Einzelne Funkanwendungen werden ua durch ihre jeweilige **Frequenz** voneinander separiert. Die Frequenz gibt die Anzahl der Schwingungen pro Zeiteinheit an. Sie wird in **Hertz (Hz)** gemessen, wobei ein Hertz einer Schwingung pro Sekunde entspricht. Für Telekommunikation nutzbare Frequenzen liegen zwischen 8,3 kHz (Kilohertz) und 3.000 GHz (Gigahertz), also zwischen 8.300 und 3.000.000.000.000 Hz.<sup>1</sup> Je optimaler die Frequenzselektion, desto größer ist die Anzahl der Anwendungen, die am selben Ort betrieben werden können. 3

<sup>1</sup> Dies sind die Frequenzen, deren funktchnische Nutzung in der Frequenzverordnung (FreqV) geregelt ist.

- 4 Die Praxis unterscheidet zwischen verschiedenen Arten von **Funkdiensten**, denen jeweils ein bestimmter Frequenzbereich zugeordnet ist. Die Vergabe der Frequenzen erfolgt durch die Bundesnetzagentur. Auf die rechtlichen Grundlagen der **Frequenzplanung und -vergabe** wird an späterer Stelle noch näher eingegangen werden.
- 5 Für die Rechtspraxis von besonderer Bedeutung sind **Mobilfunkdienste**. Sie werden über **Mobilfunknetze** bereitgestellt. Letztere bestehen aus **Kernnetzen** (Mobilvermittlungsnetze), in denen Signale zwischen ortsfesten Einrichtungen (zB Basisstationen) und zentraler Netztechnik übermittelt werden, sowie **Zugangsnetzen** (letzte Meile), über welches die Verbindung zwischen Mobilfunkbasisstation und mobilen Endgeräten realisiert wird. Die ortsfesten Einrichtungen des Zugangsnetzes können terrestrischer oder satellitengestützter Natur sein. Innerhalb von Mobilvermittlungsnetzen finden Übertragungsleistungen typischerweise kabelgebunden statt, Mobilfunkbasisstationen werden jedoch häufig auch per Richtfunk an die zentralen Netze angebunden. Werden Nachrichten übermittelt, so erfolgt dies größtenteils im Mobilvermittlungsnetz. Erst auf der Strecke zwischen Mobilfunkbasisstation und Endgerät werden die Signale per Funk übertragen.
- 6 Im Bereich des konventionellen Mobilfunks wird das Zugangsnetz über ein dichtes Netz von **Basisstationen** (Sendemasten) bereitgestellt. Nach Angaben der Bundesnetzagentur werden in Deutschland derzeit mehr als 70.000 solcher Mobilfunkstandorte betrieben.<sup>2</sup> Jede Basisstation deckt einen bestimmten Bereich des Netzes, eine sog. **Funkzelle**, ab. Für gewöhnlich überlappen sich die Zellen mehrerer benachbarter Basisstationen. Im Überlappungsbereich wählt das Endgerät meist automatisch die Zelle mit dem stärksten Signal. Wechselt das Gerät von einer Funkzelle zur nächsten, wird dieser Vorgang als **Handover** bezeichnet.
- 7 Bietet ein Mobilfunknetzbetreiber in einem bestimmten Gebiet nur unzureichende Netzkapazitäten, hat der Teilnehmer unter bestimmten Voraussetzungen die Möglichkeit, auf das Netz eines anderen Mobilfunknetzbetreibers auszuweichen. Diese als **Roaming** bezeichnete **Einwahl in ein fremdes Netz** setzt eine entsprechende Vereinbarung der Netzbetreiber, ein sog. **Roaming-Abkommen**, voraus. Gleiches gilt, wenn sich der Teilnehmer mit seinem Endgerät im Ausland befindet und das Netz eines dortigen Anbieters nutzen will (**internationales Roaming**). Der Betreiber des fremden Netzes erhebt für die gastweise Nutzung seines Netzes regelmäßig Entgelte, die als Roaming-Gebühren bezeichnet werden. Technisch setzt Roaming den Zugriff der Mobilfunkvermittlungssysteme des besuchten Netzes auf das Teilnehmerregister des Heimatnetzes des Kunden voraus. Bucht sich der Kunde in das Gastnetz ein, erfährt das Heimatnetz den Standort des Kunden und kann ankommende Gespräche so in das Gastnetz vermitteln. Der Transfer der Teilnehmerdaten wird in der Regel über sog. **Clearingstellen** gewährleistet.

## 2. Die logische Verbindung

- 8 Während in den Anfangszeiten der Telekommunikation für jede Telekommunikationsverbindung innerhalb des Vermittlungsnetzes eine physikalische Verbindung zwischen allen Teilnehmern bestehen musste, ist es heute durch Multiplextechniken möglich, über ein physikalisches Kabel mehrere tausend Verbindungen gleichzeitig herzustellen. Die neben der physikalischen Verbindung bestehende logische Verbindung zwischen zwei Teilnehmern bezeichnet man als Kanal. Hierbei sind Nutz- und Signalisierungskanäle zu unterscheiden. **Nutzkanäle** dienen der Übertragung der eigentlichen Nutzinformationen und damit insbesondere von Sprache und Daten. In **Signalisierungskanälen** werden die zur Kommunikation erforderlichen Steuerinformationen übertragen (Signalisierung). Erst auf ihrer Grundlage ist es möglich, Verbindungen zwischen Teilnehmern aufzubauen, aufrecht zu erhalten und schließlich wieder abzubauen. Innerhalb eines Telefonnetzes werden unter Verwendung von Signalisierungsprotokollen Verbindungstests, Messungen und Netzsteuerungsmaßnahmen durchgeführt. Signalisierungsinformationen können neben einfachen Steuersignalen (Klingeln, Besetzt, gewählte Rufnummer) auch komplexere Komfortinformationen, beispielsweise

<sup>2</sup> Siehe die Angaben auf der Website der Bundesnetzagentur in der Rubrik EMF – Monitoring.

se Call-Back-Funktionen oder die Anzeige der Rufnummer des Gesprächspartners, sein. In Mobilfunknetzen wird regelmäßig auch die Funkzelle übermittelt, in der sich der Teilnehmer gerade aufhält.

Bei analogen Telefonanschlüssen existiert häufig kein eigener Signalisierungskanal. Hier werden Signalisierungsinformationen im Nutzkanal mit übertragen (sog. **Innenband-Signalisierung**). In digitalen Netzen besteht ein eigener Signalisierungskanal (sog. **Außenband-Signalisierung**). Da Signalisierungsinformationen meist sehr kurze Nachrichten sind, ist es möglich, für mehrere Nutzkanäle einen gemeinsamen Signalisierungskanal bereitzustellen. Hierzu werden Protokolle und Verfahren wie das Signalling System #7 (SS 7) bzw. E-DSS 1 eingesetzt. Die Vermittlung der Signalisierungsinformationen innerhalb des Signalisierungsnetzes wird über Vermittlungsstellen, sog. **Switches**, realisiert. Hinsichtlich der Übertragung von Informationen in Kommunikationsnetzen wird zwischen leitungsvermittelter und paketvermittelter Übertragung unterschieden. **Leitungsvermittelte** Kommunikation (CSD – circuit switched data) bedeutet, dass einer Verbindung zeitweilig ein durchgeschalteter Übertragungskanal mit konstanter Bandbreite exklusiv zugeordnet ist. Diese Technik wird vor allem für die Übertragung von Sprache genutzt. Demgegenüber wird bei **paketvermittelter** Übertragung (PSD – packet switched data) ein Übertragungskanal für mehrere Nachrichtenverbindungen gleichzeitig verwendet. Hierzu wird die Nachricht in einzelne Datenpakete gestückelt und beim Empfänger wieder zusammengesetzt. Daher muss die logische Verbindung bei paketvermittelter Übertragung nur virtuell aufrechterhalten werden. Ein Sendevorgang findet nur statt, wenn Daten tatsächlich übertragen werden sollen. Hier liegt der Grund, warum paketvermittelte Übermittlungstechniken in besonderer Weise zur Übertragung von Daten geeignet sind. Ein weiterer Vorteil ist in der effizienten Auslastung des Netzwerkes und dessen hoher Ausfallsicherheit zu finden. Fällt eine Vermittlungsstation etwa aus, bricht die Verbindung in der Regel nicht ab, da es jederzeit möglich ist, den Datenstrom über eine andere Vermittlungsstation zu leiten, vorausgesetzt, es stehen Redundanzmöglichkeiten und ausreichende Kapazitäten zur Verfügung.

### 3. Bandbreite

Die Leistungsfähigkeit einer Telekommunikationsverbindung bestimmt sich nach der zur Verfügung stehenden Bandbreite. Man unterscheidet die Bandbreite des Frequenzbandes (in Hz) und die Bandbreite, die zur Datenübertragung genutzt werden kann (in kbit/s oder Mbit/s). Die für eine Verbindung zur Verfügung stehende Bandbreite ist entscheidend für die Datenmenge, die über ein bestimmtes Medium in einer bestimmten Zeit übertragen werden kann (**Datenübertragungsrate**). Sie ergibt sich aus Frequenzband und genutztem Übertragungsverfahren. In der Telekommunikationspraxis unterscheidet man zwischen **schmalbandigen** (zB dem analogen Telefonanschluss) und **breitbandigen** Verbindungen. Ab welcher Datenübertragungsrate man von einem **Breitbandanschluss** sprechen kann, unterliegt einer Entwicklung. Der Bedarf an Bandbreite in der Bevölkerung steigt stetig, damit unterliegt auch der Breitbandbegriff einem stetigen Wandel. Die als Grundversorgung zur Verfügung zu stellenden Bandbreiten hat die Bundesnetzagentur in der Verordnung über die Mindestanforderungen für das Recht auf Versorgung mit Telekommunikationsdiensten (TK-Mindestversorgungsverordnung – TKMV) vom 14.6.2022 festgelegt. Diese Verordnung definiert in Umsetzung von § 157 TKG das Mindestangebot an flächendeckend bereitzustellender Telekommunikationsversorgung für eine angemessene soziale und wirtschaftliche Teilhabe. Die TKMV legt für Sprachverbindungen eine Bandbreite von 64 kbit/s fest, für Internetzugang eine Bandbreite von 10 Mbit/s im Download und 1,7 Mbit/s im Upload.

## II. Festnetz

In Deutschland existieren zwei kabelgebundene Kommunikationsnetze: Das fast flächendeckende **Telefonnetz**, das vormalig rein zur Abwicklung von Telefongesprächen konzipiert,

und das vor allem im städtischen und suburbanen Raum ausgebaute **Kabelnetz**, das ursprünglich für die Übertragung von Rundfunk- und Fernsehsignalen ausgelegt war.

### 1. Telefonnetz

- 12 Der Begriff des „Telefonnetzes“ bezeichnet ein Telekommunikationsnetz zur Abwicklung von Telefongesprächen. Aufgrund vormals manueller und heute automatisierter Vermittlungsfunktion, werden klassische Telefonnetze auch unter dem Begriff PSTN (Public Switched Telephone Network) geführt. Das klassische Telefonnetz besteht aus einem Fernnetz aus Glasfaserkabeln (**Backbone**) mit sehr hoher Bandbreite. Von deutschlandweit ca. 8.000 **Hauptverteilern** erfolgt die Vermittlung zu den so genannten **Kabelverzweigern**, den „grauen Kästen am Straßenrand“. Hauptverteiler und Kabelverzweiger sind über ein Hauptkabel miteinander verbunden, das in der Regel aus Kupferdoppeladern besteht. Vom Kabelverzweiger aus gehen Verzweigungskabel dann zu den einzelnen Teilnehmeranschlüssen ab. Ausbau und Unterhaltung des Telefonnetzes erfolgte ursprünglich durch die **Deutsche Bundespost (DBP)** und der aus ihr hervorgegangenen **Deutschen Telekom AG (DTAG)** heute **Telekom Deutschland GmbH (TDG)**. Infolge der Liberalisierung der Telekommunikationsmärkte seit 1998 bieten heute jedoch unzählige andere Anbieter, teils über das Netz der TDG, teils aber auch über eigene Netze, öffentlich zugängliche Telekommunikationsdienste an. Der Abschnitt zwischen Hauptverteiler und Teilnehmeranschluss wird regelmäßig als **Teilnehmeranschlussleitung (TAL)** bezeichnet und beinhaltet damit formal stets noch die Verkabelung innerhalb der Gebäude, obwohl man zwischenzeitlich davon ausgehen kann, dass diese Inhausleitungen nicht zwingend zum Telefonnetz der Telekom Deutschland GmbH gehören,<sup>3</sup> wenn auch Telekom hier anderer Auffassung ist. Das Eigentum an der Inhausleitungen bestimmt sich nach den zivilrechtlichen Regelungen zum Eigentum an Grundstücken und deren Bestandteilen. Bei seit November 2016 errichteten Neubauten sowie seither umfangreich sanierten Gebäuden, musste aufgrund zu jener Zeit eingeführten Anforderungen die Gebäudeverkabelung „hochgeschwindigkeitsfähig“ (so § 77k Abs. 6 TKG iDF v. 4.11.2016) ausgeführt werden. Seit 1.12.2021 muss die Verkabelung für Netze mit sehr hoher Kapazität geeignet sein (siehe jetzt § 145 Abs. 4 und 5 TKG). Daher ist davon auszugehen, dass alle seither installierten Gebäudeverkabelungen den jeweiligen Bauherren gehören bzw. wesentliches Gebäudebestandteil sind. Die über eine Teilnehmeranschlussleitung erzielbaren Datenübertragungsraten hängen in der Regel von der Entfernung des Teilnehmeranschlusses vom Hauptverteiler ab. Je länger der Kupferanteil, dh die Teilnehmeranschlussleitung, desto geringer die erreichbare Datenübertragungsrate.
- 13 Ursprünglich war das deutsche Telefonnetz als analoges Fernsprechnet (**AFeN**) ausgestaltet. Sämtliche Teilnehmer waren über analoge Schmalbandanschlüsse mit dem Netz verbunden. Jenes wurde seit 1980 kontinuierlich zu einem digitalen, diensteintegrierten Universalnetz (Integrated Services Digital Network, **ISDN**) umgebaut, welches neben klassischen Sprachtelefoniediensten recht bald auch die Übertragung anderer Informationen ermöglichte. Heute erfolgen Übertragung, Vermittlung und Signalisierung über das Telefonnetz überwiegend digital. Analoge Verbindungen bestehen allenfalls noch auf Ebene des Teilnehmeranschlusses, sofern der Teilnehmer nicht über einen ISDN-Anschluss verfügt. In diesem Fall wird das analoge Signal des Teilnehmeranschlusses an der Vermittlungsstelle (Switch) in ein digitales Signal übersetzt (sog. **A/D-Wandlung**). Bei ISDN-Teilnehmern findet jener Umwandlungsprozess demgegenüber im Telefon bzw. der ISDN-Anlage selbst statt. Die Informationsübertragung erfolgt sodann vollständig digital.

### 2. Kabelnetz

- 14 Während das Telefonnetz von Anfang an auf die Bereitstellung bidirektionaler Verbindungen ausgerichtet war, war das deutsche Kabelnetz ursprünglich lediglich zur Verteilung von Fernseh- und Radioprogrammen gedacht. Das Kabelnetz ist ein wegegebundenes Breitbandverteilnetz, das physikalisch in aller Regel aus Koaxialkabeln besteht. Ursprünglich

<sup>3</sup> Siehe näher unter Schmittmann MMR 2009, 520; Beck TKG/Geppert TKG § § 145 Rn. 42.

wurde das Kabelnetz in vier Netzebenen unterteilt. **Netzebene 1** beinhaltet die Übermittlung von TV- und Hörfunksendern bis hin zur Kabelkopfstation. Auf **Netzebene 2** wurden die Signale empfangen, aufbereitet und in die regionalen Netze verteilt. Als **Netzebene 3** bezeichnete man die Verteilung innerhalb der Stadtteile, angefangen von der örtlichen Verteilstation bis hin zum Hausanschluss. Auf **Netzebene 4** erfolgte sodann die Verteilung innerhalb der privaten Haushalte, was auch als „**letzte Meile**“ zum Kunden bezeichnet wird. Während die Netzebenen 1–3 vormals im Eigentum der Deutschen Bundespost standen und mit öffentlichen Mitteln betrieben wurden, erfolgte der Ausbau von Netzebene 4 von Anfang an durch private Firmen. Im heutigen Sprachgebrauch umfasst der Begriff der Netzebene 3 die gesamte regionale Signalübermittlung von Kabelkopfstation bis zum Hausanschluss. Die Netzebenen 1 und 2 spielen als eigenständige technische Begriffe nur noch eine untergeordnete Rolle. Im Zuge der Liberalisierung der Telekommunikationsmärkte wurden weite Teile der seinerzeit in den 1980er und 90er Jahren von der damaligen Bundespost errichteten Netzebene 3 an private Betreiber verkauft. Wie dargestellt, war das deutsche Kabelnetz ursprünglich als rein unidirektionales Verteilnetz konzipiert. Über den Einsatz von Glasfaserkabeln und die Veränderung der Kabelkopfstationen ist es jedoch möglich geworden, das Kabelnetz **rückkanalfähig** zu machen. Glasfaserkabel reichen in aller Regel nahe an den Hausanschluss heran. An den Enden der Glasfasern werden übermittelte optische Signale in elektromagnetische Impulse gewandelt, die sodann über Koaxialkabel in die einzelnen Haushalte übertragen werden. Man bezeichnet derartige Netze auch als **HFC-Netze** (Hybrid Fiber Coax). Daher können über Kabelanschlüsse neben Hör- und Rundfunk heute auch Telekommunikationsdienste einschließlich Internet- und Multimediadienste, beispielsweise Video on demand oder interaktive Fernsehinhalte, realisiert werden. Einige Kabelnetzbetreiber ermöglichen ihren Kunden inzwischen Download-Raten von bis zu 400 MBit/s durch den eingesetzten Übertragungsstandard **DOCSIS 3.0**. Der Nachfolger **DOCSIS 3.1** soll dann Gigabit-Raten ermöglichen. Um hier ausreichend Frequenzspektrum zur Verfügung zu haben, um die Bandbreiten auch tatsächlich zu erreichen, haben die Kabelnetzbetreiber inzwischen die analogen TV-Signale in ihren Kabelnetzen abgeschaltet und übertragen Fernsehsignale nur noch digital.

### 3. DSL/ADSL/VDSL/VDSL2

DSL steht für Digital Subscriber Line und beschreibt eine Technik, die es ermöglicht, Daten breitbandig unter Verwendung von Kupferdoppeladern zu übertragen. Die eigentliche DSL-Verbindung wird dabei nur auf der Teilnehmeranschlussleitung zwischen Teilnehmer und Vermittlungsstelle aufgebaut. Voraussetzung einer DSL-Verbindung ist ein DSL-Modem, das digitale Signale in analoge umwandelt und zur Vermittlungsstelle (DSLAM) sendet. Dort wird das analoge Signal durch sog. DSL-Multiplexer redigitalisiert und sodann über ein breitbandiges Backbone-Netzwerk und einen Konzentrator an den Provider gesendet. Über Kupferdoppeladern werden Telefonie (analog oder ISDN) und Datenübertragung parallel realisiert, wobei Sprache und Daten an einem DSLAM – und damit auf der zentralen Seite noch vor dem DSL-Modem des Teilnehmers – durch Einsatz eines Splitters getrennt werden. Hierbei erfolgen Daten- und Gesprächsübertragung auf derart unterschiedlichen Frequenzen, dass gegenseitige Störeffekte auszuschließen sind. Auf diese Weise lassen sich sodann selbst Sprach- und Datenübertragungsleistungen unterschiedlicher Anbieter über ein- und dieselbe Leitung übertragen. (sog. **Line Sharing**). Die erforderliche Hardware der verschiedenen DSL-Anbieters wird in so genannten **Kollokationsräumen** innerhalb der Vermittlungsstellen untergebracht. 15

DSL-spezifisch hohe Datenübertragungsraten werden durch den Einsatz besonderer **Modulationsverfahren** erreicht. Aufgrund der Leitungsdämpfung darf eine Vermittlungsstelle, dh da wo der DSLAM steht, nicht weiter als einige Kilometer vom Teilnehmer entfernt liegen, woraus sich erklärt, warum DSL in vielen ländlichen Regionen bis heute nicht zur Verfügung steht. In der Vergangenheit waren die meisten Teilnehmer-Breitbandanschlüsse im Endkundenbereich sind über **ADSL** (Assymmetric Digital Subscriber Line) realisiert. Assymmetric bedeutet in diesem Zusammenhang, dass in Empfangsrichtung (downlink) aus Teil- 16

nehmersicht deutlich höhere Übertragungsraten erreicht werden als in Sendrichtung (uplink). Der hierzu von seiten der Betreiber zumeist eingesetzte ADSL2+ Standard zeichnet sich dem einfachen DSL-Standard gegenüber dadurch aus, dass über einen ausgedehnten Frequenzbereich höhere Datenübertragungsraten erzielt werden können. Als heutiger wichtigster Standard wird seit einigen Jahren VDSL (Very High Speed Digital Subscriber Line-Technik) am Hauptverteiler eingesetzt. Diese VDSL-Technik erlaubt unter Laborbedingungen Datenübertragungsraten von bis zu 50 Mbit/s (Downstream), die in der Praxis, bedingt durch die Entfernung zwischen Teilnehmeranschlüssen und Hauptverteiler, allerdings oft nicht erreicht werden.

- 17 Im Zuge des Breitbandausbaus in Deutschland wurden Kabelverzweiger vielerorts über Glasfaserkabel angebunden (Fiber To The Curb – FTTC). Aufgrund der im Kabelverzweiger unterzubringenden DSLAM-Technik werden in oder in unmittelbarer Nähe der Kabelverzweiger neue Gehäuse aufgebaut, die bei Telekom Multifunktionsgehäuse heißen.<sup>4</sup> Wurde ein Kabelverzweiger mit Glasfaser erschlossen, besteht auch die Möglichkeit, die Nachfolgetechnik VDSL2 einzusetzen. Diese erzielt zwischenzeitlich verglichen mit VDSL noch einmal deutlich gesteigerte Übertragungsraten. Anders als bei bisherigen DSL-Techniken findet bei VDSL2 die DSL-Vermittlung (DSLAM) nicht mehr an der Ortsvermittlungsstelle sondern direkt am Kabelverzweiger statt. Bei FTTC verkürzt sich damit die Teilnehmeranschlussleitung. Diese umfasst dann lediglich noch den Abschnitt vom Kabelverzweiger bis zum Teilnehmeranschluss (Kvz-TAL). Der besondere Anreiz von VDSL2 liegt insbesondere darin, dass es aufgrund hoher Bandbreiten einen hochqualitativen Empfang von Fernsehhalten über das Telekommunikationsnetz ermöglicht (sog. IPTV).

#### 4. VDSL2-VECTORING

- 18 Die ITU definierte 2010 Vectoring als Übertragungsverfahren, das die Signalübertragung zwischen mehreren in demselben Kabel enthaltenen Leitungen koordiniert, um das Übersprechen zu reduzieren und die Leitungsqualität zu erhöhen.<sup>5</sup> Durch Vectoring kann die Übertragungsrate nochmals deutlich gesteigert werden. Bandbreiten von bis zu 100 Mbit/s lassen sich über die herkömmliche Kupferleitung vom Kabelverzweiger bis in die Haushalte erzielen. Eine besondere Voraussetzung für den Einsatz von VDSL2-Vectoring am Kabelverzweiger ist aufgrund der Nutzung von Frequenzen oberhalb 2,2 MHz, dass dieses Übertragungsverfahren nur von einem Anbieter am Kabelverzweiger eingesetzt werden kann und der Einsatz von VDSL/VDSL2 parallel nicht möglich ist. Würde ein weiterer Anbieter VDSL am selben Kabelverzweiger einsetzen, gingen die Bandbreitengewinne des VDSL2-Vectoring verloren. Aus diesem Grund stellt der Einsatz von VDSL2-Vectoring eine große regulatorische Herausforderung dar.<sup>6</sup>
- 19 Seit 2017 setzen Wettbewerber der Telekom die auf VDSL basierende G.fast-Technologie ein. Diese kann Bandbreiten von bis zu 1 GigaBit/s über die Kupfer-TAL erreichen. G.fast kann dort eingesetzt werden, wo die Kupferteilnehmeranschlussleitung nicht länger als 250m ist<sup>7</sup> also im Bereich des FTTC- und des FTTB-Ausbaus. Auch setzt die Telekom seit 2018 „Super-Vectoring“ ein. Super-Vectoring verwendet mehr Frequenzspektrum als bisher und eine verbesserte Modulationstechnik. Hierdurch sollen Bandbreiten bis zu 250 MBit/s Download, 50 MBit/s Upload möglich sein. Super-Vectoring soll an den Kabelverzweigern eingesetzt werden. Die stetige Entwicklung schafft es somit, dass auf den „alten“ Kupferleitungen (Teilnehmeranschlussleitungen) immer mehr Bandbreite für den Endkunden zur Verfügung steht. Gleichwohl wird die Kupferleitung an ihre Grenzen kommen. Letztlich wird man in Deutschland nicht umhinkommen, den Glasfaserausbau noch näher zum Teilnehmeranschluss zu bringen. Über den FTTC-Ausbau hinaus gelten als zukunftssicher der Ausbau der Glasfasern bis in die Keller der Gebäude (Fiber To The Building – FTTB) und der

<sup>4</sup> Auf Basis der Anordnung der Bundesnetzagentur erhalten Wettbewerber der Telekom Zugang zu diesen Multifunktionsgehäusen Beschl. v. 4.12.2009, BK3 09–051.

Recommendation ITU-T G.993.5: Self-FEXT cancellation (vectoring) for use with VDSL2 transceivers.

<sup>6</sup> Näher unter → § 31 Rn. 5.

<sup>7</sup> [http://www.itu.int/net/pressoffice/press\\_releases/2013/30.aspx#.UwDnKc41W7Q](http://www.itu.int/net/pressoffice/press_releases/2013/30.aspx#.UwDnKc41W7Q).

Ausbau der Glasfaser bis in die Wohnung selbst, dh bis zum Teilnehmeranschluss (**Fiber To The Home – FTTH**). Grenzen hinsichtlich der erreichbaren Datenübertragungsrates werden bei FTTB und FTTC derzeit überwiegend durch die zur Verfügung stehenden Endgeräte und DSLAM-Technik gesetzt. Bei FTTB befindet sich der DSLAM im Keller des Gebäudes. Im FTTB und FTTH Ausbau steht Deutschland derzeit im internationalen Vergleich noch recht weit hinten.<sup>8</sup> Ein Grund hierfür dürften die hohen Ausbaurkosten sein, denn zur Verlegung der Glasfasern bis in die Häuser bzw. Wohnungen sind umfangreiche Tiefbauarbeiten erforderlich. Darüber hinaus lassen sich derzeit die Bandbreitenschwächen der Kupferdoppelader durch Techniken wie VDSL2-Vectoring noch gut überbrücken. Auch setzen die bisherigen Breitbandstrategien der Bundesregierung lediglich Bandbreitenziele statt Infrastrukturziele. Der Ausbau mit Glasfasern bis zum Teilnehmer wird daher auch künftig sehr stark von den Weichenstellungen der Politik und dem regulatorischen Rahmen abhängen. Insbesondere der Einsatz von G.fast wird die infrastrukturenbauenden Unternehmen vor Herausforderungen stellen. Denn aufgrund der hier verwandten noch höheren Frequenzen sind Störungen beim Einsatz unterschiedlicher Techniken vorprogrammiert. Insbesondere wenn bei FTTB eingesetztes G.fast auf am Kabelverzweiger eingesetztes Super-Vectoring trifft. Unter Abwägung der unterschiedlichen Interessen, insbesondere dem Interesse des Schutzes von Investitionen und vor allem dem Interesse langfristig zukunftssichere Glasfasernetze zu errichten, werden hier Regeln zu finden sein.

## 5. Internettelefonie/VoIP

Während in der Vergangenheit das Bemühen darauf gerichtet war, primär auf Sprachübertragung ausgerichtete Telekommunikationsnetze für die Datenübertragung nutzbar zu machen, ist bei der Voice over IP-Technik das genaue Gegenteil der Fall. Voice over IP (kurz VoIP) ist eine Anwendung, die auf dem **TCP/IP-Protokoll** aufsetzt und Sprachtelefonie über das Internet-Protokoll ermöglicht. Als Transportnetz können sowohl das Internet (Internettelefonie) als auch eigene Betreibernetze dienen. Anders als bei der klassischen Festnetztelefonie werden bei VoIP keine Leitungen über Vermittlungsstellen geschaltet. Die Übertragung der Sprache erfolgt **paketvermittelt** im Routing-Verfahren, welches Grundlage jeglicher IP-Kommunikation ist. Die analogen Sprachsignale werden bereits im Endgerät digitalisiert und dann mittels Codecs in Audio-Binärformate codiert bzw. komprimiert, um die zu übertragende Datenmenge zu reduzieren. Sprachübertragung wie Signalisierung erfolgen sodann protokollgestützt. Dabei ist über **Gateways** selbst der Verbindungsaufbau zu Teilnehmern klassischer Telefonnetze realisierbar. Zwar bildet, wie bei jeder IP-Kommunikation, die IP-Adresse die einzige Kennung, unter der ein Teilnehmer eindeutig adressierbar ist. Über das **Session Initiation Protokoll (SIP)** ist es jedoch möglich, die dem Teilnehmer zugeordnete Telefonnummer auch auf einem Server zu hinterlegen und bei jedem Verbindungsaufbau sodann mit der (idR dynamischen) IP-Adresse abzugleichen.

## 6. Interconnection

Um eine Kommunikation zwischen Teilnehmern verschiedener Netzbetreiber zu ermöglichen, ist die Bereitstellung von **Zusammenschaltungsleistungen** erforderlich. Im Fachjargon spricht man insoweit von Interconnection. Grundlage sind Zusammenschaltungsverträge der Netzbetreiber untereinander. Auf ihrer Grundlage ist geregelt, welche Dienste Netzbetreiber zu jeweils welchen finanziellen Konditionen einander zur Verfügung stellen müssen oder dürfen, um den Kunden eine Kommunikation über mehrere Netze hinweg zu ermöglichen.

Die Zusammenschaltung als solche erfolgt dann an mehreren sog. „Orten der Zusammenschaltung“ (OdZ) oder „Points of Interconnection“ (POIs). An jeden POI werden mehrere Interconnection-Anschlüsse (ICA) geschaltet, die über Nutz- und Signalisierungskanäle verfügen. Eine Zusammenschaltung kann aber auch dadurch zustande kommen, dass der

<sup>8</sup> S. beispielhaft den Bericht „Glasfaserwüste: EU-Kommission rügt lahme deutsche Infrastruktur“, v. 29.9.2023, veröffentlicht auf netzpolitik.org, mit Links zu zugrundeliegenden Berichten der EU-Kommission.

Betreiber des Ausgangsnetzes sein Netz mit einem anderen Netzbetreiber und dieser wiederum das seinige mit dem Netz eines weiteren Betreibers, dem des Zielanschlusses, zusammenschaltet (**unmittelbares Transit**). Darüber hinaus ist es technisch möglich, dass der Betreiber des Ausgangsnetzes sein Netz mit einem Drittnetz, in welchem die Terminierung sodann im Wege der Weiterleitung an einen weiteren Netzbetreiber realisiert wird, der nun seinerseits eine Zusammenschaltung mit dem Zielnetz herbeiführt (**mittelbares Transit**). Auch Transitleistungen erfolgen regelmäßig auf Grundlage besonderer Vereinbarungen.

### 7. Netze mit sehr hoher Kapazität

- 23 Im Zuge der Weiterentwicklung der Telekommunikationstechnik kristallisieren sich zunehmend neue Netzstrukturen heraus, welche sich in ihrer zugrunde liegenden Technik deutlich von derzeit vorherrschenden Netzstrukturen unterscheiden. Dabei werden traditionelle leitungsvermittelte Telekommunikationsnetze<sup>9</sup> durch eine einheitliche paketvermittelnde Netzinfrastruktur ersetzt. Es entsteht damit ein paketbasiertes Netz zur Bereitstellung von Telekommunikationsdiensten für Nutzer unter Verwendung vielfältiger breitbandiger, QoS-basierter Transporttechniken, in dem die dienstbezogenen Funktionen unabhängig von den darunterliegenden transportbezogenen Technologien sind. Dieses Netz bietet den Nutzern den uneingeschränkten Zugang zu den Netzen, Diensteanbietern und Diensten ihrer Wahl und unterstützt die allgemeine Mobilität, indem es überall die einheitliche Bereitstellung von Diensten für den Nutzer erlauben wird.<sup>10</sup> Hintergrund ist der Umstand, dass die zunehmende Konvergenz der Medien auch eine Konvergenz der Netze und Dienste nach sich zieht. Dabei drängen vermehrt Kabelnetzbetreiber und Portalanbieter auf den Telekommunikationsmarkt. Umgekehrt drängen Telekommunikationsanbieter über VDSL2+ Standards zunehmend in den Markt klassischer Rundfunkangebote. Gleichwohl gestaltet sich der Einstieg in fremde Märkte vor dem Hintergrund dienstspezifischer Übertragungsmedialer Abhängigkeiten für beide Seiten als schwierig. Eine einheitliche Netzinfrastruktur als gemeinsame Plattform für sämtliche Dienste wäre daher eine echte Erleichterung und würde den Markt an Fahrt gewinnen lassen. Politische Umstrukturierungsprozesse sind insoweit nicht nur in Deutschland im Gange.<sup>11</sup>
- 24 Netze mit sehr hoher Kapazität spielen im Telekommunikationsgesetz (TKG) eine besondere Rolle, da für Ihren Aufbau und Betrieb einige Sonderregelungen gelten. So soll durch Zugang zu passiven Infrastrukturen der Aufbau von Netzen mit sehr hoher Kapazität erleichtert werden (siehe § 136 ff. TKG) und im Rahmen der Zugangs- und Entgeltregulierung finden sich diverse Regelungen, die sicherstellen sollen, dass diese Regulierung nicht investitionshemmend wirkt. Das TKG definiert „Netz mit sehr hoher Kapazität“ als Telekommunikationsnetze, die entweder komplett aus Glasfaserkomponenten zumindest bis zum Verteilerpunkt am Ort der Nutzung bestehen oder zu üblichen Spitzenlastzeiten eine vergleichbare Netzleistung bei Downlink- und Uplink-Bandbreiten, Ausfallsicherheit, fehlerbezogene Parametern, Latenz und Latenzschwankung bieten können. Begriff und Definition sind aus dem Europäischen Kodex für elektronische Kommunikation übernommen. Das Gremium Europäischer Regulierungsstellen für elektronische Kommunikation (GEREK, engl. BEREC) hat zur Konkretisierung Leitlinien veröffentlicht, aus denen sich ergibt, dass Netze mit sehr hoher Kapazität im Downlink eine Geschwindigkeit von mindestens 1000 Mbit/s sowie im Uplink mindestens 200 Mbit/s zur Verfügung stellen müssen.<sup>12</sup>

## III. Mobilfunk

<sup>9</sup> S. Begrifflichkeiten unter → Rn. 9.

<sup>10</sup> Definition der ITU-T Y.2001 12/2004 SERIES Y: GLOBAL INFORMATION INFRASTRUCTURE, INTERNET PROTOCOL ASPECTS AND NEXT-GENERATION NETWORKS – Next Generation Networks – Frameworks and functional architecture models.

<sup>11</sup> Einen guten Überblick bieten beispielsweise Kühling K&R 2008, 351 und Helmes/Schoof/Geppert CR 2008, 419.

<sup>12</sup> BEREC Guidelines on Very High Capacity Networks, BoR (20) 165 v. 1.10.2020.



Mobilfunknetze werden in verschiedene Generationen unterteilt. Die **erste Generation** bezeichnet analoge Netze. Das letzte Mobilfunknetz der ersten Generation, das sog. C-Netz der DeTeMobil, wurde Ende 2000 abgeschaltet. Hintergrund war, dass sich in den 90er Jahren schon digitale Mobilfunknetze der **zweiten Generation** mehr und mehr etablierten. Wichtigster, da weltweit meist verbreiteter Standard ist hier GSM (Global System for Mobile Communication). Waren Netze der zweiten Generation hauptsächlich noch zur leitungsvermittelten Übertragung von Sprache konzipiert, sind Netze der **dritten Generation** (3 G) bereits auf die Vermittlung paketgebündelter Inhalte ausgerichtet. Hierzu zählt UMTS als wichtigster Standard. Zu verdanken ist der Übergang von leitungs- zu paketgebündelter Übertragung allerdings erst dem GPRS-Standard, der mitunter als **2,5te Generation** bezeichnet wird. LTE (**Long Term Evolution**) ist der Nachfolgestandard von UMTS. LTE wird dabei noch der dritten Generation zugeordnet. Der Nachfolger von LTE, **LTE Advanced**, wird dann bereits als **vierte Generation** (4 G) bezeichnet.<sup>13</sup> Als 5. Generation soll 5 G im Bereich der Entwicklung innovativer Dienste dienen (Industrie 4.0, automatisiertes Fahren, Internet der Dinge).<sup>14</sup>

### 1. GSM

Die weltweite Vermarktung des von sieben verschiedenen Mobilfunkbetreibern entwickelten Mobilfunkstandards GSM hat entscheidend zur Verbreitung des Mobilfunks als Massenprodukt beigetragen. GSM war von Anfang an auf die Übertragung von Sprache ausgerichtet – der Übermittlung anderer Informationen, insbesondere der Datenübertragung, wurde bei der Konzeption dieses Standards geringere Bedeutung beigemessen. Gleichwohl ist neben der Sprachtelefonie auch die Übertragung von SMS, Telefaxen und Daten via GSM möglich. Der **Rohdatenstrom** des GSM-Netzes beträgt 271 kbit/s, der über Multiplex-Technologien in acht Kanäle à 34 kbit/s aufgeteilt wird. Freilich kann nicht die gesamte zur Verfügung stehende Bandbreite zur Informationsübertragung genutzt werden, da über sie auch Verwaltungsprotokolle und Fehlerkorrekturen realisiert werden müssen. Für die Sprachübertragung verbleiben daher lediglich 13 kbit/s, für **Fax- und Datenübertragung** noch 9,6 kbit/s und für SMS 160 Zeichen. Um trotz der geringen Datenrate eine angemessene Sprachqualität sicherstellen zu können, werden Sprachinformationen im so genannten LPC-Verfahren (linear predictive coding) komprimiert. Abgesehen von reinen Text-Emails ist eine Nutzung von Internet-Anwendungen auf Basis des GSM-Standards daher kaum möglich. Hinzu kommt, dass die leitungsvermittelte Übertragungstechnik dem Endnutzer für den gesamten Verbindungszeitraum nur eine einzige – nämlich die gleiche (kleine) – Bandbreite zur Verfügung stellt. Für stark schwankende Datenraten, wie sie Internet-Anwendungen eigen sind, ist eine derart unflexible Zuteilung von Übertragungsressourcen ungeeignet. Ausgehend hiervon wurden in der Vergangenheit verschiedene Ansätze entwickelt, die Datenübertragung via GSM zu verbessern. Unter **GSM Phase II** wurde die zur Datenübertragung zur Verfügung stehende Bandbreite von 9,6 kbit/s auf immerhin 14,4 kbit/s erhöht. Da der Rohdatenstrom jedoch unverändert blieb, ging die Erweiterung zu Lasten der Fehlerkorrektur. Unter **HSCSD** wurden zu späterer Zeit mehrere Kanäle zu je 14,4 kbit/s gebündelt. Jene netzbeanspruchungsintensive Technik verursachte jedoch Kosten, die für den Verbrauchermarkt nicht mehr attraktiv waren. Höhere Übertragungsraten bot ferner die **EDGE** (Enhanced Data Rates for GSM Evolution)-Technologie, die sowohl ECSD als auch eine Weiterentwicklung von HSCSD und EGPRS als einen Fortschritt des GPRS-Paketdienstes<sup>15</sup> beinhaltete.

<sup>13</sup> S. TECHBOOK: LTE, 4G und 5G: Die Unterschiede zwischen den Mobilfunkstandards v. 26.1.2023, abrufbar unter <https://www.techbook.de/connectivity/mobilfunk/lte-4g-unterschied-mobil-smartphone>.

<sup>14</sup> S. die Ausführungen dazu in der Entscheidung der Präsidentenkommission der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen v. 26.11.2018 zu Vergabe- und Auktionsregeln zur Vergabe von Frequenzen in den Bereichen 2 GHz und 3,6 GHz, Aktenzeichen: BK1-17/001, ABl. BNetzA 23/2018 S. 2551 ff.

<sup>15</sup> Vgl. hierzu → Rn. 22 ff.

## 2. GPRS

- 27 Angesichts der genannten Schwierigkeiten, auf Grundlage der leitungsvermittelten Übertragung des GSM-Standards eine effektive Datenübertragung zu gewährleisten, wurde jene unter dem Begriff **GPRS** (General Packet Radio Service) zu einem paketorientierten Übertragungsdienst weiterentwickelt. Auch bei GPRS werden mehrere GSM-Kanäle zu Zwecken der Datenübertragung gebündelt. Dank paketvermittelnder Übertragungstechnik führt dies jedoch nicht zur Blockade sämtlicher in Anspruch genommener Kanäle, so dass höhere Datenraten bei gleichzeitig geringerer Netzauslastung erreicht werden können. Gleichzeitig ermöglicht GPRS eine Abrechnung auf Grundlage übertragener Datenvolumina statt anhand von Verbindungszeiten. Je nach Anzahl genutzter Kanäle und verwendeter Coding Schemes lassen sich mit GPRS Datenraten von bis zu 171,2 kbit/s erzielen, dies jedoch allenfalls theoretisch. In der Praxis werden Werte bis zu 55,6 kbit/s erreicht. Ein Anwendungsfall für GPRS ist die Ortung von Fahrzeugen und Objekten, bei der GPRS zur Übertragung von Positions- und Telemetriedaten Verwendung finden kann.

## 3. UMTS

- 28 UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) ist der wichtigste Standard der Mobilfunknetze der Dritten Generation. Gegenüber den bisher dargestellten Standards ermöglicht UMTS deutlich höhere Übertragungsraten von bis zu 2 Mbit/s. Voraussetzung hierfür ist die Bereitstellung von UMTS im so genannten Time Division Duplex-Modus (**TDD-Modus**), der sich dadurch auszeichnet, dass Mobil- und Basisstation zwar im gleichen Frequenzband, allerdings zu unterschiedlichen Zeiten senden. In der Praxis werden so Geschwindigkeiten von durchschnittlich 384 kbit/s im so genannten Frequency Division Duplex-Modus (**FDD-Modus**) erzielt, in dessen Rahmen Mobil- und Basisstation in unterschiedlichen Frequenzbereichen senden. Die Datenübertragung als solche erfolgt bei UMTS grundsätzlich paketorientiert. Anders als im GSM-basierten Übertragungsstandard ist das UMTS-Netz nicht in fest definierte Funkzellen aufgeteilt, innerhalb derer jeweils eine begrenzte Anzahl von Kanälen zu Verfügung steht. Vielmehr wird die zur Verfügung stehende Bandbreite zwischen allen Nutzern aufgeteilt. Eine starke Netzauslastung macht sich daher lediglich durch eine langsamere Übertragungsgeschwindigkeit bemerkbar, eine Verbindung kommt gleichwohl zustande. Im Unterschied zu GSM- und GPRS-Anwendungen sind UMTS-fähige Endgeräte in aller Regel in der Lage, mehrere Datenströme gleichzeitig zu senden bzw. zu empfangen, wodurch es in DSL-vergleichbarer Weise auch möglich wird, zu telefonieren und gleichzeitig im Internet zu surfen. Auch unterscheidet sich UMTS im Vergleich zu GSM ferner in der verwendeten Funktechnologie. Insoweit wird es insbesondere durch den Einsatz von **Wideband-CMDA** möglich, zu sendende Signale stark zu spreizen, so dass diese eine größere Bandbreite einnehmen und weniger störanfällig gegen schmalbandige Störimpulse sind.
- 29 Wesentlich höhere Übertragungsgeschwindigkeiten beim Datenempfang (sog. „Downlink“) sind dem High Speed Downlink Packet Access Überungsverfahren **HSDPA** – auch als UMTS-Broadband vermarktet – zu verdanken. Kern dieser Technik ist sowohl ein verbesserter Scheduler in der Basisstation, der die Datenlast effizienter verteilt, als auch weitere technische Feinessen, die je nach Verbindungsqualität ferner Kanalkodierung und Modulationsverfahren umfassen. Unter Laborbedingungen wurden mit dieser Technik Downlinkraten von bis zu 14,6 mbit/s gemessen. Theoretisch wären damit sogar **Quadruple-Play**-Dienste (Telefonie, Internet, Fernsehen und Mobilfunk)<sup>16</sup> möglich. Gleichwohl werden in der praktischen Anwendung deutlich geringere Downloadraten erzielt. In Deutschland haben Mobilfunkprovider Mitte 2007 mit dem Ausbau von HSUPA-Netzen begonnen. Inzwischen ist UMTS jedoch als Mobilfunktechnik durch neuere Standards (4G/LTE sowie 5G)

---

<sup>16</sup> Hiervon zu unterscheiden sind die zum Teil am Markt bereits beworbenen Quadruple-Play-Angebote, bei denen Internet, (Analog-/ISDN- oder IP-)Telefonie und (IP-)Fernsehen via Festnetz angeboten werden und diese um einen Mobilfunkanschluss im Rahmen eines einheitlich vergüteten Paketangebotes ergänzt werden.

überholt, weswegen die UMTS-Netze in Deutschland auf diese neueren Standards umgerüstet worden sind.

#### 4. LTE (Long Term Evolution)

Um die Vorteile von LTE nutzen zu können, bauen die Mobilfunknetzbetreiber ihre Netze aus. Dafür ist erforderlich, die Basisstationen (Mobilfunktürme) mit Glasfaserleitungen anzubinden. Hierbei mieten die Netzbetreiber Glasfaseranbindungen von Festnetzbetreibern, wenn ein eigener Ausbau nicht sinnvoll erscheint. LTE ermöglicht dann Bandbreiten von mehreren hundert MBit/s. Allerdings reduziert sich die dem Nutzer am Ende tatsächlich zur Verfügung stehende Bandbreite wie bei allen Mobilfunklösungen, wenn sich die Zahl der Nutzer in einer Funkzelle erhöht oder die Entfernung des Nutzers zur Basisstation zu groß wird. Mit LTE advanced sollen noch höhere Datenraten von bis zu 1 GBit/s erreicht werden.<sup>17</sup>

#### 5. 5G

5G betrifft die Frequenzbereiche 700 MHz, 2 GHz, 3,4 GHz bis 3,7 GHz sowie zukünftig auch 24, 25 GHz bis 27,5 GHz. Für lokale Anwendungen in nicht-öffentlichen Netzen, sogenannte Campusnetzen, sind auch Frequenzen von 3,7 bis 3,8 GHz auf Antrag verfügbar. 5G-Netze versprechen mehr Datendurchsatz, Kapazität und sinkende Betriebskosten. Anwendungsfelder sind eMBB (Enhanced Mobile Broadband), eine erweiterte mobile Breitbandverbindung, um Mobilgeräte mit möglichst hohen Datenraten zu versorgen, mMTC (Massive Machine Type Communication), um im „Internet der Dinge“ (IoT) möglichst viele Verbindungen mit eher geringen Datenraten und niedrigem Energieverbrauch zu unterstützen sowie uRLLC (Ultra reliable low latency communications) für zuverlässige Verbindungen mit geringer Latenz, die beispielsweise für autonomes Fahren oder Industrie-Automation benötigt werden.<sup>18</sup> In der ersten Phase des Netzaufbaus greifen die 5G Netze allerdings im Kernnetz noch auf Komponenten der LTE-Netze zurück (sog. **5G-non-standalone**). Das volle Potential kann erst ausgenutzt werden, wenn auch in den Kernnetzen 5G-Technik installiert ist (**5G-standalone**).<sup>19</sup>

### IV. Weitere Funkanwendungen

Neben den unter II. 6. (→ Rn. 21) dargestellten Mobilfunkdiensten gibt es eine Vielzahl weiterer Funkanwendungen für Telekommunikationszwecke. Viele davon werden anders als Mobilfunk nur von überschaubaren Personenkreisen genutzt, sind gleichwohl jedoch hinreichend bedeutsam, dass eine kurze Beschreibung lohnt.

#### 1. WLL

Zur Überbrückung der letzten Meile eines Telekommunikationsnetzwerks können anstelle drahtgebundener Teilnehmeranschlussleitungen auch Funktechniken eingesetzt werden. Anders als Mobilfunknetze, die vornehmlich dem Betrieb mobiler Endgeräte dienen sollen, sind in diesem Zusammenhang angesprochene Funktechniken primär dafür gedacht, ortsfeste Telefon- und Datendienste unter Vermeidung der Installation aufwendiger Kabelinfrastrukturen zu ermöglichen. Eine solche Möglichkeit bietet Wireless Local Loop (WLL). Ist – vor allem in ländlichen Räumen – eine Netzwerkanbindung von Haushalten über Kupferdoppeladern unter wirtschaftlich vertretbarem Aufwand nicht möglich, kann die letzte Meile via WLL überbrückt werden. WLL kann über Punkt-zu-Punkt oder Punkt-zu-Mehrpunkt **Richtfunkstrecken** realisiert werden. In letztgenannter Variante versorgt eine Basisstation

Genug ist nicht genug – LTE Advanced: Was die nächste Mobilfunkgeneration bringt, c't 16/2011, 170.

<sup>18</sup> <https://www.etsi.org/technologies/5g>.

<sup>19</sup> S. den Beitrag „Jetzt kommt das echte 5G“ v. 12.4.2021 bei SPIEGEL-Online (<https://www.spiegel.de/netz-welt/gadgets/5g-standalone-jetzt-kommt-das-echte-5g-a-315ffea9-46a8-464a-a1e1-3f8ffb96a43f>).

mehrere Teilnehmer. Hier kommt ein Mehrfach-Zugriffsverfahren zum Einsatz, so dass alle Kanäle gleichzeitig zur Nutzung zur Verfügung stehen. Neben Anbindungszwecken von Teilnehmern an das Telefonnetz kommt WLL ferner bei DSL- und Kabel-TV-**Breitbanddiensten** zum Einsatz. In Deutschland wurden zu Beginn der Liberalisierung des Telekommunikationsbereichs erhebliche Erwartungen in WLL als Alternative zu Festnetzen gesetzt, die in zwei aufwendige Frequenzvergabeverfahren mündeten. In der Folge wurden diese Erwartungen jedoch nicht erfüllt; WLL blieb eine Nischenanwendung.

## 2. W-LAN

- 34 Der Begriff Wireless LAN (WLAN) bezeichnet ein funkgestütztes lokales Computernetzwerk auf Basis eines IEEE 802.11-Standards. Mit handelsüblichen WLAN-Antennen lassen sich auf freier Fläche 30 bis 100m Strecke überbrücken. In Gebäuden kann die Reichweite je nach Leistungsfähigkeit der eingesetzten Endgeräte bis zu 90m betragen. Mittels WLAN-Technik in Kombination mit Richtfunkantennen lassen sich sogar Reichweiten bis zu 100 km abdecken. Je nach eingesetztem IEEE 802.11-Standard sind Datenübertragungsraten von bis zu 50 MBit/s und mehr möglich. Technisch sind zwei Betriebsarten von WLAN zu unterscheiden: Infrastruktur- Modus und Ad-hoc-Modus. Im **Infrastruktur- Modus** wird eine Basisstation, ein so genannter Wireless Access Point, speziell ausgezeichnet. Dieser koordiniert alle im Netz befindlichen Endgeräte (Netzwerkknotten). Häufig ist ein solches Netzwerk gleichzeitig mit einem drahtgebundenen Computernetzwerk (LAN) per Ethernet verbunden. Demgegenüber kommunizieren im **Ad-hoc Modus** alle Netzwerkknotten gleichwertig miteinander. Eine Kommunikation findet in diesem Betriebsmodus logischerweise jedoch nur zwischen solchen Netzwerkknotten statt, zwischen denen eine aktive Funkverbindung besteht. Die Weiterleitung von Datenpaketen ist nicht angedacht. Neben dem kabellosen Betrieb von Computernetzwerken innerhalb von Haushalten und Unternehmen kommt die WLAN-Technik zur **Anbindung mobiler Endgeräte**, insbesondere Notebooks und Laptops an stark frequentierten Orten wie Flughäfen, Bahnhöfen (LAN), Restaurants oder Hotels an das Internet zum Einsatz. Als Wireless Access Points dienen so genannte **Hotspots**, an denen sich Nutzer, kostenfrei oder gegen Entgelt, spontan mit dem Netzwerk verbinden können. Auch unter Städten und Gemeinden zeichnet sich die Tendenz ab, flächendeckende WLANs anzubieten.<sup>20</sup> Ebenso gibt es Bestrebungen, über die massenweise offene Konfiguration privater Funknetze flächendeckende WLANs als frei verfügbares Allgemeingut („Freie Funknetze“) einzurichten.<sup>21</sup> Diese Idee nutzen Anbieter als Geschäftsmodell und bieten **WLAN-Sharing** an. Hierbei teilen Nutzer ihr heimisches WLAN mit anderen Nutzern und erhalten somit Zugang zum Internet mit Festnetz-Datenübertragungsraten.

## 3. Rundfunkübertragung

- 35 Radio und Fernsehen werden über speziell dafür errichtete Funknetze auf dafür gewidmeten Frequenzen übertragen. Während die öffentliche-rechtlichen Anstalten der ARD hierfür traditionell oft eigene Sendeanlagen auf eigenen Frequenzen nutzen,<sup>22</sup> werden die Programme des ZDF und der privatrechtlich organisierten Anbieter auf Netzen dritter Dienstleister übertragen. Ursprünglich war auf diesem Feld die Bundespost bzw. Telekom aktiv. Anschließend sind diese Aktivitäten nach Ausgliederung auf das Unternehmen Media Broadcast übergegangen, welches inzwischen zu Freenet gehört. Die Umstellung der Fernsehübertragung auf effizientere Digitaltechnik (**analoger Switch-off**) hat dabei beachtliche Mengen an Spektrum freigemacht, die inzwischen für Mobilfunk umgewidmet wurden. Ein weit überwiegender Anteil der Haushalte in Deutschland empfängt Fernsehen nicht mehr terrestrisch, sondern entweder über Kabel oder Satellit (je mehr als 40 % Marktanteil). Als

<sup>20</sup> Die erste deutsche Stadt, die im Jahr 2006 ein flächendeckendes W-LAN probeweise in Betrieb genommen hatte, ist Heidelberg.

<sup>21</sup> Ausführlich hierzu [http://de.wikipedia.org/wiki/Freies\\_Funknetz](http://de.wikipedia.org/wiki/Freies_Funknetz).

<sup>22</sup> Siehe bereits das sog. Fernsehurteil BVerfG 28.2.1961 – 2 BvG 1/60 und 2 BvG 2/60, BVerfGE 12, 205–264.

unerwartet langlebig erwiesen hat sich die analoge Übertragung von UKW-Hörfunk. Der mit dem TKG-2004 in Gesetzesform verfolgte Plan, diese bis Ende 2015 einzustellen, wurde inzwischen wieder aufgegeben.

#### 4. Professionelle Funkanwendungen

Hierunter sind nicht-öffentliche Funkdienste und -netze zu verstehen, die hoheitliche oder unternehmerische Zwecke genutzt werden. Dazu gehören der Betriebsfunk von Unternehmen, Polizeifunk, Funk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (**BOS-Funk**), Bahnfunk, Flugfunk, Binnenschiffahrts- und Seefunk. Für die Einführung digitalen BOS-Funks hat der Bund eine eigene Bundesanstalt errichtet, die ein Netz nach dem internationalen TETRA-Standard errichtet und betreibt. 36

#### 5. Satellitenfunk

Bei der Übertragung von Fernsehprogrammen ist der Einsatz von Satellitenfunk seit den 1990er-Jahren weit verbreitet; mehr als 40 % der Haushalte in Deutschland nutzen dies. Daneben gibt es eine Reihe von Satellitenfunknetzen, über die Telefon- und Datendienste abgewickelt werden. Genutzt wird dies beispielsweise auf hoher See, an abgelegenen Orten ohne Mobilfunkversorgung oder auch für die Fernwartung von Windenergieanlagen, was im Zusammenhang mit dem russischen Angriff auf die Ukraine und einem mutmaßlich damit zusammenhängenden Cyberangriff für Schlagzeilen sorgte.<sup>23</sup> Im gleichen Zusammenhang erlangte das Satellitenfunknetz Starlink größere Bekanntheit, welches durch die ukrainischen Streitkräfte genutzt wird.<sup>24</sup> Die Vergabe von Frequenzen und Orbitpositionen der Satelliten (sog. Raumsegment) erfolgt dabei durch die Internationale Fernmeldeunion (ITU), während nationale Behörden für die Zuteilung von Frequenzen für den Funkverkehr von der Erde Richtung Satellit zuständig sind. 37

---

<sup>23</sup> S. beispielsweise den Bericht „Satelliten-Störung: Tausende Windräder nicht steuerbar“ v. 1.3.2022 auf Heise-Online.

<sup>24</sup> S. den Artikel „Starlink in the Russo-Ukrainian War“ in der englischsprachigen Wikipedia.