

Digitale Infrastrukturen

Technischer Leitfaden Breitbandausbau in Deutschland



April 2021

Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie



Impressum

Digitale Infrastrukturen

Herausgeber:

ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-
und Elektronikindustrie e. V.
Fachverband Kabel und isolierte Drähte
Minoritenstraße 9-11
50667 Köln

Telefon: +49 221 96228-0

Fax: +49 221 96228-15

E-Mail: kabel@zvei.org

www.zvei.org/kabel

Verantwortlich: Sebastian Glatz

In Zusammenarbeit mit:

ZVEI-Fachverband Satellit und Kabel
Lyoner Straße 9
60528 Frankfurt

Telefon: +49 69 6302-219

E-Mail: satellitkabel@zvei.org

www.zvei.org/satellitkabel

April 2021

Trotz größtmöglicher Sorgfalt übernimmt der ZVEI
keine Haftung für den Inhalt. Alle Rechte, insbesondere
die zur Speicherung, Vervielfältigung und Verbreitung,
sowie der Übersetzung sind vorbehalten.

Inhalt

1	Einführung	4
2	Arten von Übertragungsnetzen	5
	2.1. Kabelfernsehnetz	5
	2.2. Telekommunikationsnetz	5
	2.3. Mobilfunknetz	5
	2.4. Satellitenübertragungsnetz	6
3	Kabeltechnologien	7
	3.1. Symmetrische Kupfer-Fernmeldekabel	7
	3.2. Koaxialkabel	8
	3.3. Lichtwellenleitertechnologie (Glasfaser- Technologie)	9
4	Netztechnologien	11
	4.1. Kabelfernsehnetz: DOCSIS 3.1	11
	4.2. Telekommunikationsnetz	12
	4.2.1 Vectoring	12
	4.2.2 FTTH-Netzstrukturen	13
	4.3. 5G als revolutionärer Mobilfunkstandard	15
5	Anforderungen an zukunftsfähige Netze	16
6	Normenverzeichnis	17
7	Glossar	19

1 Einführung

Eine leistungsfähige Infrastruktur, die den Anwender in seinen Chancen nicht aufgrund von technologischen Übertragungslimits einschränkt, ist Voraussetzung dafür, dass Deutschland wettbewerbsfähig bleibt. Dies gilt nicht nur für die Anschlüsse in den privaten Haushalten, sondern insbesondere auch für die Anbindung der Unternehmen und der Industrie. Um digitale Infrastrukturen nachhaltig industrietauglich zu gestalten, müssen die Qualitäts-Anforderungen unbedingt schon heute bei der Planung und Errichtung der Netze berücksichtigt werden.

Damit zukünftige Anwendungen wie Industrie 4.0, Telemedizin oder auch die Vernetzung von Verkehrsmitteln mit ihrer Umgebung (intelligente Mobilität) erfolgreich funktionieren, bedarf es symmetrischer Übertragungsraten und minimalen Latenzzeiten, um beispielsweise Sicherheitsinformationen oder Informationen zum Produktionsstand in Echtzeit zu übermitteln. Zusätzliche Anforderungen an die Netze entstehen durch Mobiles Arbeiten oder Homeoffice sowie Home Schooling, sowie die Nutzung von Streaming-Diensten (z.B. IPTV, Mediatheken, YouTube usw.).

Der Fokus der Politik lag in den vergangenen Jahren vor allem auf den Download-Übertragungsraten – Upload-Geschwindigkeiten wurden nur unzureichend betrachtet. Die Möglichkeiten eines schnellen Datenuploads sind für ein zukunftsfähiges Kommunikationsnetz jedoch genauso wichtig wie hohe Downloadraten. Neben dem Kriterium der Datenübertragungsraten sind auch Kriterien wie Latenz, Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit für leistungsfähige Gigabitnetze der Zukunft entscheidend.

Die Bundesregierung hat als übergeordnetes Ziel bis 2025 einen flächendeckenden Ausbau mit gigabitfähigen Infrastrukturen. „Unser Ziel ist eine gute Anbindung für alle – überall und zu jeder Zeit.“, heißt es auf der

Website der Bundesregierung. Der flächendeckende Ausbau der Glasfasernetze ebnet den Weg in eine wettbewerbsfähige Gigabit-Gesellschaft.

Die Anzahl der vertraglich gebuchten Breitbandanschlüsse stieg bis zum Jahresende 2019 auf insgesamt 35,1 Mio. Bis Ende 2018 wurden insgesamt etwa 46 Mrd. GB von Endkunden genutzt. Dies entsprach pro Anschluss im Durchschnitt einem monatlichen Datenvolumen von ca. 112 GB. Vorläufige Berechnungen prognostizierten bis zum Jahresende 2019 ein Gesamtvolumen von etwa 52 Mrd. GB. Heruntergerechnet auf die einzelnen Breitbandkunden in Festnetzen entspräche dies einem durchschnittlichen Datenverbrauch in Höhe von ca. 124 GB pro Nutzer.

Im Jahr 2020 ist, bedingt durch die Corona Krise, die Nachfrage nach höherwertigen Anschlussprodukten und damit nach mehr Bandbreite, bei Neukunden gestiegen.

2 Arten von Übertragungsnetzen

2.1. Kabelfernsehtnetz

Das Kabelfernsehtnetz (auch Breitband-Kommunikationsnetz genannt) bestand in der Anfangsphase ab 1980 nur aus Koaxialkabeln, die auf Kupferleitern basieren. Ursprünglich wurde das Netz nur für die Übertragung von TV- und Hörfunk-Signalen verlegt. Nachdem die meisten BK-Netze rückkanalfähig gemacht wurden, eröffneten sich neben dem klassischen Fernsehen neue Übertragungsmöglichkeiten wie Triple Play (Telefonie, Internet, Fernsehen). Neben den Telekommunikationsnetzen werden auch Kabelfernsehtnetze zunehmend mit Glasfaserkabeln aufgewertet. So entstehen hybride Netze, eine Kombination aus Glasfaserkabeln und Koaxialkabeln. Im sogenannten HFC-Netz (englisch: Hybrid-Fibre-Coax) ersetzt das Glasfaserkabel Stück für Stück das Koaxialkabel, sodass die Leistungsfähigkeit des Gesamtnetzes erheblich gesteigert wird. Insgesamt wird somit, wie auch im Telekommunikationsnetz, die Glasfaser immer näher an den Kunden gebracht.

2.2. Telekommunikationsnetz

Als älteste Infrastruktur zur Informationsübertragung gilt das alte Telefonnetz der damaligen deutschen Bundespost. Bis zum Jahr 1912 wurden die Fernleitungen für das Fernsprechwesen fast nur über oberirdische Freileitungen hergestellt. Heute sind die meisten Fernmeldekabel unterirdisch verlegt; oberirdische Verlegungsmethoden können in schwer zugänglichen Gebieten eine geeignete Alternative bieten und werden daher aktuell wieder vermehrt betrachtet.

Durch die historische Netztopologie sind die meisten kupferbasierenden Netze geteilte Übertragungsmedien, d.h. Datenübertragungsraten werden von mehreren Nutzern geteilt (shared medium). Heutige Investitionen werden daher vor allem in die Glasfasertechnologie gemacht. Dabei wird die Glasfaser Schritt für Schritt näher zum Kunden gebracht, möglichst bis ins Gebäude. Die Investitionen

in Sachanlagen auf dem Telekommunikationsmarkt betragen 2019 ca. 9,6 Milliarden Euro.

2.3. Mobilfunknetz

Mit Zunahme der mobilen Endgeräte wird Mobilfunk zu einem immer wichtigeren Baustein in der Kommunikationsinfrastruktur. Laut Erhebungen der Bundesnetzagentur wurden Ende 2019 107,2 Mio. SIM-Karten aktiv genutzt. 59,1 Mio. der aktiv genutzten SIM-Karten waren Ende 2019 im LTE-Netz eingesetzt. Dies entspricht einem Anteil von 55 Prozent. Im Vergleich zum Vorjahr (50,5 Mio. Karten) ist der Anteil um 8 Prozentpunkte gestiegen.

Wichtig ist, dass drahtlose Netze auf hochwertigen Breitbandinfrastrukturen, heute meistens auf Glasfasernetzen, basieren. Glasfaserkabel sind die Zulieferinfrastruktur mit der höchstmöglichen Bandbreite auch für Mobilfunkanwendungen.

2019 gab es in Deutschland knapp über 62.500 LTE-Basisstationen. Diese sollten idealerweise mit Glasfaseranschlüssen versehen sein. Die LTE-Netze in Deutschland sind allerdings unter Aufrüstung der existierenden 2G / 3G-Standorte gebaut worden. Neben Glasfaserkabeln kommen häufig auch Richtfunkstrecken zur Anbindung von LTE-Basisstationen zum Einsatz. Aufgrund des steigenden Kapazitätsbedarfs müssen diese Standorte weiter aufgerüstet werden. Für 5G werden Mobilfunkstandorte mit Glasfaseranbindung umgerüstet. Es sind bereits 5G Standorte in Betrieb. Bis Ende 2020 planen die Netzbetreiber, die bei den staatlichen Auktionen Funkfrequenzen erhalten haben, den Aufbau von weit über 10000 Standorten.

Mobilfunk und die leitungsgebundenen Infrastrukturen sind folglich untrennbar miteinander verbunden. Der Mobilfunkstandard LTE sowie in Teilen auch die nächste Generation 5G ermöglichen Breitbandzugang in schwer

zugänglichen Gebieten. Doch kann eine Basisstation nur die Übertragungsgeschwindigkeit aussenden, die bei der Station ankommt. Je besser die leitungsgebundene Infrastruktur zur Basisstation, desto höher ist dementsprechend die Datenübertragungsrate.

Da Mobilfunk ein geteiltes Medium ist, reduziert sich die Datenübertragungsrate mit steigender Anzahl der Nutzer, sofern die Funkzelle nicht ausreichend ausgebaut und angeschlossen ist. Ebenso ist Mobilfunk auf die Reichweite der Funkzelle begrenzt – je weniger Basisstationen oder Verstärker, desto geringer die räumliche Abdeckung.

Der Mobilfunkstandard LTE (4G) kann Daten mit einer Übertragungsgeschwindigkeit von 300 Mbit/s übertragen, LTE Advanced (4.5G) kann Übertragungsraten von 1,2 Gbit/s im Down- und 150 Mbit/s im Upload erreichen. Mit 5G sind in Zukunft 3 bis 10 Gbit/s möglich.

2.4. Satellitenübertragungsnetz

Interaktiv nutzbare Breitband-Übertragungstechniken über Satelliten sind seit vielen Jahren im kommerziellen Bereich unter der Bezeichnung VSAT (Very Small Aperture Terminal) im Einsatz. Durch Fortschritte im technologischen Bereich sowohl bei den Satelliten als auch bei den Teilnehmerstationen, hat die „SAT-Breitband-Übertragung“ auch für Datendienste im Privatbereich und bei kleinen und mittelständischen Unternehmen Einzug erhalten. Hierzu gehören auch der Internet-Zugang und die Telefonie. Satelliten sind beispielsweise in Leistung, Ausleuchtzonen oder Lebensdauer verbessert worden. Bei Teilnehmerstationen konnten bei der Reduzierung

der Antennengröße, durch die Entwicklung von rauscharmen Empfangs- und Sendeumsetzern, oder bei der Reduzierung der Kosten Fortschritte erzielt werden. Für diese Entwicklungen wurde im Bereich der Normung bei ETSI (Europäisches Institut für Telekommunikationsnormen) der Begriff Broadband Satellite Multimedia (BSM) geprägt.

Diese Technik ist eine geeignete Technologie zur Versorgung von Gebieten des ländlichen Raums, die mit anderen Techniken kostenmäßig und zeitnah nicht versorgt werden können. Wobei eine Voraussetzung beim Teilnehmer die freie Sicht zum Satelliten ist (keine Störungen durch Gebäude, Berge, Vegetation usw.). Es stehen heute sowohl Lösungen für den Einzelnutzer als auch Gemeinschaftslösungen für Mehrfamilienhäuser (z. B. für bis zu 24 Teilnehmer) oder ganze Ortsteile (bis zu 1.000 Teilnehmer) zur Verfügung. Bei den Gemeinschaftslösungen werden der Download und Upload über eine zentrale Antenne abgewickelt. Die Verbindung zu den einzelnen Teilnehmern erfolgt meist über WLAN-Systeme. Wie bei Datendiensten in den meisten kupferbasierenden Kabelnetzen, teilt sich auch bei BSM die Übertragungskapazität auf die jeweils aktiven Teilnehmer auf. Technisch sind maximale Datenübertragungsraten von bis zu 20 Mbit/s im Download und von bis zu 4 Mbit/s im Upload möglich.

Bei BSM tritt eine relativ lange Signallaufzeit zwischen der Bodenstation und dem Teilnehmerterminal auf, die, ohne zusätzliche Aufbereitungszeiten, im Bereich von 250 Millisekunden liegt. Dies kann sich bei allen Echtzeitanwendungen negativ auswirken.

3 Kabeltechnologien

3.1. Symmetrische Kupfer-Fernmeldekabel

Ein Kupfer-Fernmeldekabel besteht üblicherweise aus zwei Kupferdoppeladern, welche zu Grundbündeln (in Zehnerbündeln) zusammengefasst werden und wiederum zu Hauptbündeln mit 50 oder 100 Doppeladern verseilt werden. Ein Hauptkabel kann bis zu 2000 Doppeladern enthalten. Fernmeldekabel werden abwärtskompatibel entwickelt, um spätere Entwicklungen berücksichtigen zu können. Sie können so mit bestehenden, älteren Netzwerkkomponenten kombiniert werden. Kupfer-Fernmeldekabel werden sowohl als Außenkabel für die Anwendungen xDSL und VDSL, Orts- oder Weitverkehrskabel, als auch für Anwendungen im Inhaus-Bereich eingesetzt.

Als Querwasserschutz (sog. Querdichtigkeit) wird der sogenannte Schichtenmantel eingesetzt, der aus einer beschichteten Aluminiumfolie und dem Kunststoffmantel besteht; so entsteht ein wirkungsvoller Diffusionsschutz und statischer Schirm. Vor allem als Außenkabel muss der Längswasserschutz sichergestellt werden. Durch eine hydrophobe Sonderfüllmasse wird ein Ausbreiten von Feuchtigkeit in Längsrichtung bei einem beschädigten Kabel verhindert.

Entscheidend bei der Auswahl von Fernmeldekabeln ist die Signal-Reichweite. Kabel mit niedrigen Betriebskapazitäten (kapazitive Blindleistung einer Leitung) gewährleisten dabei größere räumliche Reichweiten. Zusätzlich bietet ein hoher Frequenzbereich eine höhere Datenübertragungsgeschwindigkeit. Ein entscheidendes Kriterium zur Ermittlung der räumlichen Reichweite ist bei Kupfer-Fernmeldekabeln die Nebensprechdämpfung, welche die gegenseitige Beeinflussung

von Fernmeldestromkreisen bei Bündeladern beschreibt. Die durch Nebensprechen entstehende Störung wird dabei durch das logarithmierte Verhältnis (in dB) der Nutzleistung zur Störleistung am Ausgang der gestörten Leitung beurteilt. Es gilt also, je geringer das Nebensprechen – also je höher die Nebensprechdämpfung – desto besser ist die Übertragung. Die Nebensprechdämpfung kann durch geeignete Aderschirmung erhöht werden. Bei der Beurteilung des Nebensprechens kann auf die Norm DIN EN 50289-1-10:2002-07 zurückgegriffen werden.

Abb. 1: Kupfer-Fernmeldekabel in unterschiedlichen Ausführungen



Normen	
Nebensprechen	DIN EN 50289-1-10:2002-07

3.2. Koaxialkabel

Für den Empfang von TV- und Satellitensignalen beim Empfänger werden koaxiale Hochfrequenz-Kabel (HF-Kabel) eingesetzt. Anstelle der Nebensprechdämpfung bei symmetrischen Kabeln ist bei Koaxialkabeln die Schirmwirkung ein wesentlicher Qualitätsparameter, mit dem die EMV (Elektromagnetische Verträglichkeit) Eigenschaften in Form der Abstrahl- und Einstrahlcharakteristik beschrieben wird. Konstruktionsbedingt ist der Frequenzbereich zur Übertragung von Nutzsignalen gegenüber Kupfer-Fernmeldekabeln wesentlich größer.

Für geringe Störungen ist eine möglichst hohe Schirmung von Koaxialkabeln von entscheidender Bedeutung. Nach DIN EN 50117 sind Produkte der Klasse A bzw. der höherwertigen Klassen A+ oder A++ zu empfehlen.

Die Schirmwirkung eines Koaxialkabels wird frequenzabhängig durch zwei unterschiedliche Eigenschaften beschrieben:

- Schirmdämpfung ab ca. 30 MHz (in dB), längenunabhängig,
- Kopplungswiderstand bis ca. 30 MHz (in mOhm/m), längenabhängig.

Diese beiden Komponenten basieren auf unterschiedlichen physikalischen Gegebenheiten und erfordern ein konstruktiv entsprechend ausgelegtes Kabeldesign. Kabel mit guten Schirmdämpfungswerten können einen ungenügenden Kopplungswiderstand aufweisen und umgekehrt. Während die Schirmdämpfung unabhängig von der Länge ist, steigt der Kopplungswiderstand mit zunehmender Kabellänge – dadurch reduziert sich die Schirmwirkung bzw. die, unter Einhaltung der Störfeld-Grenzwerte, nutzbare maximale Übertragungslänge bzw. der Signalpegel.

Abb. 2: Koaxialkabel, BK-Verteiler- und Linienkabel, in Breitbandkommunikationsnetzen



Anforderungen an die Schirmwirkung koaxialer Kabel werden in der Normenreihe DIN EN 50117-m-n (siehe Normenverzeichnis) wiedergegeben. Durch die Einteilung in Schirmungsklassen von A++ (sehr gute Schirmwirkung) bis B (mittlere Schirmwirkung) ist eine einfache Qualifizierung der Produkte möglich.

Normen	
Anforderungen an die Schirmwirkung	EN 50117-m-n

3.3. Lichtwellenleitertechnologie (Glasfaser-Technologie)

Anders als bei den zuvor beschriebenen Technologien, die auf der elektrischen Signalübertragung über eine Kupferader basieren, bedient sich die Lichtwellenleiter-Technologie (LWL-Technologie) der Datenübertragung durch Licht im Wellenlängenbereich von 1310 nm bis 1625 nm.

Die als Lichtwellenleiter bezeichneten Glasfasern bestehen im Inneren aus einem Kern und einem umgebenden Mantel mit etwas niedrigerem Brechungsindex. Die Lichtführung erfolgt im Kern. Die aus Glas bestehenden Elemente (Kern und Mantel) werden durch zwei Schichten Acrylat geschützt. Diese Beschichtung verleiht der Faser eine erhöhte mechanische Belastbarkeit und bietet einen ersten Schutz gegen Umwelteinflüsse, wie z.B. Feuchtigkeit oder mechanische Beschädigung.

Für die Verwendung von Glasfasern in Breitbandnetzen werden die Fasern in Bündeladern zusammengefasst (2-24 Fasern). Diese können zu mehreren zusammengefasst werden, sodass Kabelkonstruktionen von beispielsweise 864 Fasern oder mehr möglich sind.

Ein Vorteil sind geringere Durchmesser und Gewichte. Hochfaserige Kabel mit geringem Kabeldurchmesser ermöglichen eine optimale Nutzung vorhandener Infrastrukturen. Zum Beispiel können 864 Glasfasern in einem weniger als daumendicken Kabel Platz finden. Dies gelingt durch die Reduzierung des Durchmessers der Beschichtung der Fasern. Wenn beispielsweise ein Haushalt mit jeweils zwei Glasfasern angeschlossen wird, können mit einem daumendicken Kabel 432 Haushalte angeschlossen werden.

Lichtwellenleiterkabel (LWL-Kabel) können je nach Verlegungsmethode und Verlegeort (Erdkabel, Luftkabel, Mikrokabel) dimensioniert werden. So benötigen z. B. Kabel, die eingeblasen und nicht eingezogen werden, eine deutlich

geringere Zugfestigkeit. Es sind Materialien verfügbar, die den Einsatz von LWL-Kabeln in den unterschiedlichen Infrastrukturen (z.B. Gas-, oder Abwassersysteme) ermöglichen.

Abb. 3: A-DQ2Y 12x12-mini-0218 LWL-Kabel, Außenkabel, 144 Fasern



Abb. 4: A-DQ(ZN)B2Y 1xnE9/125 oder G50/125 Zentralbündelkabel, Außenverlegung, bis zu 24 Lichtwellenleiter



Im Gegensatz zu Kupferkabeln gibt es bei LWL-Kabeln keine Signalbeeinflussung von benachbarten Fasern und keine Beeinflussung durch elektromagnetische Störfelder. Damit sind LWL-Kabel auch zur Mitverlegung in spannungsführenden Trassen, wie etwa im Energieübertragungsnetz, geeignet. Durch die Verwendung von optischen Signalen kann von Lichtwellenleiterkabeln kein Elektro-Smog ausgehen.

Normale Glasfasern besitzen eine gewisse Biegeempfindlichkeit, die Einschränkungen in der Verlegung mit sich bringt. Spezielle Innenkabel, weisen jedoch eine Kabelkonstruktion auf, die scharfe Knick „dämpft“. Diese Technologie, in Verbindung mit, biegeunempfindlichen Glasfasern, ermöglicht Biegeradien von bis zu 2,5 mm; so ist das LWL-Kabel hinsichtlich seines Biegeradius mit einem Kupferkabel vergleichbar.

Diese Art LWL-Kabel sind somit eher biegeunempfindlich. Die Biegeunempfindlichkeit der Glasfasern ist neben anderen entscheidenden

Anforderungen an die Fasern in der DIN EN 60793-2-Serie: Lichtwellenleiter definiert. Grundlegende Prüfverfahren für LWL-Kabel und zur Umweltprüfung sind in der Nor-

menreihe DIN EN 60794 zu finden. Die DIN VDE 0800-173-100 ermöglicht eine Klassifizierung von anwendungsneutralen Übertragungsstrecken mit Lichtwellenleitern.

Normen	
Biegeunempfindlichkeit von Glasfasern	DIN EN 60793-2-Serie
Prüfverfahren (u.a. Umweltprüfung)	Normenreihe DIN EN 60794
Klassifizierung von anwendungsneutralen Übertragungsstrecken	DIN VDE 0800-173-100

4 Netztechnologien

4.1. Kabelfernsehnnetz:

DOCSIS 3.1

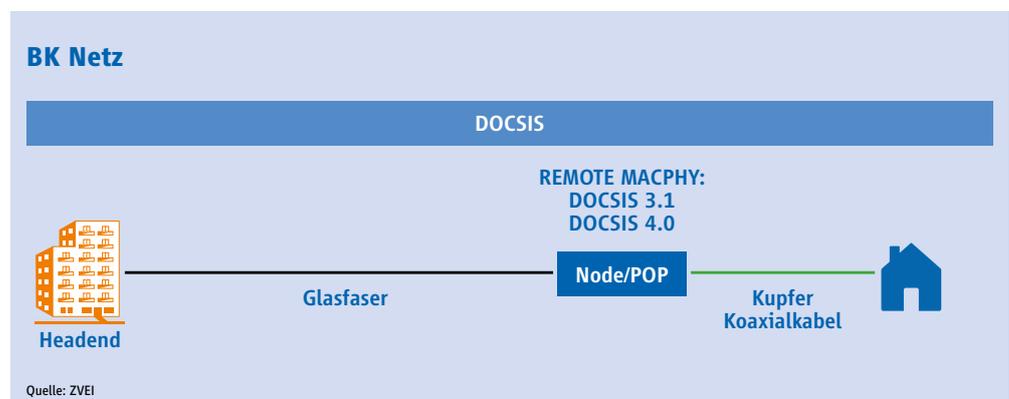
Mit dem Übertragungsstandard DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification), einer Spezifikation für Datenübertragung in Koaxialkabel basierenden Kabelfernsehnnetzen, konnten diese aufgewertet werden. Durch die ständige Weiterentwicklung des DOCSIS-Standards und den Umbau in Hybrid-Fibre-Coax-Netze können im BK Netz immer höhere Datenmengen übertragen werden.

Zum Jahresende 2019 konnten in den ca. 20 Mio. Kabelfernseh-Haushalten Bandbreiten bis 1000 Mbit/s genutzt werden, wovon über 4,9 Mio. Anschlüsse auf nachgefragte Bandbreiten ab 100 Mbit/s entfielen. Der Zuwachs im Vergleich zum Vorjahr lag bei rund 300.000 Anschlüssen.

Durch die parallele Nutzung durch sehr viele Kunden (geteiltes Medium), stößt auch das HFC-Netz auf technologisch bedingte Kapazitätsengpässe: je mehr Nutzer auf das HFC-Netz zugreifen, desto geringer ist die zur Verfügung stehende Bandbreite pro Teilnehmer. Um den Teilnehmer Anschlüsse mit hohen Datenraten zur Verfügung zu stellen, werden die Netzcluster von den

Netzbetreibern immer weiter verkleinert und somit die jeweiligen Nutzer reduziert. Die Übertragung von Daten wird durch den Einsatz von Channel Bonding und neue Modulationsverfahren erweitert. In DOCSIS 3.1 Netzen können Downloadraten von bis zu 10 Gbit/s und Uploadraten von bis zu 1 Gbit/s erreicht werden. Bei DOCSIS 4.0 werden zukünftig durch eine nochmalige Erweiterung des Frequenzbereiches (ESD; Extended Spectrum DOCSIS) sowie durch den so genannten Full-Duplex-Modus wesentlich höhere Datenraten erreicht, nämlich bis zu 15 Gbit/s im Downstream und bis zu 6 Gbit/s im Upstream.

In einem weiteren Ansatz wird in der Entwicklung mit Hilfe von DCA (Distributed CCAP Architecture) versucht die Netzebene 4 aufzurüsten. Um höhere Datenübertragungsraten zu ermöglichen können Koaxialkabel mit Hilfe von aktiver Technik aufgewertet werden. Koaxialkabel bieten eine hohe Störsicherheit und entfernungsunabhängige, stabile und hohe Datenraten. Wobei eine entsprechend gute Schirmung notwendig ist. DCA erreicht daher vergleichbare Werte wie FTTH.



4.2. Telekommunikationsnetz

Um den Breitbandausbau im TK Netz voranzutreiben, werden mehrere technologische Lösungen eingesetzt: VDSL, Vectoring, FTTC (Fibre-to-the-Curb/Cabinet), FTTB (Fibre-to-the-Building) und FTTH (Fibre-to-the-Home). Die Technologien unterscheiden sich im Wesentlichen vom eingesetzten Übertragungsmedium und dem Anteil der Strecke der Glasfaser. Während VDSL und Vectoring auf dem Übertragungsmedium Kupfer basieren und nur teilweise Glasfaser nutzen, wird bei FTTH der Glasfaseranschluss bis in die Wohneinheit verlegt. Bei den verschiedenen Technologien gilt, je höher der Glasfaseranteil, desto höher ist die beim Nutzer ankommende Bandbreite. Die FTTH-Technologie ist die einzige Technologie, die durchgängig das Übertragungsmedium Glasfaser bis zum Teilnehmer nutzt und kann somit symmetrische Höchstbandbreiten von 1Gbit/s und mehr bieten, die zudem geringe Latenzen und hohe Stabilität bietet.

Bis zum Jahresende 2019 stieg die Verbreitung der Zugangsvarianten FTTB und FTTH auf zusammen rund 1,4 Mio. aktive Anschlüsse und erhöhte sich somit im Vergleich zum Vorjahr um 300.000.

4.2.1 Vectoring

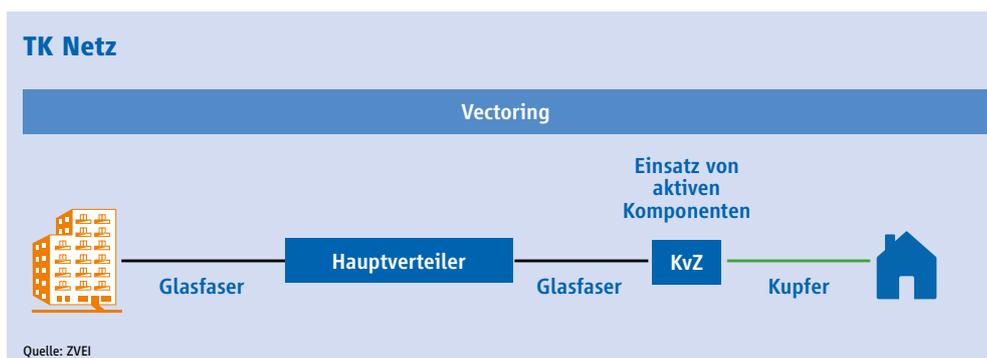
Für die VDSL-Technologie (Very High Speed Digital Subscriber Line) wird das TK-Netz bis zum Kabelverzweiger mit Glasfaser-Technologie ausgebaut. Auf der letzten Meile zum Kunden wird die bestehende Kupferleitung genutzt.

Hinter dem Begriff Vectoring verbirgt sich die Weiterentwicklung der VDSL-Technologie. Genau wie bei der VDSL-Technologie werden die Datenströme von der Vermittlungsstelle zum Kabelverzweiger (KVz) über eine Glasfaserleitung transportiert (Fibre-to-the-Curb/FTTC). Im Kabelverzweiger/Multifunktionsgehäuse (MFG) erfolgt die Umwandlung des optischen Signals, mittels DSLAMs oder MSANs, in ein elektrisches Signal für die Übertragung über das bestehende Kupferkabel.

Insgesamt wird beim Vectoring durch den Einsatz von aktiven Komponenten die Leistungsfähigkeit von bereits vorhandenen Kupferleitungen erhöht. Ein zusätzlicher Infrastrukturaufbau ist nicht nötig.

Der Vorteil beim Vectoring: Die Infrastrukturaufwertungskosten sind zuerst geringer als beim kompletten Glasfaserausbau mit einem Anschluss bis in das Gebäude und die Erhöhung der Bandbreite ist schneller realisierbar. Es können bis zu 100 Mbit/s Download über 500 Meter Entfernung erreicht werden.

Ein Nachteil der Vectoring-Technologie ist die limitierte Bandbreite, die bei etwa 100 Mbit/s Download und 40 Mbit/s Upload liegt. Es ist somit nur eine Brückentechnologie hin zum Gigabitnetz. Die Übertragungsraten nehmen mit der Entfernung der Teilnehmer zum KVz ab, was insbesondere in ländlichen Gebieten problematisch sein kann. Liegt die Entfernung bei über 1,2 km, kann die Vectoring Technologie nicht mehr eingesetzt werden.



Bei G.fast handelt sich um den Nachfolgestandard von VDSL2. Die Abkürzung steht für „fast access to subscriber terminals“ oder ins Deutsche übersetzt „schneller Zugang zu Kundenendgeräten“. Technisch liegen bei G.fast die FTTB- oder FTThp (Fibre to the Distribution Point)-Architektur mit per Glasfaser angebundenen Übergabepunkten zugrunde. Überbrückt wird zwischen den Gebäudeverteilpunkt bis zur Wohnung des Kunden mit Kupferdoppeladern und G.fast. Es können Datenübertragungsraten von einem bis zu zwei Gigabit pro Sekunde auf den Kupferdoppeladern erreicht werden.

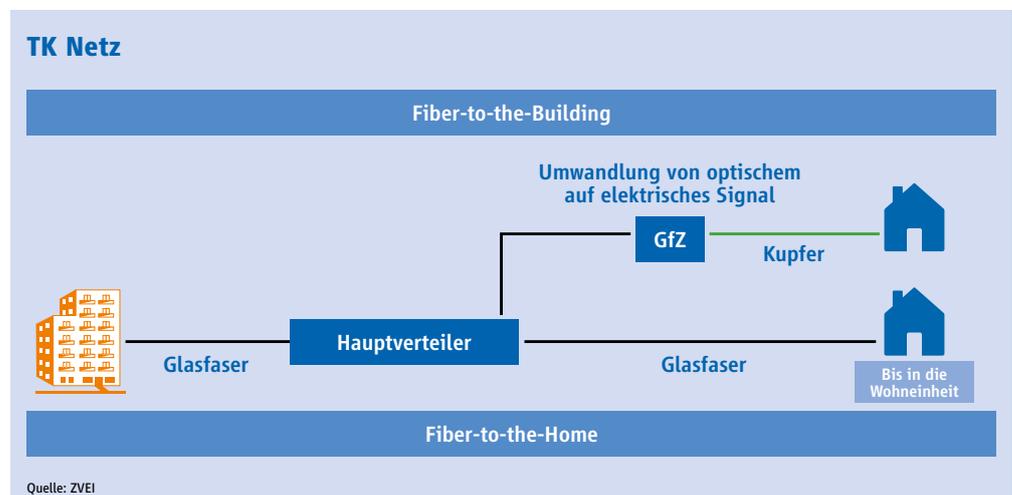
4.2.2 FTTH- Netzstrukturen

Grundsätzlich können für FTTH verschiedene Glasfaserverteilnetzwerke zum Einsatz kommen. Nutzbar sind Glasfasersternetze ohne Verteiltechnik, AONs mit aktiver Verteiltechnik (Active Optical Network) PONs mit passiver Verteiltechnik (Passive Optical Network). In Deutschland kommt überwiegend passive optische Netzwerktechnik in Form von GPON für FTTH zum Einsatz.

Das Passive Optical Networks besteht aus verschiedenen Komponenten. Diese sind im Wesentlichen das Optical Line Terminal in der Vermittlungsstelle (OLT), der optische Splitter als Verteilelement in einer Schaltstelle und die Optical Network Termination

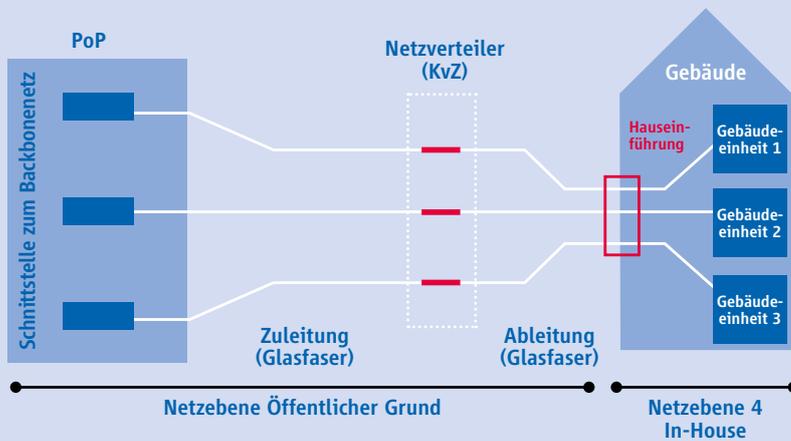
(ONT) als Abschluss beim Kunden. Am Übergang zwischen dem optischen Verteilnetz und dem Backbone-Netzwerk kommt das OLT zum Einsatz. Die OLT sind mit den optischen Splintern über die Glasfaser an den Verteilstellen verbunden. Die physikalische Aufteilung der Signale auf die einzelnen Glasfaserleitungen zum Kunden wird durch die passiven Splitter möglich. Die Verteilverhältnisse liegen im Bereich 1:16, 1:32 oder 1:64.

Bei der Unterscheidung zwischen Punkt-zu-Punkt- und Punkt-zu-Mehrpunkt PONS werden entweder die Teilnehmer einzeln über eigene Glasfasern an dem OLT der Vermittlungsstelle angeschlossen (Punkt-zu-Punkt-PON), oder jeder Teilnehmer hat Glasfaserkabel von seinem ONT bis zur nächsten Schaltstelle und von dort führt eine gemeinsame Glasfaser für mehrere Anschlüsse zum OLT (Punkt-zu-Mehrpunkt PONS).



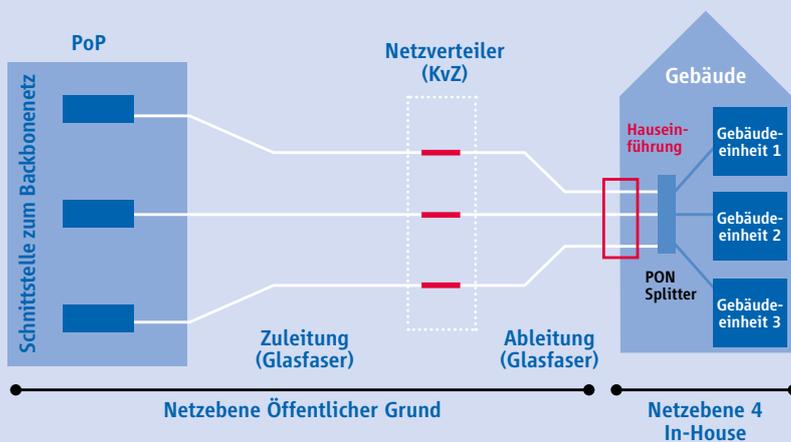
Grundschemata

PtP-Point-to-Point



Quelle: ZVEI

PtP-Point-to-Multipoint



Quelle: ZVEI

4.3. 5G als revolutionärer Mobilfunkstandard

5G ist keine evolutionäre Weiterentwicklung von 4G, wie dies noch in Bezug auf 3G war, sondern eine revolutionäre Weiterentwicklung der Komponenten und Infrastrukturanforderungen.

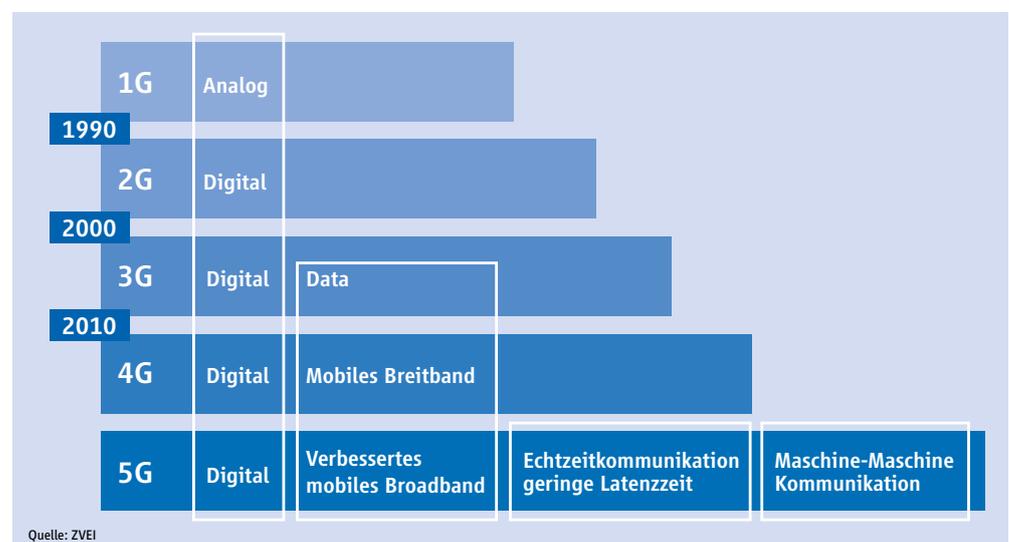
Im Vergleich zum Übertragungsstandard 4G (auch LTE genannt) wird für die flächendeckende Versorgung mit dem neuen Übertragungsstandard 5G eine starke Verdichtung der Funkzellen und damit der Standorte nötig sein, um ein Netz zu schaffen, das den zukünftigen Anforderungen der mobilen Versorgung genügt. Neben den weiter benötigten Dachstandorten wird insbesondere die kleinzellige Netzarchitektur weiter ausgebaut. Die Standorte werden sich optisch und auch in ihrer Leistungsfähigkeit deutlich von den bisherigen Standorten unterscheiden. Eine Anbindung der Mobilfunkstandorte durch Glasfaserkabel ist für eine flächendeckendes Angebot des Übertragungsstandards 5G notwendig. Trotz der Ablösung der 4G Technik durch die für 5G notwendige neue aktive Technik, können vorhandene Antennenstandorte, sofern sie an Glasfaser angebunden sind, weiter genutzt werden. Bei 5G müssen die Antennenstandorte zwingend an eine Glasfaserinfrastruktur

angebunden werden, bei 4G war dies nicht zwingend notwendig.

Bei der Planung von Festnetzprojekten ist ein Umdenken notwendig, um den Ausbau von 5G Netzen zu erleichtern. Dies kann durch die Anbindung zusätzlicher Standorte mit Glasfaser oder durch die Schaffung von Bauraum den Versorgungsstrukturen (z.B. Verteilerkästen) geschehen.

Es sind bereits 5G Standorte in Betrieb. Bis Ende 2020 planen die Netzbetreiber, die bei den staatlichen Auktionen Funkfrequenzen erhalten haben, den Aufbau von weit über 10000 Standorten in Deutschland.

5G wird neben höheren Datenraten im Up- und Downstream, eine hohe Verfügbarkeit und Ausfallsicherheit und deutlich geringere Latenzzeit, sowie eine hohe Energieeffizienz der Endgeräte ermöglichen. Eine geringe Latenzzeit ist die Voraussetzungen für Echtzeitanwendungen. Für die Elektrotechnik- und Elektronikindustrie ist dieser technische Fortschritt unter anderem in den Bereichen: Intelligente Verkehrssysteme und autonomes Fahren, Industrie 4.0, Automatisierungsprozesse und E-Health (Telemedizin) von großer Bedeutung.



5 Anforderungen an zukunftsfähige Netze

Infrastrukturen können nur zukunftsfähig sein, wenn sie richtig geplant und qualitativ hochwertig gebaut werden. Neben dem Qualitätsgedanken müssen vor allem die Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit der Netze im Vordergrund stehen.

Die Auswahl geeigneter Kabel und Komponenten muss zum geplanten Anwendungsfall passen. In den relevanten Normen ist hinterlegt, was beachtet werden sollte, um die Qualität zu gewährleisten. Grundsätzlich sind für alle Verlegearten beim Breitbandausbau passende Kabel verfügbar.

Die Anforderungen an die verwendeten Kabel und Komponenten unterscheiden sich je nach Verlegetechnologie und Umgebungsbedingungen bei der Verlegung. So stehen beispielsweise Kabel mit Korrosionsschutz, Nagetierschutz, Blitzschutz und Insektenschutz zur Verfügung. Die Oberirdische Verlegung, insbesondere von Glasfaserkabeln, mit Hilfe von Masten ist eine alternative Verlegemethode, die sich besonders für die Anbindung ländlicher Räume anbietet. Eine oberirdische Linie beginnt am Übergang einer unterirdischen Kabelanlage auf eine oberirdische Kabelanlage und endet am Übergang in eine unterirdischen Kabelanlage oder an einer Abschlusseinrichtung in oder am Gebäude. Da vorhandene Trägerstrukturen, z.B. Freileitungen an Holzmasten, genutzt werden können, ist eine schnelle und im Vergleich kostengünstige Verlegung möglich. Diese Verlegemethode wird weltweit erfolgreich angewendet. Die hierzu geeigneten Glasfaserkabel sind auf Beanspruchung beispielsweise durch die Witterungs- aber vor allem auch extreme Wetterbedingungen ausgelegt.

Generell gilt: In den jeweiligen Produktnormen für Kabel und andere Komponenten sind Mindestanforderungen beschrieben, die eine ausreichende Produktqualität sicherstellen. Bei Nichtberücksichtigung von Mindestanfor-

derungen können im Betrieb beispielsweise Defekte durch mechanische Beanspruchung oder auch mangelnde Übertragungsqualität durch unzureichende Schirmung auftreten. Für zukunftssichere und nachhaltige Investitionen in die Infrastruktur kann die Auswahl von höherwertigen Produkten sinnvoll sein.

Auf Qualität ist nicht nur bei Kabel und Komponenten zu achten. Auch die Verlegung und Installation muss fachgerecht erfolgen, um leistungsfähige Netze zu realisieren. Gleichzeitig gilt, dass normkonforme Produkte durch ihre Standardisierung damit schneller und sicherer verarbeitbar sind.

Um die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands - auch international - zu gewährleisten ist eine nachhaltige und zukunftsfähige Infrastruktur unabdingbar.

Anforderungen an zukunftsfähige Netze:

- Um digitale Infrastrukturen nachhaltig industrietauglich zu gestalten, müssen die Qualitäts- und Übertragungs-Anforderungen bereits bei der Planung und Errichtung der Netze berücksichtigt werden.
- Der Breitbandausbau kann nur mit qualitativ hochwertigen Komponenten und fachgerechter Installation nachhaltig gestaltet werden und somit eine wartungsarme sowie ausfallsichere Kommunikationsinfrastruktur gewährleisten.
- Zukunftsfähige Gigabitnetze müssen neben hohen Up- und Downloadraten auch geringe Latenzzeiten, Stabilität und Sicherheit bieten.
- Neben den Investitionskosten müssen die Lebenszykluskosten eines Netzes betrachtet werden, auch, um der Nachhaltigkeit gerecht zu werden.
- Bei der Auswahl der Kabel und Komponenten müssen die Normen beachtet werden, um Qualität zu gewährleisten.

6 Normenverzeichnis

DIN EN 50117-1:2020-03; VDE 0887-1:2020-03: Koaxialkabel - Teil 1: Fachgrundspezifikation; Deutsche Fassung EN 50117-1:2019

DIN EN 50289-1-10:2002-07: Kommunikationskabel - Spezifikationen für Prüfverfahren - Teil 1-10: Elektrische Prüfverfahren; Nebensprechen, Dokumentart: Norm, gültig, Ausgabedatum: 2002-07

DIN EN 50700 VDE 0800-700:2014-05 Informationstechnik: Standortverkabelung als Teil des optischen Zugangsnetzes von optischen Breitbandnetzen; Deutsche Fassung EN 50700:2014 Art/Status: Norm, gültig, Ausgabedatum: 2014-05

DIN EN 60529:2014-09; VDE 0470-1:2014-09 VDE 0470-1:2014-09: Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code) (IEC 60529:1989 + A1:1999 + A2:2013); Deutsche Fassung EN 60529:1991 + A1:2000 + A2:2013

DIN EN IEC 60793-2-10:2020-04; VDE 0888-321:2020-04 Lichtwellenleiter - Teil 2-10: Produktspezifikationen - Rahmenspezifikation für Mehrmodenfasern der Kategorie A1 (IEC 60793-2-10:2019); Deutsche Fassung EN IEC 60793-2-10:2019

DIN EN IEC 60794-1-22:2019-05; VDE 0888-100-22:2019-05 Lichtwellenleiterkabel - Teil 1-22: Fachgrundspezifikation - Grundlegende Prüfverfahren für Lichtwellenleiterkabel - Umweltprüfverfahren (IEC 60794-1-22:2017); Deutsche Fassung EN IEC 60794-1-22:2018

Reihe DIN EN 50117-m-n

DIN EN 50117-9-1:2019-09; VDE 0887-9-1:2019-09: Koaxialkabel - Teil 9-1: Rahmenspezifikation für Koaxialkabel für analoge und digitale Signalübertragung - Innenkabel für Systeme im Bereich von 5 MHz - 1 000 MHz; Deutsche Fassung EN 50117-9-1:2019

DIN EN 50117-9-2:2019-09; VDE 0887-9-2:2019-09: Koaxialkabel - Teil 9-2: Rahmenspezifikation für Koaxialkabel für analoge und digitale Signalübertragung - Innenkabel für Systeme im Bereich von 5 MHz - 3 000 MHz; Deutsche Fassung EN 50117-9-2:2019

DIN EN 50117-9-3:2019-09; VDE 0887-9-3:2019-09: Koaxialkabel - Teil 9-3: Rahmenspezifikation für Koaxialkabel für analoge und digitale Signalübertragung - Innenkabel für Systeme im Bereich von 5 MHz - 6 000 MHz; Deutsche Fassung EN 50117-9-3:2019

DIN EN 50117-10-1:2020-02; VDE 0887-10-10:2020-02: Koaxialkabel - Teil 10-1: Rahmenspezifikation für Koaxialkabel für analoge und digitale Signalübertragung - Außenkabel für Systeme im Bereich von 5 MHz - 1000 MHz; Deutsche Fassung EN 50117-10-1:2019

DIN EN 50117-10-2:2020-02; VDE 0887-10-2:2020-02: Koaxialkabel - Teil 10-2: Rahmenspezifikation für Koaxialkabel für analoge und digitale Signalübertragung - Außenkabel für Systeme im Bereich von 5 MHz - 3000 MHz; Deutsche Fassung EN 50117-10-2:2019

DIN EN 50117-11-1:2020-02; VDE 0887-11-1:2020-02: Koaxiale Kabel - Teil 11-1: Rahmenspezifikation für koaxiale Kabel für analoge und digitale Signalübertragung - Verteiler und Linienkabel für Systeme im Bereich von 5 MHz - 1000 MHz; Deutsche Fassung EN 50117-11-1:2019

DIN EN 50117-11-2:2020-02; VDE 0887-11-2:2020-02: Koaxialkabel - Teil 11-2: Rahmenspezifikation für Koaxialkabel für analoge und digitale Signalübertragung - Verteiler- und Linienkabel für Systeme im Bereich von 5 MHz - 2000 MHz; Deutsche Fassung EN 50117-11-2:2019

DIN EN 60794-3:2015-12; VDE 0888-108:2015-12; VDE 0888-108:2015-12: Lichtwellenleiterkabel - Teil 3: LWL-Außenkabel - Rahmenspezifikation (IEC 60794-3:2014); Deutsche Fassung EN 60794-3:2015

DIN EN 60794-3-20:2017-06; VDE 0888-320:2017-06: Lichtwellenleiterkabel - Teil 3-20: Außenkabel - Familienspezifikation für selbsttragende LWL-Fernmelde-Luftkabel (IEC 60794-3-20:2016); Deutsche Fassung EN 60794-3-20:2016

DIN EN 60794-3-10:2015-12; VDE 0888-310:2015-12

VDE 0888-310:2015-12: Lichtwellenleiterkabel - Teil 3-10: Außenkabel - Familienspezifikation für LWL-Fernmeldekabel für Röhren- und direkte Erdverlegung sowie Befestigung an Freileitungen oder Seilen (IEC 60794-3-10:2015); Deutsche Fassung EN 60794-3-10:2015

ETSI TS 102 292 Satellite Earth Stations and Systems (SES); Broadband Satellite Multimedia (BSM) services and architectures; Functional architecture for IP interworking with BSM networks

ETSI TR 101 984 Satellite Earth Stations and Systems (SES); Broadband Satellite Multimedia (BSM); Services and architectures

DIN VDE 0800-173-100; 2019-06; VDE 0800-173-100:2019-06: Informationstechnik - Anwendungsneutrale Kommunikationskabelanlagen - Teil 100: Klassifizierung von Lichtwellenleiter-Übertragungstrecken

7 Glossar

Abkürzung	Bedeutung	Kurz-Beschreibung
BK-Netz	Breitbandkommunikations-Netz	Kommunikationsinfrastruktur, ehemals Kabelfernsehnetz
BSM	Broadband Satellite Multimedia	Heutiger Entwicklungsstand der Kommunikationsinfrastruktur Satellit für die breitbandige Übertragung
Cat.	Category/Kategorie	Einordnung von Kabeln für die Gebäudeverkabelung in verschiedene leistungsbezogene Kategorien
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.	Die Aufgabe von DIN ist es, zum Nutzen der Allgemeinheit unter Wahrung des öffentlichen Interesses in geordneten und transparenten Verfahren die Normung und Standardisierung anzuregen, zu organisieren, zu steuern und zu moderieren.
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification	Datenübertragungs-Standard für HFC-Netze
DSL	Digital Subscriber Line	Anschluss im Telekommunikations-Netz basierend auf Kupfer-Fernmeldekabeln
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer	Aktive Komponente im Kabelverzweiger bzw. Multifunktionsgehäuse, welche u.a. bei der Vectoring-Technologie zum Einsatz kommt
EN	Europäische Norm	Norm gültig für Europa
FTTB	Fibre-to-the-Building	Glasfaseranschluss bis in das Gebäude (z. B. bis in den Keller)
FTTC	Fibre-to-the-Curb/Cabinet	Glasfaseranschluss bis zum Kabelverzweiger
FTTH	Fibre-to-the-Home	Glasfaseranschluss bis in die letzte Wohneinheit
G	(Mobilfunk-)Generation	Bezeichnung für die einzelnen Mobilfunkgenerationen (Vereinfachung der technischen Begriffe für Nutzer)
G.Fast	ITU-T-Standard der DSL-Technik	Anschluss im Telekommunikations-Netz basierend auf Glasfaserkabeln bis zum Kabelverzweiger, die Teilnehmeranschlussleitung besteht aus Kupfer-Fernmeldekabeln (Alternativtechnologie zu Vectoring)
GB	Giga-Byte	Ein Vielfaches (10^9) einer Maßeinheit für Datenmengen: Byte ist eine Maßeinheit der Digitaltechnik und der Informatik, die meist für eine Folge von 8 Bit steht.
Gbit/s	Gigabit pro Sekunde	Maßeinheit für Übertragungsgeschwindigkeit, 1 Gbit/s = 1000 Megabit/s
GPRS	General Packet Radio Service	Mobilfunkstandard der 2. Generation
HFC	Hybrid-Fibre-Coax/Hybrid-Faser-Koax	Kommunikationsinfrastruktur basierend auf Glasfaserkabeln und Koaxialkabeln.
HF-Kabel	High-Frequency-Kabel/ Hochfrequenzkabel	Ein Hochfrequenzkabel kann hohe und höchste Frequenzen übertragen.
IEC	International Electrotechnical Commission	Internationale Normungsorganisation für Normen im Bereich der Elektrotechnik und Elektronik mit Sitz in Genf.

Abkürzung	Bedeutung	Kurz-Beschreibung
Industrie 4.0	Digitalisierung der Industrie	Die Vernetzung von Menschen, Maschinen und Produkten in einer modernen Industrie, und damit die Digitalisierung der Wertschöpfungsketten.
IP	Internetprotokoll	In Computernetzen weit verbreitetes Netzwerkprotokoll, das die Grundlage des Internets darstellt
IPTV	Internetprotokoll-Television	Fernsehen über das Internetprotokoll
ITU	International Telecommunications Union	Organisation der Vereinten Nationen für Informations- und Kommunikationstechnologien
KVz	Kabelverzweiger	(Meist graue) Gehäuse am Straßenrand, in denen Hauptkabel für die Teilnehmeranschlussleitung verzweigt werden
LTE	Long Term Evolution	Mobilfunkstandard der 4. Generation (aktuell schnellstmögliche Datenübertragungsrate im Mobilfunk)
LTE Advanced	Long Term Evolution Advanced	Mobilfunkstandard der 4,5. Generation (aktuell in der Entwicklung)
LWL	Lichtwellenleiter	Bezeichnung für Glasfasern
Mbit/s	Megabit pro Sekunde	Maßeinheit für Übertragungsgeschwindigkeit, 1 Mbit/s = 1.000 kbit/s
MFG	Multifunktionsgehäuse	(Meist graue) Gehäuse, in denen Glasfaserkabel mit Kupferkabeln über aktive Komponenten verbunden werden. Hier wird das optische Signal des Glasfaserkabels in ein elektrisches Signal für die Datenübertragung auf Kupfer umgewandelt
MSAN	Multi Service Access Node/Gateway	Komponenten im Zugangnetz von IP-Netzen. Der Leitungsabschluss erfolgt im MSAN, ebenso wie die Umsetzung in IP-Dienste wie VoIP.
SAT	Satellit	Satellitenübertragung von Daten
TKG	Telekommunikationsgesetz	Zweck dieses Gesetzes ist es, durch technologie neutrale Regulierung den Wettbewerb im Bereich der Telekommunikation und leistungsfähige Telekommunikationsinfrastrukturen zu fördern und flächendeckend angemessene und ausreichende Dienstleistungen zu gewährleisten.
TK-Netz	Telekommunikations-Netz	Kommunikationsinfrastruktur der Telekommunikationsanbieter (meist angefangen mit Festnetzanschlüssen)
Triple-Play		Gemeinsames Angebot von Internet, Telefon und Fernsehen
VDSL	Very High Speed Digital Subscriber Line	Anschluss im Telekommunikations-Netz basierend auf Glasfaserkabeln bis zum Kabelverzweiger, die Teilnehmeranschlussleitung besteht aus Kupfer-Fernmeldekabeln
VDSL-Vectoring	Very High Speed Digital Subscriber Line – Vectoring	Anschluss im Telekommunikations-Netz; Glasfaseranschluss bis zum Kabelverzweiger, in diesem ist aktive Technik zur Verhinderung von Signalstörung auf den fortleitenden Kupferkabeln vorhanden.
VSAT	Very Small Aperture Terminal	Satellitenempfänger und -sender mit Antennen für satellitengestützte Kommunikation
WLAN	Wireless Local Area Network	Übertragung von Daten über Funk durch Router

Bildnachweise:

Titelbild: Sashkin/Fotolia.com, Animaflora/Fotolia.com, Gonin/Fotolia, vegefox.com /Fotolia

Abbildung 1: Prysmian Group

Abbildung 2: Bedea Berkenhoff & Drebes

Abbildung 3: Kabelwerk Rhenania

Abbildung 4: Kabelwerk Rhenania



ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-
und Elektronikindustrie e. V.

Lyoner Straße 9
60528 Frankfurt am Main

Telefon: +49 69 6302-0

Fax: +49 69 6302-317

E-Mail: zvei@zvei.org

www.zvei.org