

# HANSER



## Leseprobe

zu

## „Industrie 4.0 – Vernetzungen für die digitale Fabrik“

von Wolfgang P. Riegelmayer

Print-ISBN: 978-3-446-46147-5

E-Book-ISBN: 978-3-446-46416-2

ePub-ISBN: 978-3-446-46529-9

Weitere Informationen und Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-46147-5>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	<b>IX</b>
<b>Einleitung</b> .....	<b>XI</b>
<b>1 Neue Anforderungen in der Digitalen Fabrik</b> .....	<b>1</b>
1.1 Komplettes Kabel- und Medienmanagement – digital .....	1
1.2 Breitbandiges Multiplexing – mehrkanalige Systeme (FDM/FDD, OFDM, TDM/TDD, WDM/WDD, SDH/STM) .....	2
1.3 Einkanalige LAN-Technologie (CSMA/CD) .....	15
1.3.1 Physikalische Strukturierungs- und logische (Ent-/)Kopplungsformen .....	23
1.4 Breitbandige Parallelschnittstellen .....	26
1.4.1 Beispiel Industrie-PC innen und nach außen .....	26
1.4.2 Serialisiertes externes Storage Networking (einschl. USB Networking) .....	30
1.5 Strom und Spannung (einschl. PoE und PLC) .....	33
1.6 Digitale serielle HF-Spannungsschnittstellen .....	36
1.6.1 Basisband, Gleich- und Wechselspannungsverfahren der 0/1-Logik .....	37
1.6.2 Differentialverfahren, Manchester-Codierung .....	41
1.7 Digitale schnelle Lowest-Power-Datenschnittstellen .....	43
1.7.1 Pulsung (in Baud) und Informationscodierung auf geschlossenen Leitungskreisen .....	44
1.7.2 Speisung und Triggerung über Schleifenwiderstand .....	45
1.7.3 Impulsstörungen .....	49
<b>2 Kabelkanalanlage</b> .....	<b>51</b>
2.1 Der Außenbereich (outdoor) .....	56
2.2 Kabelführungen, CPs, Kassetten, Outlets, Tanks und Modularprogramme .....	57
2.3 Verteiler- und Schaltschrank-Programme .....	63

<b>3</b>	<b>Vernetzungsmodelle für die Digitale Fabrik</b>	<b>75</b>
3.1	Das Gitternetz (Factory Communication Grid)	75
3.2	Zellulare Überlagerung und das Sechseck (Hexagon)	78
3.3	<b>Vernetzungstopologien</b>	<b>85</b>
3.3.1	Liniennetz	88
3.3.2	Kette	89
3.3.3	(Teil- bzw. Voll-)Vermaschung	90
3.3.4	Bus	94
3.3.5	Cluster	98
3.3.6	Stern	99
3.3.7	Baum	101
3.3.8	Clos	106
3.3.9	Butterfly-Netzwerk	108
3.3.10	Ring(e)	109
<b>4</b>	<b>Automatisierungskomponenten und Informationstechnik in der Digitalen Fabrik</b>	<b>113</b>
4.1	<b>Die Feld-, Steuerungs- und Prozessebenen sowie Leitebene</b>	<b>114</b>
4.1.1	Sensorik und Aktorik, Devices und Server	114
4.1.2	Konventionelle funktionale Schnittstellen RS-232, RS-422/-423 und RS-485	117
4.1.3	Master-Slave(s)-Prinzip	126
4.1.4	Wesentliche Feldbus-Netztechniken und -Systeme auf der Basis von RS-485 oder Ethernet	128
4.2	Gebäudeleittechnik als Overlay-Netze	131
4.3	Bordnetze in der Automation und z. B. für Robotik	134
4.4	<b>Zu den geforderten Echtzeitfähigkeiten</b>	<b>135</b>
4.4.1	Verzögernde Übertragungssicherungsprotokolle und Polling	136
4.4.2	Echtzeit-Möglichkeit mit Kollisions-Technik	139
4.5	<b>Grundlegendes und Aktuelles zu High-Speed- und Gigabit-Ethernet</b>	<b>139</b>
4.5.1	Bus-Hub	143
4.5.2	Fast (dt.: schnell)/100 Mbit/s	144
4.5.3	Neue Transceiver-Schnittstelle	145
4.5.4	GEth und Lanes	147
4.5.5	Erweiterte offene Transceiver-Schnittstellen	149
4.5.6	Miniaturisierte Mehrfach-Steckertechnik	150
4.5.7	10GEth	151
4.5.8	40GEth und 100GEth	153
<b>5</b>	<b>Informationstechnische Kupferkabel (wire) als digitales Übertragungsmedium</b>	<b>155</b>
5.1	<b>Struktur und Aufbauelemente</b>	<b>155</b>
5.2	<b>Allgemeine Leistungsmerkmale</b>	<b>157</b>
5.2.1	Ausbreitungsverzögerung	159
5.2.2	Dämpfung unter Breitbandigkeit	161

5.2.3	Weitere Phänomene der HF-Technik auf festen Metallleitern .....	165
5.2.3.1	Rückfluss und Reflexionen .....	166
5.2.3.2	End-Cross-over Talking .....	168
5.2.4	Weitere dB-Semantiken .....	171
5.2.5	Elektrische und andere Widerstände unter Breitbandigkeit .....	174
5.2.6	Durchmesser und Querschnittsfläche von Massivleitern sowie „Güte“ .....	182
5.2.7	Frequenz/Bandbreite der Leiter .....	184
<b>5.3</b>	<b>Die 2-, 4- und 8-drähtigen HF-Kupferkabel .....</b>	<b>190</b>
5.3.1	Kabelarten nach Schirmungsformen .....	193
5.3.2	Leitungs- und Kabelbündel .....	197
5.3.3	Breitbandige DSL- und andere Anschlüsse im Outdoor- und Indoor-Einsatz für die Digitale Fabrik .....	199
<b>5.4</b>	<b>Steckverbindertechnik .....</b>	<b>213</b>
<b>5.5</b>	<b>Koaxialkabel .....</b>	<b>223</b>
5.5.1	Koaxiale HF-Steckverbinder .....	225
<b>6</b>	<b>Lichtwellenleiter (engl.: fibre optics) als digitales Übertragungsmedium .....</b>	<b>227</b>
6.1	Vor- und Nachteile von LWL .....	227
6.2	Struktur und Aufbauelemente von Ein- bzw. Zwillings-LWL und Faserbündeln .....	229
6.3	Anmerkungen zur Optoelektronik .....	231
6.4	Brechungsprofile und „Indexe“ einschl. POF .....	232
6.5	Wellenlängen im Glasfasermedium und optische „Durchlass“-Fenster .....	233
6.5.1	Dämpfungen und Reichweiten .....	234
6.5.2	„Güte“ und Übertragungsklassen .....	236
6.5.3	Weitere dB-Semantiken bei LWL .....	237
6.6	Weitere Dispersionen .....	238
6.7	Planen mit Dämpfungsbudgets und „Link Margins“ .....	239
6.8	Baud, Symbole und Wavelength Division Multiplexing (WDM, OFDM, Wide-WDM, CWDM, DWDM, Parallel Optics) .....	240
6.9	LWL-Steckverbinder .....	244
<b>7</b>	<b>Digitalfunk .....</b>	<b>247</b>
7.1	Spektrum, Frequenzen, Blöcke, Bänder und Kanäle .....	248
7.1.1	(Träger-)Frequenz-Management für wireless .....	255
7.1.2	Ausgangspunkte referierter Standards und Frequenzfestlegung .....	258
7.2	Funkfeldbeschreibungen .....	259
7.2.1	Das Medium Funk in der Wechselwirkung mit der Umgebung .....	267
7.2.2	Weitere Einflussparameter eines Funksystems und Einordnungskriterien nach Techniken .....	270

<b>7.3</b>	<b>Aus dem Regulativ</b> .....	<b>274</b>
7.3.1	Nicht öffentlicher fester Funk (nöF) zum und auf dem Betriebsgelände .....	274
7.3.2	Nicht öffentlicher mobiler Landfunk (nömL) für die Produktionsstätten .....	276
7.3.3	Kurzstrecken- und Nahbereichsfunk innerhalb und außerhalb des Betriebsgeländes für jedermann .....	277
7.3.4	Funk-LAN (WLAN) im Feld (auch engl.: Radio LANs, kurz RLANS) .....	280
7.3.5	Andere und ähnliche Techniken für Applikationen der Automatisierungstechnik .....	286
<b>7.4</b>	<b>Optisch breitbandig</b> .....	<b>294</b>
<b>7.5</b>	<b>Öffentliche Netzdienste, breitbandig und zellular</b> .....	<b>295</b>
<b>7.6</b>	<b>Zeitsignalempfang und Verbreitung für äußerst präzise Produktionsabläufe</b> .....	<b>296</b>
<b>7.7</b>	<b>Ausblick</b> .....	<b>297</b>
	<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	<b>299</b>

# Vorwort

Was in der anwendungsneutralen Bürokommunikation und -automation an strukturierten Verkabelungskonzepten vor 20 Jahren normativ begann und sich bewährt hat, stellt sich neuen Herausforderungen innerhalb der modernen industriellen Produktionsstätte. Großer Wert ist auf innovative Weiterentwicklungen und aktuelle Technologien zu legen, die sich eingestellt haben bzw. in Aussicht stehen. Es gilt, sich das Wissen zu eigen zu machen, an welcher Stelle genau im und am Werk sowie im breitbandigem Umfeld (WAN, MAN) neue Technologien sinnvoll genutzt werden können. Universelle Konzepte kann es hier aber nicht geben, weder bei „passiver“ noch bei „aktiver“ Vernetzungstechnik.

Prinzipiell ist für die Digitale Fabrik von höheren Anforderungen, sprich von Höchstverfügbarkeit, Sicherheitsredundanz und Flexibilität auszugehen. Auch der erhebliche Mehrbedarf an digitaler Medientechnik auf Lang- und Kurzstrecke per Kabel sowie kabellos wird relevant. Die tatsächlichen Möglichkeiten für den Ausbau und deren Aufwand müssen im Vorfeld eingeschätzt werden.

Das Buch erhebt zudem den Anspruch, wenig bekannte Möglichkeiten für Industrie 4.0 aufzudecken, deren Implementierung ins rechte Bild zu rücken und auf den Weg zu bringen sowie Verweise auf Hindernisse und Einschränkungen und Abhilfemaßnahmen zu geben.

Der Autor versäumt nicht aufzuzeigen, wie sich verschiedene Erkenntnisse übertragen lassen und er hat Neues aus der Welt der Data-Center-Ausrüstungen mit einge-

bracht. Dieses Erkenntnisfundament ist nicht nur Ideengeber, sondern erleichtert jede Projektierung. Dies schließt auch die Weiternutzung von Bestehendem ausdrücklich ein. Leider sind viele Bezeichnungen in einer informationstechnischen Vorgehensweise nicht einheitlich, teilweise sogar unbestimmt. Es gibt unterschiedliche Herangehensweisen sowie verschiedene Betrachtungsweisen zur Digitalisierung. Fachübergreifende und spezifische Synonyme, Abkürzungen (deutsch, englisch) und Anglizismen von wichtigen Fachwörtern werden deshalb erläutert.

Das Anliegen des Autors ist, die infrage kommenden Digitalmedien: „wired“ als Metalleiter, Lichtwellenleiter und „wireless“ als Digitalfunk für die Praxis darzustellen. Diese sind sich in kommunikationstechnischen Mechanismen und Abläufen bei digitalisierten Produktionsmitteln sehr ähnlich geworden und daher in vielerlei Hinsicht miteinander vergleichbar. Dies wird an Merkmalen für die Informationstechnik und Automation in der Digitalen Fabrik und nach Einsatzbereichen erläutert – auch kombiniert und innerhalb einer Übersicht hinreichend differenziert.

Dieses Fachbuch eignet sich als einführendes Lehrbuch zur schematischen Visualisierung genauso wie als Nachschlagewerk und wendet sich gleichermaßen an Entscheider, Hersteller, Management, IT-Verantwortliche, Entwicklungsingenieure und Automatisierungstechniker.

# Einleitung

Die Digitale Fabrik ist der Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen, die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden. Das Ziel der digitalisierten Fabrik ist die ganzheitliche Planung, Evaluierung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt. Verschiedene Initiativen, unterschiedliche Aspekte und Gegenstände im Fokus, haben sich in diesem Zusammenhang gebildet, wie die *Plattform Industrie 4.0*, *Smart Factory*, *intelligente Fabrik*, *Factory of the Future (FoF)*, *Connected Factory*, *Industrial Internet-of-Things (IIoT)*, *IIC* etc., mit der Zielsetzung der Vollautomatisierung bzw. einem höheren Grad an erreichbarer sicherer Automatisierung produktionstechnischer Einheiten, einschließlich dem Anlagenbau, basierend auf untereinander vernetzbaren und kommunizierenden Systemen und Teilsystemen.

Zum „was man dazu braucht“ einschließlich angesagter neuer Technik gehört auch, autonome Produktionsprozesse untereinander abzustimmen und zu verknüpfen; dies geht über rechnergestützte Fertigungsabläufe hinaus. Von der Vorstellung der einheitlich durchgängigen aktiven oder nur passiven Vernetzung für *IKT (Informations- und Kommunikationstechnologie, engl.: Information and Communication Technology, kurz ICT)* wurde Abstand genommen. Im Sinne einer Unternehmensstrategie „Kabelnetze als Dienste-Plattform“ ist diesem aber weiterhin und verstärkt gerecht zu werden. Nämlich dann, wenn es um Schwerpunkte mit Bestand für die Zukunft geht. Eine gewisse Durchlässigkeit (diese ebenso automatisiert) der

Ebenen der so genannten Automatisierungspyramide ist anzusetzen, wobei diese vom Prinzip her beibehalten wird, ganz im Sinne eines MES (Manufacturing Execution Systems).

Die Digitalisierung der industriellen Fertigungsprozesse selbst ermöglicht neuartige Erschließungen und muss sich konkret in der Vernetzung widerspiegeln. Es ist wie ein Zusammenwachsen zweier Welten: IT (Informationstechnik) und Automation. Deren Berührungspunkte und bereits eingetretene Überschneidungen nehmen hier einen großen Raum ein, insbesondere hinsichtlich der Eigenschaften, Sinn und Zweck, Digitalfunktionalität und Leistungsfähigkeit. Der Autor gibt dem Leser einen Überblick und Einblicke an die Hand, was es alles an relevanten Details zu beachten gilt: So kann für den Einsatzbereich Produktion das Netz an Daten selbst entwickelt bzw. konzipiert, zur Entscheidung gebracht und erfolgreich praktisch umgesetzt werden.

Hierbei wird ein infrastruktureller Ansatz verfolgt, bei dem in Grundzügen eine Vernetzung und deren Technik als kabelbehaftet und kabellos Bestand haben soll, wohl aber auch bei Änderungen und im Wandel generell zukunftsorientiert ist.

Ausgangspunkt der strukturellen Betrachtungen sind zielgerichtete bauliche Vorbereitungsmaßnahmen, aus Gründen der Anschaulichkeit vornehmlich in geschlossenen Arealen. Für die innen wie nach außen digital vernetzte Produktionsstätte wäre man damit weitgehend für *Industrie 4.0* vorbereitet, die gebotene Erreichbarkeit und Konnektivität wird berücksichtigt.

installiert worden war. Das findet nun hinsichtlich der Informationstechnik seine Fortsetzung evtl. sogar bis zum Industriegebiet eines Stadtbereichs oder zu Metro-Bereichen. Es ist die Begrifflichkeit industrieller „Campus“ aufgetaucht, was für eine große Liegenschaft, auch einer gemeinsamen, oder mehrerer, unmittelbar benachbarten Anliegern steht.

Die 2-dräftige Amtsleitung (AL) der ehemals örtlichen Sprechkreis-Linientechnik (engl.: local loop, kurz LL) war durch das öffentliche (Orts-)Netz mit damals nur einem Carrier für Fernmeldedienste genauestens zurückverfolgbar. (Bei wenigen Telefon-Anschlussleitungen (TelASL) gab es auch 4-Draht-Versionen.) Hieraus definierte sich auch, was eine digitalisierte Teilnehmer-Anschlussleitung, kurz „TAL“, überhaupt ist: Anteilig der vorgenannten Amtsleitung (AL) ist es die End-Leitung (EL), welche die Grundstücksgrenze (natürlich) überschreitet bis hin zu einem (regulativ gefassten) Abschluss-Punkt der digitalen öffentlichen Linientechnik, kurz APL, der unmittelbar vor Ort betriebsfähig bereitgestellt wurde und auch weiterhin so sein kann. Somit verschob sich dieser selbst bei Nutzung eines bereits existierenden oder vom Teilnehmer selbst schon geschaffenen privaten Innenleitungsnetzes aus Amtssicht nach hinten. Abschluss-Punkte der öffentlichen Linientechnik – damals wie heute – sind (auch) die physikalischen (Ab-)Trennpunkte in Stecker-Dosen-Form (z.B. klassisch TAE) zu einer offenen seriellen Schnittstelle des Endgerätes.

### Fast passend in Verlängerung

Für die Anlandung der Anschlussleitung (AL) und deren aktive Linientechnik eines externen Onlinenetzes im Firmengelände, z. B. bei Wartung, und die Weiterführung als gebündelte 2-dräftige Innenleitung über im Werk passive Verteiler hinweg ist der Ausgangspunkt das tatsächlich langlebige Fernmelde-Innenkabel, das durch die historisch vorhandene Verlegung bis in den letzten Winkel weiterhin verbreitet ist. Dieses stammte ursprünglich aus der Telefonie und Nebenstellen-Technik und hatte durchaus Digital-Signalmerkmale gewonnen, wobei im Hinblick auf neuere Verlegungen auch eine Gesamtschirmung zu verzeichnen ist. (Dass es mit einer TK-Anlage – Amtsanlassung statt endgerätenahem APL – etwas anders ist, wurde bereits angedeutet. Die Alternative für über Schaltschränke geführte Kabelbündel, innen wie außen, war die von Hauptanschlüssen (HA) gleich „ins Amt“ outsourcete Form der TK-Anlage. Diese ist, bündellos im All IP emuliert oder gar aktuell virtualisiert, bekannt unter CentrEx (Central Exchange) Services und nicht nur für Sprache geeignet, was dann als Unified Communication (UC) bezeichnet wird.)

Das kleinst- bis großbündelige Fernmelde-Innenkabel spezifizierte sich wie folgt z. B. als I-Y(ST)Y nach DIN VDE 0815:

- Außenmantel PVC;
- 0,4/0,6/0,8 mm Aderndurchmesser für ungeschirmte Paarverdrillungen;
- Anzahl an Doppeladern (DA), gepaart: 2/3/4/6/10/20/30/40/50/60/80/100;
- Adernfarben-Schema der Adernisolation: weiß/grün/gelb/blau/rot/schwarz/rosa/braun.

Zu bemerken ist, dass das Farbschema erheblich abweicht von dem, was zu Standards der Pin-Auflegungen gerade des RJ-45/Western-Steckers zu LANs noch vorgestellt wird.

### 5.3.3 Breitbandige DSL- und andere Anschlüsse im Outdoor- und Indoor-Einsatz für die Digitale Fabrik

#### Zusammenfassung

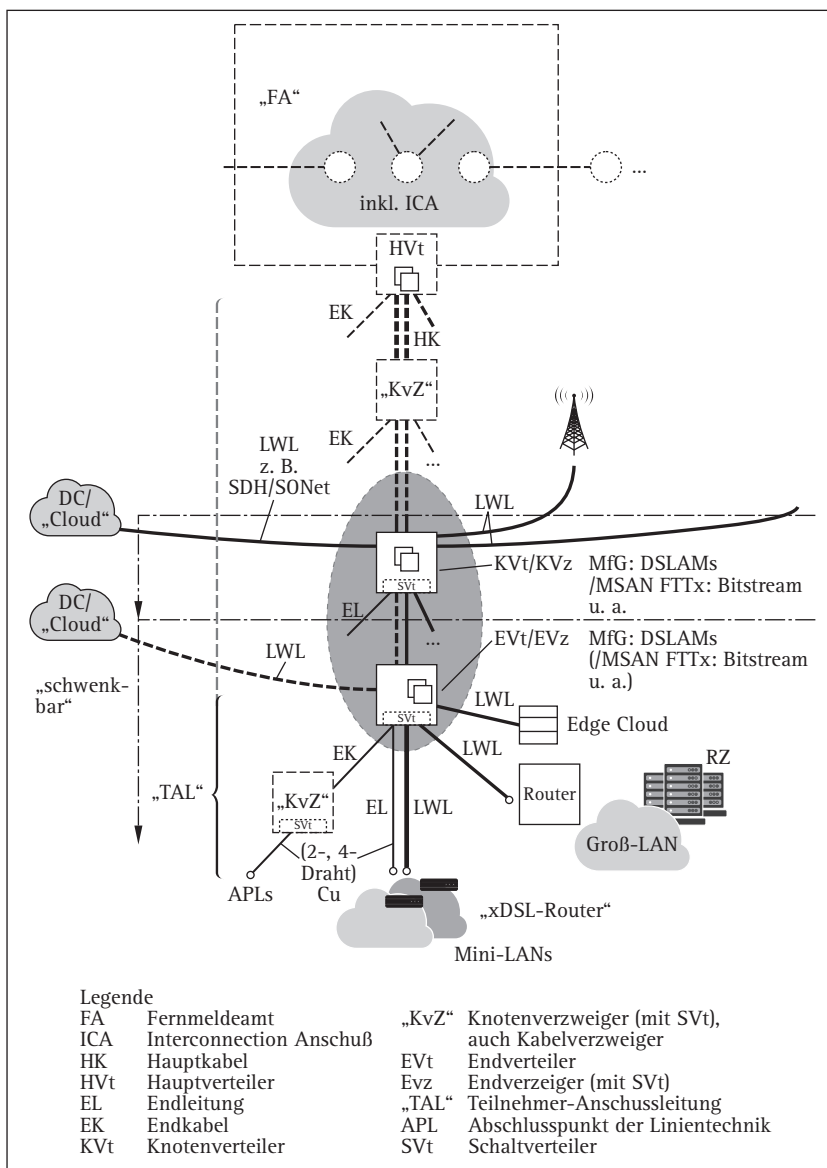
Die vorgenannten Haupt- und Verzweiger-Kabelbündel aus Kupfer einschließlich der Verteiler dazu vor und im Werksgelände befinden sich im Abbau und wurden sukzessive durch entsprechende aktive Multiplexer-Technik verschiedener Verfahren ausgetauscht; die Fortschreibung der digitalen öffentlichen Linientechnik folgte. Dazu gehört auch der Einsatz von Glasfasern, was im Folgenden noch ausgeführt wird, unter weiterhin verwendeten Bezeichnungen (vgl. Bild 5.15). Nicht ganz so oft oder eher selten findet man die oben genannten End-Leitungen (EL) bzw. Endkabel-Bündel (EK). Was aus dem Fernmeldewesen eines Tarifzonen-Modells ein Ortsnetz (ON) ausmacht an innerorts abgegrenzten Einzugsbereichen – besser: (Haupt-) Anschlussbereichen (engl.: local access area) – und sich eingebürgert hatte, wird bezüglich der infrastrukturellen Versorgung mit historischem Vorbildcharakter (für universelle Dienste) nun kurz geschildert. Zunächst war da die Sichtweise eines zentralen (Orts-) Fernmelde-Amtes, kurz FA (engl.: Central exchange Office, kurz CO), von dem es pro Ort mindestens eins gab (nicht nur im Keller eines Postamts, kurz PA, mit der knotenartigen Durchschalte-Vermittlungstechnik der Teilnehmer-Netzbereiche und -betriebe, kurz TNB). Daraus wurde der Netzknoten, auch wettbewerblich unter Kollation ICA, was noch unten angesprochen wird. Dort stand auch der passive Haupt-Verteiler, kurz HVt (engl.: main distribution frame) – gleich der topologischen Baum-Wurzel, von denen es in großen Orten wie Städten jeweils mehrere gab (und gibt), nämlich eine pro geographisch abgestimmtem Innerorts-Anschlussbereich (AsB) der subsummierten oder differenzierten lokalen Einzugsbereiche (LEZB),



eben je HVt-Nahbereich derartiger Lokation. Wie der Darstellung oben (vgl. Bild 5.14) entnehmbar, gehen davon die oben erwähnten Haupt-Kabel (HK) ab, auch ggfs. mehrere, mit der historischen Kapazität von 1000 oder gar 2000 Doppeladern (DA) hin zu den Ebenen darunter an Zwischen- (ZwVt, engl.: intermediate) bzw. Nebenverteiler (NVt, engl.: vielleicht: adjoint), schließlich zu den Endverteilern (EVt) mit einzeln oder eben bündelweise angelandeten Endkabeln (EK) an einem oder sogar mehreren 100 DA-Bündeln im Regelbau. Die Einführung und Bezeichnung „Knotenverteiler“ entstammte eher einer Verlegenheit, die Baumtiefe zu vergrößern. Über alle Verteiler hinweg definiert sich weiterhin die oben bereits erwähnte digitalisierte Teilnehmer-Anschlussleitung, kurz „TAL“, in (Zugangsnetz-)Abschnitten

oder direkt zusammen mit der End-Leitung (EL) im öffentlichen Raum, welche zuvor als Amtsleitung (AL) gesehen wurde. Einschließlich Endverzweiger (EVz) und (neuerem) Zwischen-Verzweiger, kurz ZwVz, konnte bereits vorher schon „geschwenkt“ werden und das weiterhin bis zum und in das Firmengelände (engl. etwa: on premises) hinein, sogar mit der anteiligen Eigeninstallation (vgl. Bild 5.14). Der bereits erwähnte APL versteht sich dann als Netzabschlussseinrichtung an der Aktivtechnik (eines Remote Device) und ist ggfs. mit einem Schließ-System zu versehen.

Es wurde nun so reguliert, dass diese Leitungen in passiver Form, d. h. ohne irgendeine aktive Linientechnik, auch als Vorleistungsprodukte für wettbewerbliche Carrier-Dienste anzubieten sind, so dass diese ihre Anschlussnet-



**Bild 5.15**  
Mögliche Eigenrealisation bis zum APL mit eigener, anteiliger TAL

ze an Ursprungs- und Ziel-Zuführungen an eigener Aktivtechnik gestalten können. Die Darstellung (Bild 5.15) zeigt die neuartige Bezugskette, welche real hierzulande im offiziellen Infrastrukturatlas (ISA) der Bundesbehörde BNetzA (Bundesnetzagentur für Post, Telekommunikation, Gas, Elektrizität und Eisenbahnen) für Berechtigte elektronisch einsehbar ist – insbesondere aus anzuzeigendem berechtigten Interesse am engagierten Breitband-Ausbau (vgl. Bild 5.16) oder gar an Self-Doings. Hier sind bereits existierende Rohre und LWL des öffentlichen Raums erfasst, auch unter Bezug auf die aktive Ethernet-Variante Ftt/FTTx. Dark Fibres im privaten, nicht-öffentlichen kommunalen Fremdeigentum, z. B. aus einer Verlegungsinitiative zur Breitbandigkeit, sind auch offen für wettbewerbliche Carrier, um den Betrieb zu übernehmen im Sinne einer aktiven Vernetzung.

Im nicht öffentlichen Raum wie z. B. in Fabrikations- und anderen (Groß-) Arealen ist, wie zuvor angesprochen, das aktive öffentliche Liniennetz mit seinen Anschlüssen an Verteilern (Vt), Verzweigern (Vz) sowie Kabeln eines Carriers in dessen Eigentum schon immer „schwenkbar“ gewesen und weiterhin regulativ gefasst (vgl. Bild 5.15), nun als anteilig eigene, verbliebene digitalisierte Teilnehmer-Anschlussleitung (TAL). Dies gilt auch bei wettbewerblichen Carrier bzw. sogenannten alternativen Anschlussnetzbetreibern (ASB) und dereguliert nun auch für die unten erläuterten MfGs (Multi-funktionale Gehäuse) für Netzübergangstechniken (vgl. Bild 5.16), die sogar wettbewerblich sein können. Dto. vice versus zur Mitbenutzung durch andere als Kollokationsregulativ – was nicht mit Interconnection verwechselt werden darf, aber in Kombination gebracht werden kann:

Es kam zunächst zum Kollokations- (engl.: co-location) K-Regulativ (vgl. Bild 5.16) auf der Höhe des ehemaligen Fernmeldeamtes (FA), später in Gegenseitigkeit für zentrale knotentechnische Vermittlungsgerätschaft. Dies war vornehmlich zuerst zur Telefonie gedacht, auch im Wettbewerb von Verbindungsnetz-Betreibern (VNB) gegenüber anderen Teilnehmernetz-Betreibern (TNB) im Nahbereichsanschluss bzw. lokalen Einzugsbereich (LEZB) und auch von diesen untereinander – zum Aufstellen und eigenen Betreiben sowie mit Zutrittsbedingungen mit Gebühren-Festlegung. (Die Variante der physical co-locations ist die des unweiten customer sited (CS) und so ist per Weiterführungskabel (WfK) und -technik ein Zusammenschaltungsanschluss (ZSchA) anders zu realisieren als Inter-Building-Abschnitt für Interconnection Points (ICP) bis hin zur Anordnung zwischen z. B. zwei Backbone-Ortsnetzen, überbrückt als Carrier-Festverbindungen (CFV) mit Ethernet.)

## Strenge Regulation

Streng regulierte entgeltmäßige Terminierung untereinander, nämlich Ende-zu-Ende, und ebenso bei den wettbewerblichen (vornehmlich nur) Weiterverkehrsstrukturen (Core Networks) höherer Netzebenen war eine Sache. Jetzt wird Wettbewerbliches, Verbindungs(kern)netze mit einschließend, zunehmend geführt als Interconnection Partner (auch ICP), um die Zusammenschaltung und den Fest- wie mobilen Netzkopplungszugang zu realisieren, genannt Interconnection-Anschluss (ICA). (Was zuvor bei den Interconnections nur PDH-Multiplex-Technik, unstrukturiert oder (quasi vor-) strukturiert für Nutzkanäle der digitalen Linientechnik, referierend auf PCM (2, nX2, 34, 155, 622 Mbit/s), war, wird zunehmend mit der geschilderten Technik SDH/STM implementiert und die Überleitungen basieren auf dem (einkanaligen) schnellen Ethernet, und zwar bis zu 10 Gbit/s eines so genannten Carrier Grade Ethernet over SDH/STM mit hoher Qualität; beides zeichnet sich durch Bit-Transparenz aus.)

Regulativ dem Wettbewerb zugestandene, vorhandene Übertragungswege waren und sind eine komplexe Angelegenheit, da sie vom ehemaligen Hauptverteiler (HVt) nun auch noch in der Funktion eines Verbindungsverteilers (VVt) im (zentralen) Fernmelde-Amt (FA) abzweigen mittels der Verbindungskabel (VK) im Intra-Building-Abschnitt an Übergabepunkten in der Kollokation. Diese Form der regulierten Zusammenschaltung wurde und wird vorläufig weiterhin Interconnection Points genannt, kurz ICP, für (knotenartige) Vermittlungseinrichtungen mit Übergabefunktion an/von anderen Carrier im Transit-Wettbewerb für Übertragungsnetz-Betreiber (ÜNB), ohne Kunden-Access/TAL der regulativ gefassten strukturellen Grundeinzugsbereiche (GEZB).

Passive Hauptverteiler (HVt) und ggfs. unten genannte aktive Knoten-Verzweiger (KVz) wie ebenso die FAs, deren Nähe man gewerblich zu schätzen wusste, befinden sich zunehmend im Rückbau, so dass wohl den unten erwähnten MSANs zukünftig eine wichtige Bedeutung zukommen wird. Einen Eindruck dazu vermittelt Bild 5.15. Im Hinblick auf eine postulierte Last Mile ohne Verzweiger ist der passive Haupt-Verteiler, kurz HVt, als amtsseitiger Endpunkt in der deregulativen Diskussion angekommen. Passive Schaltverteiler (SVt) sind das funktionale Ende der verkürztendigitalisierten TAL – warum, wird noch erklärt – und werden dann irritierenderweise auch als Knoten-Verzweiger (KVz) geführt. Damit ließe sich sogar ein APL der aktiven öffentlichen Linientechnik beim Teilnehmer in einen anderen Nah-Anschlussbereich umlegen, vielleicht sogar über die historischen Grenzen eines Ortsnetzes (ON) mit Vorwahlen hinaus. (Mehrere Anschlussbereiche (ASB) haben eine interne Nummer und sind nach PLZ eines Ortes aufgeteilt, was eine so genannte

Netzkennzahl (NKZ) ausmacht für die gleiche Ortnetz-Vorwahl (ON) oder für mehrere.)

Ähnliches gilt auch für öffentliche Nicht-Wählnetzdienst-Angebote bezüglich der Stationsadressierung und andere neutral gefasste Einrichtungen an (unstrukturierten) Stand-Verbindungsangeboten für Daten, wie permanente, durchgängig aktive FV (Festverbindungen), ML (Mietleitungen) und DDV (Datendirektverbindungen), die als aktives Abschluss-Segment eines vorgenannten Transist bei individuell bereitgestellter besonderer Liniennetz-Technik fungieren. Die neuesten, regulativ gefassten Standardangebote sind (wieder) Mietleitungen (ML), nun für den Zugang auf der Basis von „native“ Ethernet – obwohl einige, originäre Protokolle nicht zugelassen sind – oder direkt wie bei den vorgestellten SDH/STM-basierenden Abschluss-Segmenten.

### Von Endleitung (EL) spricht man kaum noch

Als Vorleistungsprodukt für andere wettbewerbliche City-, regionale (Long Haul) und WAN- (Wide Area Network)-Betreiber (Carrier) mit weiteren zugestanden, eigenen Übertragungswegen bleibt die 2-drahtige Kupfer-Doppelader (offiziell CuDA 2 Dr) – ungeschirmt, auch als 4-Draht (CuDA 4 Dr) ohne oder mit „hochbitratiger“ Nutzung – verfügbar; letztgenannte Variante muss gesondert „entstört“ sein. (Die regulative Diskussion beinhaltet nach wie vor die Frage, ob der Hauptverteiler (HVt) für dessen nahe Teilnehmer, die direkt über Endleitungen (EL) angeschlossen waren, ohne die Bezugskette durchlaufen zu müssen, nicht (anteilig oder separat) einen Übergabe-Verteiler (ÜVt) ausmachen sollte. Das würde das oben genannte Verbindungskabel (VK) obsolet machen, um unmittelbar z. B. an die unten beschriebenen DSLAMs im MfG wettbewerblich unter Kollokationsbedingungen anzuknüpfen, vgl. Bild 5.16 unten.)

### Wenn aus Verteilern (Vt) knotenartige Verzweiger (Vz) werden und dann Netzknoten

Wichtig zu wissen ist, dass selbst im Hinblick auf die digitale zentrale Vermittlungstechnik örtliche Teilnehmer-/Benutzerverkehre gemäß der dargestellten Bezugskette (vgl. Bild 5.14) die Hierarchie-Ebenen immer komplett durchlaufen mussten, nämlich von unten (Ursprung) nach oben – zur topologischen Baum-Wurzel – und wieder zurück zu der anderen Endstelle (Ziel). Dies gilt auch, wenn Hierarchie-Ebenen auf dem Übertragungsweg abkürzbar wären, also für von dort abgehende Endleitungen (EL). Zum Beispiel kann ja ein ZwVt oder eingebrachter KVt gleichzeitig auch EVt für gebündelte Teilnehmer-Anschlüsse in unmittelbarer Nähe sein; das Gleiche gilt für den HVt. Die Anbindungen als MfG-TAL würden einer

Stelligkeit folgen KVz-TAL und SVt-TAL – nicht nur als HVt-TAL. Dies führte bereits zu einer schwierigen de-regulativen Fragestellung bezüglich der Öffnung an Zugängen für Wettbewerber. Denn so manchem gereichte eine nahe Liegenschaft zum Vorteil, z. B. im Hinblick auf geringe Unterbrechungswahrscheinlichkeit aus ortsnaher geographischer Entfernung. Auch wenn ein vorsorgliches Redundanz-Konzept fehlt: Es gibt (nur) besondere Angebote zur doppelten (und mehrfachen) Abstützung von Zweivegeführungen über einen Nachbar-Baum und es sind auch manuell oder selbsttätig schaltbare Querwege denkbar. So ist dieser Baum – in der Regel asymmetrisch und unvollständig – mit nur noch maximal drei Ebenen und vereinfachter Bezugskette (vgl. Bild 5.16) weiterhin existent und bleibt es auch. Dem muss Rechnung getragen werden – und das nicht nur im Rahmen der Wiederbenutzung bzw. Weiterbenutzbarkeit (engl.: re-use) eines Bestandsschutzes, sondern um den Umfang an Rückbau-Maßnahmen möglichst zu begrenzen.

### Kein Betriebsgeheimnis aus regulierten und veröffentlichten Vorgaben

Es stand schon immer die Frage im Raum, ob und wo auf dem industriellen Betriebsgelände/Standort(e) passive und aktive Verteilerstellen – die eigentlich zum öffentlichen Raum gehören – den wettbewerblichen Carriern für deren Übertragungswege zugestanden bzw. wo diese verlängert werden könnten; auch „schwenkbar“ (s. Bild 5.14). Aus der weiteren Notation von eingebrachten Knoten-Verteilern (KVt) – auch mehrerer abgehender Kabelbündel, diese bezeichnet man als Verzweigerkabel – ergab sich eine Verwirrung aufgrund allgemeiner oder weiterer aktiver Kabel-Verzweiger. Verzweiger-Knoten oder Knoten-Verzweiger (engl.: nodal distributor), kurz KVz, heißt wohl, dass auch andere Teile wie digitale Aktivkomponenten zur Verstärkung oder Multiplexer im Inneren des Gehäuses von „grauen Kästen“ am Straßenrand für Anlieger (auch industrielle) oder anderes mehr an neuartiger Netzknoten-Technik wie zur verteilenden Datenpaket-Vermittlung vorliegen könnte. Deshalb wird in diesem Fall eher eine konventionelle Stromversorgung (Power Feeding) benötigt. (Als begriffliche Definition für ein Verteiler-Kabel steht zweifelsfrei das fest, was als Patch Cord in einem passiven Verteiler beschrieben wurde, wenn nicht gerade per Draht geschaltet wird.)

Relevant für die Vernetzung der Digitalen Fabrik ist, dass mit einem aktiven Zugangsknoten, genannt Full Service Access Node, kurz FSAN, die mögliche Redundanz-Kopplung mit auf LWL-Ringen basierender lokaler (City) SDH/STM-Infrastruktur auch verschiedene, transparente Payloads tragen könnte (vgl. Bild 5.15). Die Abläufe, die zuvor im zentralen Fernmelde-Amt (FA) stattfanden, werden

also nachgelagert oder gar verteilt, sodass eine wurzellos verbliebene Baum-Topologie entsteht.

In der Diskussion ist auch, ob die so zu sehende KVz-Ebene jetzt fürs eben aktive FSAN nicht auch in Frage kommt für die Versorgung an öffentlichen Mobilfunknetze der neuen Generationen – gerade aktuell gewordenen 5G – von ortsfesten sogenannte Basisstationen, kurz BS, und deren Antennengewerke, was unter „Funkmast“ läuft. Schaltverteiler (SVt) wären da auch Anlandungsplätze für wettbewerbliche Mobilfunknetz-Betreiber. Wichtig ist, dass sich – so oder verteilt – die doppelte Abstützung realisieren lässt mit effektiver 2- und Mehrwege-Führung zur vorsorglichen Redundanz (vgl. Bild 5.19) in die Digitale Fabrik.

### MfG (Multifunktionales Gehäuse) bzw. MSAN (Multi-Service-Access Node)

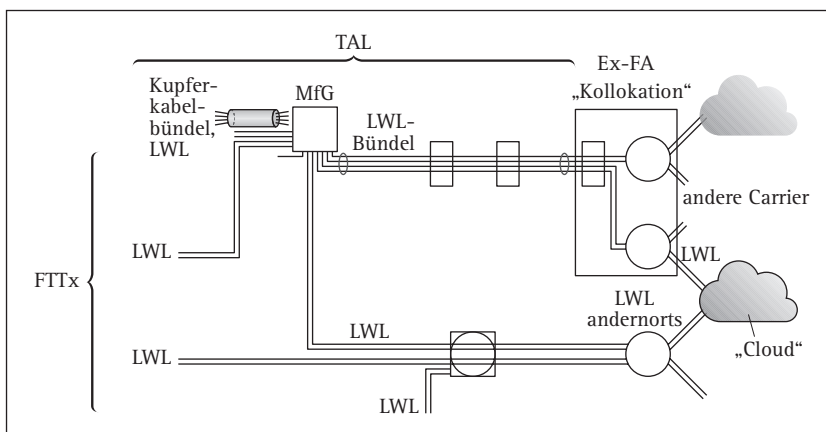
#### *Verteiler und Verzweiger gleichzeitig*

Bereits vor dem Breitband-Ausbau wurden Verteiler, kurz Vt (vgl. Bild 5.15), nomenklativ zu Verzweigern, kurz Vz, wenn sie konsequent digitale Aktivkomponenten enthielten, z. B. bei einer PDH mit vorkonzentrierender Multiplex-Technik. (Gewöhnlich erfolgte eine niedrige Schwachstrom-Versorgung, oft mit Niedrigst-Spannung bis 48 V; aber auch <100 V waren über die Linienführung möglich und kamen über den gleichen Weg „vom Amt“.) Was an Kupfer-Bündeln vorhanden war, wurde somit sukzessive durch Glasfaser-Fernmeldekabel ersetzt, die als Zwillings-LWL oder auch bündelweise vorliegen. Es sind weiter reichende SM (Single Moden), vornehmlich mit dem Standard 9/125, der sich gegenüber 10/125 schließlich für die Ferne durchgesetzt hat, und MM (Multi Moden) 50/125 zum PDH-Multiplexing von vorhandenen 30er-DAs. Dies erfolgte nicht nur abschnittsweise zwischen den Orten aktiv gewordener, rein passiver Verteiler, sondern auch im Ausbau durchgängig bis zum (Teilnehmerorts-)Anschluss z. B. als und für kleine und mittlere TK-Anlagen, die oft

von der Anschlusskapazität (Ug2) her ausreichen. (Die Zwillingsfaser wurde auch so recht früh für Einzel-Hauptanschlüsse exponierter Lage zum Einsatz gebracht.) Jene stehen für weitere Migrationen einschließlich dem noch vertieften Ftt-/FTTx zur Verfügung.

Im Vorgriff auf die multifunktionalen Gehäuse, kurz MfG, die sich womöglich an diesen Stellen (Verschaltungspunkten) befinden, sei gesagt, dass diese weiterhin passiven Verteilfelder bzw. neutralen Schaltverteiler (SVt) sowohl Kupfer wie auch Glas (vgl. Bild 5.17) an Bord haben, da Glasfaser (-Bündel) die kupfernen Haupt- und Verteiler-Kabelstränge, „von oben“ eines Netzknotens kommend (vgl. Bild 5.14), ersetzen. (Oft waren und sind Hybrid-Kabel im Einsatz, in denen neben Glasfasern/-bündeln zusätzlich Kupfer-Leiter zur vorgenannten Stromversorgung vorhanden sind. Oder diese läuft über separate Kabel, die den gleichen Übertragungsweg betreffen.) Unabhängig von der unten angedeuteten Alternative Ftt-/FTTx, welche anteilig oder auf Großarealen sogar als eigenes, internes Netz komplett im Feld der Automatisierungspyramide selbst realisierbar wäre, wurde in der Darstellung des Bildes 5.16 die machbare LWL-Nutzung bis vor Ort mit einbezogen.

Dazu kommen auf der anderen Seite ein oder mehrere zugehörige umfangreiche, auch fremde Dienstleistungs-RZ, genannt Cloud. Es können auch verschiedene in derartig verteilter Form sein, sprich mehrere im Wettbewerb untereinander. Als Bestandteil eines vorsorglichen Redundanz-Konzepts kann ein solches Szenario diesem unterworfen werden. Ersichtlich und regulativ ist festgelegt: Wettbewerbliche Carrier können einen kundenindividuellen unbeschalteten Glasfaser-Anschluss (GfA), also passiv, als eine 1- oder 2-faserige-Strecke – genauso wie zuvor Kupfer – anmieten. Dies ist unter den Überlassungsentgelten der Bereitstellung oder Übernahme zusammengefasst. Auch wird zugestanden, dass Wettbewerber nur ihre eigenen Konzentrationsnetz-Strecken selbst an mit Aktivtechnik beschalteten LWL – in der Regel Nicht-Hybride, also



**Bild 5.16**

Wettbewerbliche TAL plus weitere Carrier mit eigenen LWL bis in eine Cloud im Hintergrund

stromlos – im MfG anlanden (s. Bild 5.16). Das heißt, auch der verbleibende Teilnehmer-Zugangsnetzabschnitt – zuvor als Endleitung (EL) bekannt, ob Kupfer oder Glasfaser – eines anderen darf (mit-)benutzt werden, auch für den, der als Wettbewerber sich unter den präsentierten Kollokationsbedingungen im „Ex-FA“ eingefunden hat. Sogar der MfG kann einem Wettbewerber gehören mit denselben Obliegenheiten, eben für andere. Im öffentlichen Raum und ebenso auf grundstücksnahen Liegenschaften wird dies ebenso geduldet.

### Breitband noch einfach

Oder anders: Die eigene Infrastruktur an industriellem „Groß-LAN“ (vgl. Bild 5.15) ist per eigenem Router, Switch(e) etc. an ein auf naher Distanz befindliches eigenes Rechenzentrum angeschlossen oder an ein fremdes auf dem Fabrikgelände (mit Remote-Server) und dorthin ausgelagert, z. B. als Edge Cloud. Auch mehrere sind möglich als Dezentralitätsmerkmal zur Sicherstellung einer oft geforderten Latenzzeit von weniger als 1 ms zur Reaktionsfähigkeit an Übertragung und Verarbeitung in der Automatisierung; dann folgen „dahinter“ und zugehörig ein oder mehrere umfangreiche, fremde Dienstleistungszentren, genannt Cloud. Ferner gibt es beim Zusammenwachsen von Automatisierung und Informationstechnik (IT) das gepflegte Szenario des breitbandigen Anschlusses einer weit abgesetzten industriellen Maschine bzw. Produktionsstätte, auch unmittelbar mit direktem Zulieferer. Dank des MfGs behält das kupferne Endkabel-Bündel für verbliebene, anteilig digitalisierte „TAL“ (vgl. Bild 5.17) weiterhin seine Bedeutung für unterschiedliche Ansiedlungen an einem Produktionsstandort mit jeweils eigenen Netzwerken („Mini-LANs“) im (gemeinsamen) Factory Communication Grid.

Bei knotenartigen Strukturen im Fokus, weil neben (passiver) Verteil-Technik auch (notwendigerweise stromversorgte) Verzweigertechnik vorhanden ist, ist international eher die Begrifflichkeit MSAN (Multi Service Access Nodes) gebräuchlich (vgl. Bild 5.15). Denn z. B. synonym zu Ethernet-in-the-First-Mile (EFM) oder EPON/GPON mit kombinierter Aktiv- und Passiv-Verzweigungstechnik wie bei dem unten aufgeführten Ftt-/FTTx ist dies die Stelle für die Einbringung dieser weiteren Anschluss-Linientechnik, so wie in einem Street Cabinet. Die MfGs wären dann auf dieser Höhe den MSANs eigentlich nur nachgeordnet.

Wenn ein Multi-Service-Access Node, kurz MSAN, funktional im unten beschriebenen MfG untergebracht ist, dann versteht sich, dass bei der Endleitung (EL) des eventuell komplett neu zu verlegenden LWL (vgl. Bild 5.17) dann besondere Glasfaser-Teilnehmeranschlüsse, universell hinsichtlich der Technik und der Bezeichnung, als Ab-

schlusseinheit in der Diskussion sind. (Hier greift auch die Frage nach dem Trennpunkt (Fibre Termination Unit o. Ä.) mittels LWL-Steckverbindertechnik.) Und/oder es wäre das Long Haul GigaBit-Ethernet, auch über Hierarchien hinweg geführt und bekannt als (bis zu) FttH (Fibre to the Home). In der Digitalen Fabrik ist es sogar bis womöglich tief ins Werksgelände hinein zu beobachten, eben bis in die Automatisierungszelle (vgl. Bilder 3.10 und 3.11). Es ist die Standardform 1000BaseLX mit 9/125 SM (Single Moden) oder 50/125 MM (Multi Moden) für 1310 nm und nur die LC-Buchse ist z. Z. hierzulande festgelegt. (Das als Hybrid-FttH schon einmal genannte G.Fast der schnellen DSL-Technik kommt wieder in Kupferform in den „allerletzten Metern“ danach ins Spiel, wo ein nicht weiter erklärtes „Super Vectoring“ bemüht wird.) Oder es ist eher nur am Rande FttB (Fibre to the Building/Block) der Fabrikhalle (engl.: factory hall). Konsequenterweise wird dies nach einem Regelwerk auch in maximal drei Ebenen der Konzentration bzw. Verteilung zusammengefasst, wobei eine Strecken-Stückelung nicht unproblematisch ist, wie noch zu LWL später ausgeführt.

### Rangiert unter Full Ftt

So ist Ftt-/FTTx über die Kabelkanalanlage unmittelbar bis an die Endgeräte verlegbar, was innerhalb der Fabrikationsräumlichkeiten (engl.: factory plant) auch für die Produktionsautomatisierung möglich ist. Dies wird dann – wie innerhalb sonstiger Gebäude auch – subsumierend den FttP (Fibre To The Premises) zugeordnet als Heranführung unmittelbar an das Customer Premises Equipment (kurz CPE) der Informationstechnik. Ansonsten kann man in einem Szenario auf dem eigenen Firmenareal (engl. etwa: on premises), auch über die Grundstücksgrenze hinaus, Ftt-/FTTx als Strukturen der (aktiven) vorkonzentrierenden und nachverteilenden Technik des schnellen Ethernets selbst realisieren. Für Fibre-to-the-Node, kurz FttN, wäre wie bereits ausgeführt die Redundanz-Kopplung mit LWL-Ringen (vgl. Bild 5.15) mit aktiver lokaler (City) SDH/STM-Infrastruktur als Basis möglich, eben als Payload in den tragenden Formen eines GigaBit-Ethernets.

### Breitbandiges DSL und andere Anschlüsse im Outdoor- und Indoor-Einsatz

Als Aufstellort für Multifunktionsgehäuse (MfG), nicht nur als LWL-Übergang für DSL-Anschlussstechniken auf Kupfer bei einer digitalisierten TAL, kommen also der unmittelbar teilnehmernahe End-Verzweiger, kurz EVz, und der erwähnte (vgl. Bild 5.14) neu definierte Knoten-Verzweiger, kurz KVz, infrage, die ab dort baumartig nur „noch etwas“ nach unten führen. Rein passive Zwischen-



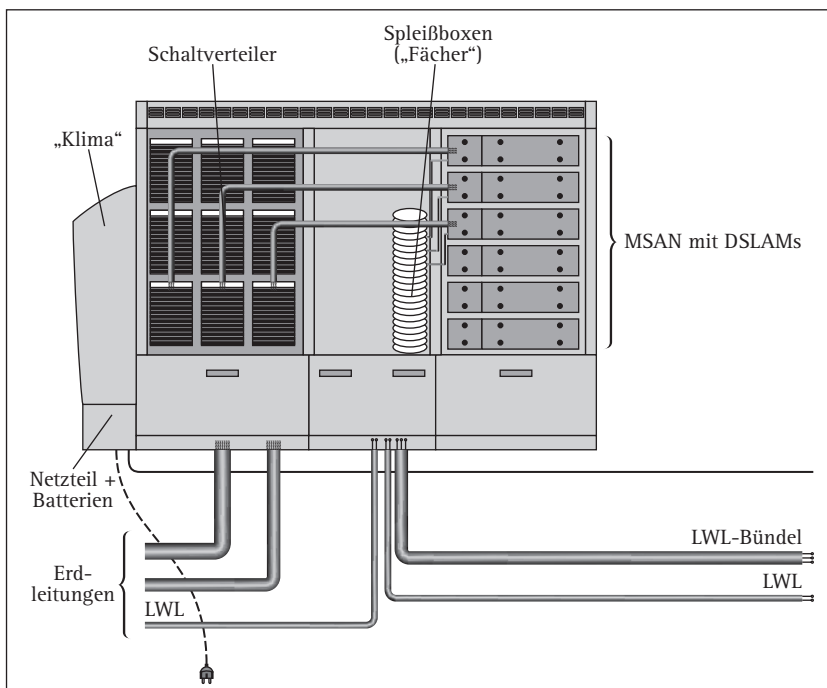
Verteiler (ZwVt) befinden sich seit dem LWL-Ausbau in Ortsnetz(-Ebene) im Abbau, da sie nicht mehr notwendig sind. Ab den Letzteren, also bei jetzt allen Leitungen ab dem ehemaligen Fernmelde-Amt, wird ebenfalls regulativ zugestanden, dass „geschwenkt“ werden darf, bezogen auf das ganze Firmengelände/Fabrikationsareal (einschließlich bis zum APL), wobei DSL-Varianten und andere digitale Anschlüsse einem MfG aus gutem Grund möglichst nah sein sollten. Das heißt je nach Absprache und Vereinbarung ab einem bestimmten Punkt, was noch als Indoor-MfG behandelt wird.

Ansonsten können die Aufstellorte auch über den besagten Infrastrukturatlas (IA) der Behörde BNetzA eingesehen werden für Berechtigte, die vornehmlich die Wettbewerber zur anteiligen Mitbenutzung im Kupfer-Abgang und deren LWL-Zugang an digitalisierten Gesamt-„TAL“ (vgl. Bild 5.16) darstellen. Im Hinblick auf den Breitband-Ausbau erfolgt eine Neuausrichtung (soweit) machbarer Gegebenheiten der verzweigenden Stellen, die sowohl die zuvor gebündelten Kupfer-Leitungen berücksichtigen als auch als ein reguliertes Vorleistungsprodukt für wettbewerbliche Carrier zum (Mit-) Benutzungszugriff derer erhältlich sind.

Viele der in der maximalen Bezugskette verbliebenen passiven Verteiler-Stellen (s. Bild 5.14), zuvor als „graue Kästen“ am Straßenrand (engl.: street cabinet) bekannt, werden also ersetzt oder ergänzt durch die Multifunktionsgehäuse, kurz MfG – ebenso geringer Bautiefe, aber höher und breiter (vgl. Bild 5.17) –, mit dem einheitlichen Aufbau an noch vorgestellten Aktivkomponenten und

Stromanschluss sowie passiver Verteiltechnik. Die Anbindungen der bereits vergrabenen MfG-„TAL“ erfolgen als KVz-TAL und SVt-TAL – statt HVt-TAL. Es geht auch um die wettbewerblichen DSL-ANB (Alternative Anschluss-netz-Betreiber) des erwähnten Wettbewerbs auf Basis von TALs der Telekom mit eigenen Anschlussnetzen und -betrieb einschließlich eigenen installierten MfGs für den (Mit-) Benutzungszugriff für andere. (Dies ist nicht zu verwechseln mit DSL Telekom Resale als von der Telekom betriebene DSL-Anschlüsse, wird aber von deren Wettbewerb vermarktet und betreut – im Gegensatz zu „Telekom direkt“.)

Ein Netzteil für 230 V und/oder nur 48 V für das im MfG verbaubare Aktive ist darin konzeptionell vorhanden. Auch andere Digitalkomponenten, wie aktive Repeater/Regeneratoren (ZWR) und sogar Multiplexer für andere Netzdienste im Sinne eines MSAN (Multi-Service-Access Node) finden Platz im großzügigen Gehäuse, multifunktional und einschließlich jeglicher LWL-Übertragungstechnik. Anzumerken ist, dass zur Stromversorgung des Multifunktionalen besondere Hybrid-Kabel vom Amt oder anderen Quellen vor Ort zum Einsatz kommen, welche zusätzlich zu gebündelten Glasfasern einige Kupfer-Leiter enthalten – oder separate Stromkabel, aber über den gleichen Übertragungsweg. So gesehen könnte das MfG/MSAN für Vernetzungen in der (und an der) Digitalen Fabrik auch das eigene sein – mit zumindest einer kurzen LWL-Anflanschung aus dem öffentlichen Bereich und unabhängig von einem Teilnehmer-Netzdienst (unsubscribed). Ursprünglich für den Outdoorbereich gedacht, ist die



**Bild 5.17**  
Schematische Darstellung Outdoor-Multifunktionsgehäuse (MfG)

Allwetter-Version klimatisch wohl temperiert, d. h. beheizt wie gekühlt. Weiteres zu Strom, Batterien, USV etc. ist seitlich ausgeführt. Dieser Standard nach obenstehender schematischer Darstellung kommt auch indoor zum Zuge, z. B. in einer Fabrikhalle mit unwirtlichen Produktionsumgebungen. Aber die Umsetzung wäre auch andersartig realisierbar, nämlich in Form eines Schrank-Programmvertreter. (Für die Stromversorgung ist dann immer selbst zu sorgen.)

### Als DSL bis zum Arbeitsplatz bereits angekommen und jetzt Automatisierungszelle

Als Abschlusspunkt der öffentlichen DSL-Linientechnik ist ein DSL-Modem mit DSL-(Anschluss-) Router zu sehen, wenn nicht sogar ein Trennpunkt davor – mit eventuell (noch) einem a/b-Abzweig-Port eines unten aufgeführten frequenztechnischen Splitters an konventioneller Steckverbindertechnik. (Die Begrifflichkeit Router mit einem integrierten Modem wäre besser als Integrated Access Device, kurz IAD, zu führen.) Dieser Trennpunkt ist notwendig, wenn die Anschaltgerätschaft dereguliert kundeneigen (engl.: Customer Premises Equipment, kurz CPE) ist. Kleine DSL-(Anschluss-)Router in der Digitalen Fabrik als Standalone-Gerätschaft benötigen einen zusätzlichen Stromanschluss oder eine Versorgung als Schaltschrank-Einbaumodul und wirken in der Funktion als Hub oder gar als Layer 1 Switch. Bei mehreren von ihnen, denkbar als Automationszellen, und einer insgesamt effektiven Verkehrstrennung nach Anwendungen spricht man von (engl.) einer Bank (vgl. Bild 1.2). Diese dienen jeweils als Punkt-zu-Punkt-Ethernet-Strecken über bis zu vier LAN-Ports, was in der Regel mit 100 Mbit gut für ein „Mini-LAN“ ist (vgl. Bild 5.15), das auf IP basiert. In einem Szenario kann der DSL-(Anschluss-)Router auch eine (z. B. PCI-)Karte für lokale Server im Werk oder für digital weiter vernetzte Industrie-PCs (IPC) sein, die schon eine Ethernet-Basis für das Feldbus-System mit einem Master für Slaves sind bzw. als Server der Field Devices in der Automationszelle (vgl. Bild 3.10 und 3.11) dienen. DSL-Varianten-Linientechnik über die einfache oder gebündelte 2-Drahttechnik mit spezieller Reichweite alternativ zur unmittelbaren LAN-Verbund-Technologie ist ebenso applizierbar, z. B. für die Überwachung, Eingriffe etc. Dies reicht bis hin zum IP-gerouteten Netz im Sinne eines später besprochenen Overlay-Netzwerks, das auf einem großen Firmenareal komplett in Eigen-Realisierung (oder beauftragt) eingesetzt werden kann.

### Neue alte Möglichkeiten

Hinsichtlich eines Industrial IoT (Internet-of-Things) mit geringfügigem Datenverkehr (low volume traffic) – dieser

ist einfach und oft nur sporadisch und unregelmäßig mit dem Präfix narrow band, kurz NB-, versehen, dann gemeint bis 1 Mbit/s – stellen sich Fragen: Ist es eine dynamische IP-Adressierung wie bei Teilnehmer-Anschlüssen des öffentlichen Internets aus vorgehaltenen Service-Provider-Pools für den IIoT-Server vor Ort, einem Master ähnlich, oder wird auch dessen Sensorik und Aktorik in der Art eines Intranet miteinbezogen? (Extranet ist ein weiterer, anderer Begriff.) Das heißt, der oben genannte DSL-(Anschluss-)Router würde wie üblich über die logisch-funktionale Komponente DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) verfügen. Oder es wird sich einer festen, d. h. einzustellenden IP-Adressierung (mit/ohne beidseitige Network Address Translation, kurz NAT) bedient. Oder es liegt gar ein weiteres Szenario vor, in dem ein eigener Adress-Haushalt für die organisierte Mehrfach-Nutzung mit Abschottungswirkung vorhanden ist.

### Falls es sie noch gibt: Splitter

An dieser Stelle wird nun kurz aufgegriffen, der Diskussion um den Abschluss-Punkt bei der digitalen Linientechnik (APL) folgend, was der teilnehmerseitige passive Splitter vor Ort als Frequenz-Weiche bezüglich der Anschluss-Leitung (engl.: access line) zur DSL-Technik bewirkte. Zudem würde eine Lösung hinsichtlich der (Not-)Speisung der End-Einrichtungen über den öffentlichen Übertragungsweg, wie einst im Anschlussbereich des Fernsprechnetzes, benötigt. (Der unten noch vorgestellte DSLAM im MfG kann es nicht bzw. müsste davor auch eine Lösung pro Leitung anbieten.) Ein Szenario war sogar als (verwirrend: Carrier oder Customer) Teilnehmeranschluss-Line-Sharing, kurz CLS, zwischen Carriern gefasst; in diesem ist Sprache als Netzdienst-Teilnahme abtrennbar von DSL bzw. vice versus.

Es folgt eine Erklärung – arbeitsplatznah, aber auch maschinennah und sonstige Dienst-Übergabepunkte berücksichtigend: Eine Doppelader, kurz DA, welche als Hauptanschluss (HA) einer besprochenen (und nicht einfach algorithmierbaren) Schleifen-Widerstands-Mimik unterliegt, wurde als erster Schritt Richtung Mehrbandigkeit „gesplittet“ – mit Lücken als frequenzmäßige betriebliche Sicherheitsabstände – nach folgenden Frequenzgängen: Tiefpässe 0 bis 4 kHz, tatsächlich mit einer Nutzung bis 3 kHz für klassische Analogtelefonie, dann maximal 14 kHz für den bei maximalem Leistungspegel von 3 dBm mit 120 kBaud 4B3T codierten ISDN-Hauptanschluss oder für 2B1Q digital codiertes 80 kBaud wie z. B. auch E1 der untersten PDH-Multiplex-Hierarchie – der Einstieg für permanente Festverbindungen (FV). Schließlich fanden sich beim Hochpass für DSL-Modems ab 160 kHz bis – ursächlich und orientierend – 1,1 MHz die noch schnelleren DSL-Versionen, die weiter unten präsentiert werden.

Es gibt natürlich auch Direkt-DSL-Varianten mit maximal breitem Frequenzgang mit dem Versprechen einer Band-Erweiterung nach unten, also bis 0 Hz hinab, mit anderer digitaler Linientechnik für offene Schnittstellen. Das heißt, die „Splitter“ als Frequenz-Weichen fallen prinzipiell weg, da keine weiteren Analog- oder Digital-Kanäle mehr vorhanden sind. Was jetzt permanent aktiv ist, einer Daten-Festverbindung gleich, bleibt nur noch als Trennpunkt Richtung Fernmeldenetz in Form einer Wanddose erhalten. (Ein ISDN Network Terminator (NT) für Hauptanschlüsse ist ebenfalls obsolet.) Insofern eine einfache RJ-45/Western-Steckverbindertechnik verwendet wird, sind – 2-dräh-tig – in der Regel die mittigen Positionen 4 und 5 mit weiterhin Adern-Vertauschbarkeit belegt. Dies wäre nun – bei keiner unterstellten weiteren Schnittstellen-Technik – als der funktionale Abschlusspunkt der öffentlichen digitalen Linientechnik (APL) zu sehen.

Die Leistungscharakteristik neuartiger DSL-(Anschluss-)Router, insbesondere im vorgenannten Karten-Format/ Einbaumodul für Schaltschränke, reicht so weit, dass das, was im Rahmen der Geschwindigkeitsfortschreibung, aber der im Operativen kürzer gewordenen, noch vorzustellenden DSL-Variantenverfahren als öffentliche Linientechnik aus dem MfG vorgegeben ist, per Software-Generierungsbefehl einstellbar ist. Oder die DSL-(Anschluss-)Router erkennen sogar selbsttätig und können sich danach ausrichten, was vom noch vorzustellenden DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) des MfG „kommt“. Dieser ist der Gegenpart zum teilnehmerseitigen DSL-Modem und mehr, was nun noch betrachtet wird.

### DSLAMs – fast ein Betriebsgeheimnis

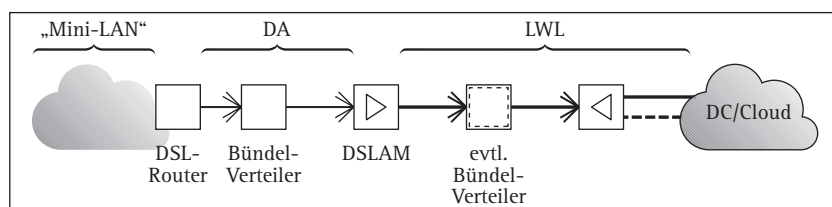
Der bzw. die DSLAMs im MfG/MSAN (vgl. Bild 5.17) wiederum sind nicht nur im Hinblick auf die einseitige Funktion der Anschlussleitung vorkonzentrierend und vorverlagert bzw. ausgelagert als Ports zu einem abgehenden 2-Draht(-Bündel) der DSL-Varianten-Linientechnik. Wie viele 2-Drahtpaare (DAs) dabei durch DSL-Varianten-Verfahren bedient werden können, ist abhängig von der Linientechnik. Platinsache ist in der Regel eine 2er-Potenzreihe bis 256 für Ports; manchmal werden derartige Line Cards, kurz LC, wegen ihrer Modulgröße als „Pizzaschachteln“ verballhornt. Die Gesamt-Kapazität der Übertragungsraten wird natürlich durch die jeweils ausgehen-

de Glasfaser „gebündelt“ und durch die verwendeten ein- oder auch mehrkanaligen Multiplex-Verfahren Richtung „Amt“ bestimmt. Dort werden zurzeit noch durch oben genanntes Kollokativ (engl.: co-location) die LWL der im Wettbewerb stehenden Carrier (vgl. Bild 5.16) angelandet. (Dahinter würden die Übergabepunkte eines breitbandigen BitStream-Access (BSA)-Zugangsleistungsangebots liegen oder die Netzzusammenschaltung mit wettbewerblichen Carriern, die ihre eigenen Angebote bis zum Teilnehmer bestimmen.) Einen gleichen Gegenpart zum Multiplexing benötigt also der Wettbewerb mit eigenen LWL – mit oder ohne Mitbenutzung des MfGs.

Das Mutiplex-Verfahren als solches kann statischer Natur sein, aber auch dynamisch für rein paketisierte Datenübertragung, wie umfassend vorgestellt, was hier zum Gegenüber – praktisch dem DeMultiplexer – auch auf der IP-Ebene erfolgen kann durch einen Hochleistungs-Router oder Layer 3 Switch z. B. im alten Fernmeldeamt. (Diese wäre im Sinne eines All IP Networking auch für Sprachkanäle geeignet.) Es wird also ein Umweg beschritten, der signallaufzeitbedingt, wie erörtert, nachteilig wäre.

Es ist komplex, bei einer oder mehreren externen Edge Clouds (einem Dezentralitätsmerkmal) auf dem Fabrikationsgelände einen gewissen Grad an Self-Doings zuzulassen. Auch das RZ/DC kann eine eigene Cloud sein, wenn man ein Factory Communication Grid auf dem Betriebsgelände nutzt.

Wie bereits ausgeführt, käme für den Anschluss der anderen Seite von MfG(MSAN) für die vernetzte Digitale Fabrik das Stück konzentrierender LWL zum Zug, wenn es Richtung DC/Cloud geht. Was stattdessen oft als Feeder bezeichnet wird, macht jetzt (auch) in Eigenregie die Anbindung einer eigenen oder anderen DC/Cloud in der Fabrik oder Liegenschaft (engl. etwa: on premises) nah und sogar Grundstücksgrenzen überschreitend möglich. Die öffentliche Bezugskette entfällt also; es ist eine eigene und diese ist geometrisch ziemlich kurz. Denn zu bedenken wäre, dass bei der öffentlichen DSL-Linientechnik zum Zugang und Abgang die gesamte Wegestrecke bis hinter den ange-deuteten Gegenpart, eine Art dynamischer DeMultiplexer, durchlaufen werden muss, was, wie erörtert, Signallaufzeitbedingt nicht gerade der Echtzeit-Forderung entgegenkommt. (Bei der Alternative des öffentlichen Ftt-/FTTx wäre es so ähnlich.)



**Bild 5.18**  
Eigene Bezugskette Übergangs-/Überleittechnik



## Indoor-MfGs mit DSLAMs

Das, was bündelweise von einem DSLAM abgehen würde hinein ins Factory Communication Grid, wird im öffentlichen Raum davor – oder auf dem Fabrikgelände draußen als Outdoor MfG (Multifunktionales Gehäuse) – aufgestellt (vgl. Bild 5.17). Oder es wird auf dem Firmenareal (vgl. Bild 5.15) und, da selbst stromversorgt, sogar als Indoor-Version in einem Schaltschrank-Programm eines zentralen oder mehrerer Standorte platziert, jetzt in Kompaktform möglich. DSLAMs oder komplette MfGs können so in einem sinnvollen Szenario auch eigene Gerätschaft (Customer Premises Equipment, kurz CPE) sein.

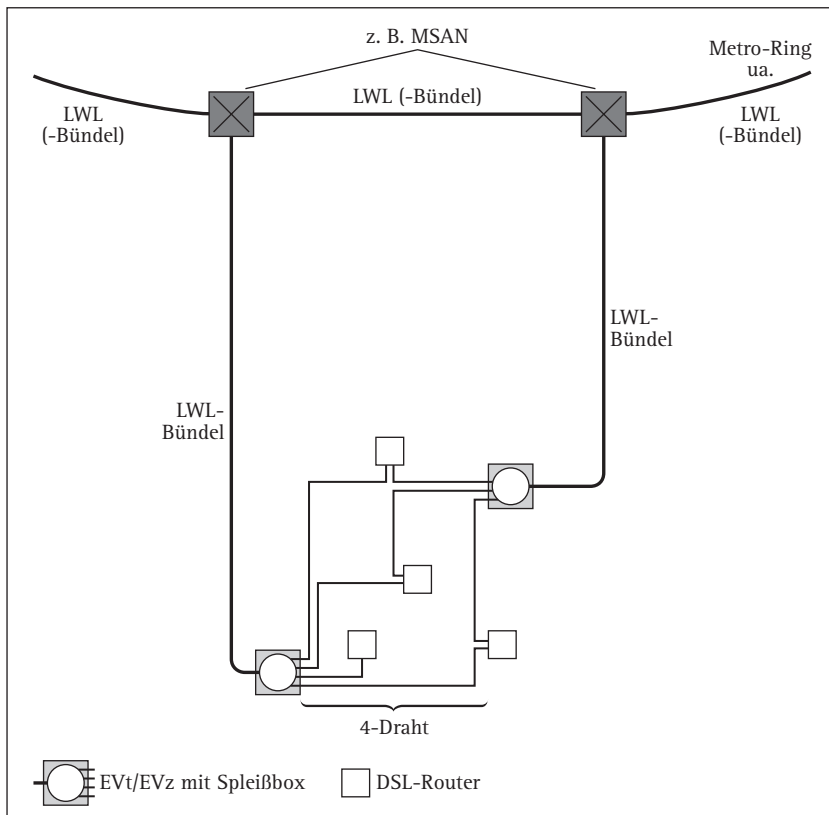
Nach dem DSLAM z. B. Richtung Online-DC/Cloud (-Server), dort natürlich auch ein Hochleistungs-Router bzw. Layer 3 Switch als integrierter dynamischer DeMultiplexer oder umgekehrt, ist im Factory Communication Grid ein Stück LWL ebenfalls in Eigenregie (Customer Premises Networking, kurz CPN) realisierbar (vgl. Bild 5.18). Oder es kann ein Glasfaser-Anschluss (GfA) und -Zubringer(abschnitt) aus den öffentlichen, wettbewerblichen Breitband-Netzen/-diensten (vgl. Bild 5.15) über die Kabelkanalanlage bemüht werden. Bei immer paarweise vorkommenden Multiplexern mit einer mehrkanaligen Auslegung der gemultiplexten Strecke zum Gegenpart wird sicherlich der DSLAM auch mehrere LWL-Ausgänge ha-

ben, der dann einen Knoten (engl.: node) bildet. (Wie dieser die Verkehrsströme wieder verzweigt (Mapping), ist sein Betriebsgeheimnis.) Tatsächlich trifft dies auch auf die Stelle zu, an der zuvor passive Verteiler in der Bezugskette existierten (vgl. Bild 5.14), die dann zum aktiven Verzweiger mutierten und bei Redundanz-Kopplung sogar mit auf LWL-Ringen (s. Bild 5.15) basierendem lokalen (City) SDH/STM vorkommen – bezogen auf den den neutralen Terminus Access Node (AN) liefernden transparenten Payload.

Die DSL-Verkabelung dieser möglichst schaltleiterlosen, flexiblen, preiswerten 2-Drahttechnik/TP, ungebündelt oder gebündelt in der Digitalen Farbig, erfolgt (natürlich) allgemein zum Factory Communication Grid über die Kabelkanalanlage bis zu eigenen DSL-(Anschluss-) Routern (vgl. Bild 5.18), die nun ebenfalls als CPE (Customer Premises Equipment) zugelassen sind und in Schaltschränken mit zellulärer Ausrichtung zur Automatisierung einrichtbar sind. Deren „Mini-LANs“ für Maschinen, Produktionsanlagen etc. befinden sich komplett oder teilweise in der unmittelbaren Nähe.

## Redundanz bis an die Maschine heran

Die vorsorgliche Gestaltung mit doppelter Abstützung zur weitreichenden effektiven Redundanz und einer (mindestens)



**Bild 5.19**

„Geschwenkte“ EVt/EVz als MfG(MSAN) im Factory Communication Grid mit konsequenter Doppelabstützung an DSL-Router u. a.

tens) Zweiwegeführung wird ausgeführt am Beispiel der Indoor-Form für DSLAMs im Factory Communication Grid. In dem Fall wäre sogar die Begrifflichkeit DSL-Zugangsrouter trefflicher, da es um die selbsttätige Wegegwahl (engl.: path) geht. Bei dem, was zugeständenerweise aufs Firmenareal (engl. etwa: on premises) „geschwenkt“ wird, kann es sich beispielsweise auch um die Endverteiler (EVt) mit Spleißboxen der LWL-Bündel handeln, jetzt vor dem Indoor oder Outdoor MfGs/MSAN. Im Wandel bereitgestellter Endkunden-ZwVz (Zwischenverzweiger) könnte diesen dann eine Rolle zukommen beim „Schwenken“ ins Inhouse-Netz. Besser wäre es im gesicherten Metro-Ring o. Ä. (vgl. Bild 5.15); dann müsste der LWL auf dem Produktionsgelände natürlich von zwei Richtungen aus ankommen. Für das regulativ weiterhin bekräftigte „Schwenkbare“ zeigte bereits die Darstellung in Bild 5.14, wie tatsächlich Redundanz konsequent bis in die DSL-Zugangsrouter machbar ist, und zwar möglichst nahe an Maschinen heranreichend. Deshalb wäre es ratsam, zur einen Redundanzhälfte auf ein Angebot wettbewerblicher Carrier oder zumindest auf sogenannte alternative Anschlussnetzbetreiber (ASB) getrennt klaren Linienverlaufs zurückzugreifen.

Die Frage ist natürlich, ob statt der doppelten Abstützung eine ratsame Redundanz nicht besser durch kleine Ringe im Factory Communication Grid realisiert werden sollte. Auf ein weiteres Szenario, integriert in digital vernetzte Industrie-PCs (IPC), die als Master fungieren, wurde bereits verwiesen. Unter die Lupe zu nehmen ist, ob alternativ ein konsequent entkoppelter Overlay-Charakter vorliegt. Die Frage darf auch weiterhin gestattet sein, ob im Wettbewerb von Anschlussnetzen hier nicht nur zu knoten- und verteilerartigen Einrichtungen, sondern auch wie zu einem subsummierten Next Generation Access, kurz NGA, passend zur vorsorglichen Redundanz der Teilnehmer-Anschlussleitungen gegriffen wird. Sonst würde es wieder auf eine prinzipielle Doppelbaum-Topologie hinauslaufen.

## DSL-Varianten

### *Ebenso kein Betriebsgeheimnis*

Es geht um die Weiterverwendbarkeit vorhandener und zuvor aufwendig verlegter Teilnehmer-Anschlussleitungen des passiven letzten Stücks mit weiterhin geltenden Vorzügen, der Kupfer-Technik, und weniger aus der „letzten Meile“. Die neuartige, aktive DSL-Linientechnik für die Versorgung vieler Teilnehmer – sogar in der Form über passive Anschlussnetz-Verteiler (Vt) hinweg, wobei diese zunächst als diskutierte Stoßstellen noch unproblematisch sind – bezog sogar den Haupt-Verteiler (HVt) ein, der die Funktion eines Übergabe-Verteilers (ÜVt) übernahm, sodass ein Verbindungskabel dort eigentlich obsolet wurde.

Der tatsächliche Grund, warum fast nur die unterste Ebene eines topologischen Versorgungsbaums – die den (zuvor) passiven Endverteiler (EVt) und den Beginn der nun eigentlichen End-Leitung (EL) ausmacht – genutzt wird, ist, dass mit der nicht sehr weit reichenden, aber sehr kostengünstigen sowie weit verbreiteten, digitalen 2-drähtigen (DA) Anschluss-Linientechnik von breitbandigen Digital Subscriber Lines (DSL) des letzten Streckenanteils ein angesprochener APL weiterhin erreichbar sein muss (vgl. Bild 5.15). Das greift für jede DSL-Variante einschließlich VDSL-(Very High Speed) und noch schnellere VDSL2-(bis 100 Mbit/s)-Anschluss-Linientechnik als Standard. Da nun die erzielbare Übertragungsrate mit der operativen Entfernung fast linear abnimmt und sich bei ca. 120 m sogar halbieren würde, kommt es natürlich darauf an, möglichst nah an einem MfG zu bleiben. (Inwieweit das einzelne Übertragungsbit mit der effektiven Geschwindigkeit einer DSL-Variante nach oben als Anschlussnetz-Linientechnik betrieblich preiswerter wird, entzieht sich derzeit der Transparenz.)

## DSL-Varianten: ADSL, VDSL und andere

Es wird eine Aktivtechnik notwendig, was die oben beschriebenen DSLAM als vorkonzentrierend für Teilnehmeranschlüsse, aber auch deren Multiplexing für die weitere Strecke sind. Was zwischen dem DSL-Modem und dem DSLAM geschieht, hat digitale Signalmerkmale einer öffentlichen Anschluss-Linientechnik, wie das an klassischen Endleitungen (EL) einige Kilometer weit (ca. 4,5 km) reichende, wenn auch danach als ausgereizt geltende und sodann verlustig werdende asymmetrische DSL, kurz ADSL. Dieses Standardverfahren arbeitet trägerlos mit wie gepulst erscheinendem Discrete Multi-Tone, kurz DMT. Die Modulation passt in einen Hoch-Leitungskreis als Doppelader (DA) für Bin(ary)-Pulse, wobei diese richtungsbezogen verschieden lang sind und sich gegenseitig nichts anhaben, aber nach Richtungen getrennt als Downstream und Upstream unterschiedliche Datenübertragungsraten liefern. Prinzipiell der Voll-Duplex-Betriebsweise unterliegend, bewirken diese aber eher Halb-Duplex und über die Protokollsicherungseffekte einen Performance-Verlust.

Eine Variante der DSL-Linientechnik mit offener Schnittstelle und effektivem Voll-Duplex ist die symmetrische SDSL (Symmetric Digital Subscriber Line), wenn auch mit eher verhaltener Breitbandigkeit, welche sich auf 4-Draht/DTDP der meist schirmungslosen Ausprägung UTP bzw. U/UTP abstützt. In der Vergangenheit war ja ein (Teilnehmer-) Hauptanschluss (HA) schließlich (fast) immer auf 2 × 2-Draht/Vierdraht realisiert mit den a/b-Adern und das andere Paar c/d für eventuell einen zweiten Sprechkreis bzw. in Reserve oder mit anderer Nutzungsmöglich-

keit beschaltbar. Das Gleiche galt als vieradrige Ausführung für schnelle Daten-Festverbindungen und war so konsequent über Kabelbündel hinweg bis ins (ehemalige) FA verfolgbar.

### Warum der ganze Aufwand?

Jede Variante hat damit verbunden eine gesamte (grenz-) frequenzabhängige Weitung des Band-/Frequenzgangs, wie bereits erwähnt. Diese beträgt standardgemäß entsprechend weiteren Notationen: ADSL+ ab 138 kHz bzw. „splitterlos“ nur noch 1-Kanaligkeit ab ca. 0 kHz bis 1,1 MHz und ist eher eine Orientierung. Das sehr schnelle VDSL geht bis 12 MHz und sogar 17 MHz sind möglich sowie schließlich VDSL2 bis 30 MHz. Letzteres besitzt eine geringe Leistungsdichte (in dBm/Hz) aufgrund geringer Betriebsspannung im nunmehr ziemlich breiten Frequenzgang. Das Ganze wird aber wegen der DA-Ungeschirmtheit nicht ganz unproblematisch zur EMV, da der Rundfunk von Langwelle (LW) bis hin zu UKW/VHF betroffen wäre, sodass eine Schirmung unerlässlich erscheint.

Zunächst ist ein geringer frequenzdispersiver Dämpfungseffekt von z. B. 11,5 dB bei Orientierung auf 1 MHz als Grenzfrequenz im 2-adrigen Leitungskreis erwähnenswert. Jedoch, mit steigender Entfernung nimmt die Signaldämpfung in Folge der operativen Distanz stark zu bis 24 dB bei besagtem 1 MHz, sodass schon vorher höhere Übertragungsraten schlagartig abnehmen (trotz evtl. größerer Aderndicke). Der Grund für einen weiteren Performance-Verlust liegt in der dann gestiegenen Fehlerträchtigkeit über greifende Retransmissionsmechanismen, zudem beeinflusst über die längere Signallaufzeit. Für diese operative Grenzwertigkeit Short Reach – ansonsten Long Reach bis ca. 6 km – wären 3500 ft (= ca. 1000 m) bei 100 Mbit/s zu nennen und bei 5000 ft (= ca. 1500 m) schon wesentlich weniger. Bei den Weiterentwicklungsformen zur Schnelligkeit greift die oben genannte schlagartige Abnahme noch stärker gegenüber der dann noch zusätzlich sich verkürzenden operativen Entfernung.

### Keine durchgängige Übertragungsrate

Bezüglich der Teilnehmer würde deren digitalisierte Anschlussleitung („TAL“) sich neu definieren, weil sie auf eine maximale Größe und weniger als die Last Mile gekürzt wurde, auch an abgehenden Bündeln von Kupfer-Paaren aus dem MfG. Der durch LWL versorgte Indoor MfG, wie behandelt, erscheint unausweichlich. Es ist der Umstand zu beachten, dass darin prinzipiell ungeschirmte Paare vorliegen. Deshalb bedarf es einer weiteren linientechnischen Maßnahme bei einer anvisierten noch hö-

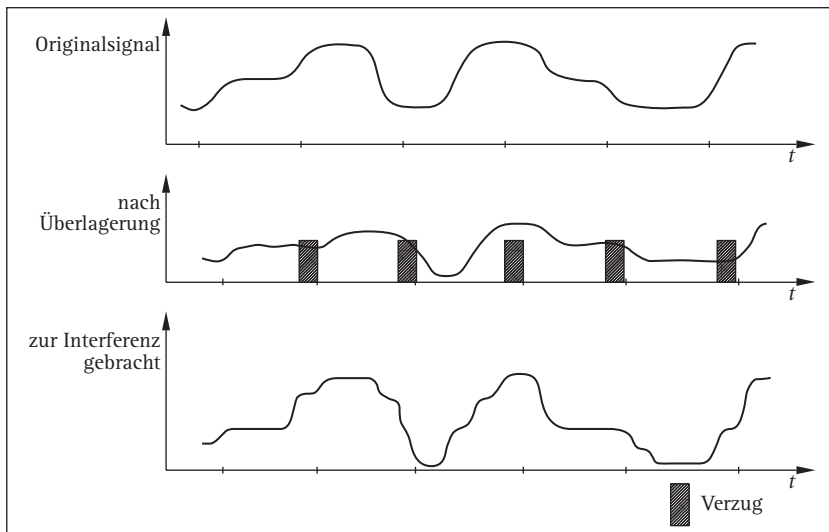
heren Anschluss-Übertragungsrate wie dem Versprechen der erzielbaren Verdoppelung von 50 auf 100 Mbit/s (Highspeed).

Die sich anschließende Frage ist nun, ab wo die Richtungen für Teilnehmer universell bei DSL-Varianten auf Kupfer-Paaren zugelassen bzw. umgesetzt werden. Dies wäre auch zu fragen im Hinblick darauf, dass es auf einer sehr schnellen DSL-Anschlusslinie noch höherer Übertragungsraten eigentlich unterwegs keine weiteren (passiven) Verteilfelder und noch nicht einmal Schaltverteiler (SVt) geben sollte, da sich sonst dort die gefürchteten Stoßstellen ergeben würden. Denn es würde sich zur immer schneller werdenden Daten-Hochgeschwindigkeitsübertragung ein Übersprechen bzw. Überstrahlen schon unterwegs einstellen wie geschildert, und zwar schon zur zweiten, ungeschirmten DA der operativen Nachbarschaft: Das wäre besonders zu merken bei den schnellen VDSL-Varianten (die auf einem Areal als LAN-Überbrückungstechnik verwendet werden).

### Vectoring – eine Innovation aus der Not geboren

Als Gegenmaßnahme sei die VDSL2-Anschlussnetz-Linienteknik genannt, die eine Signalbehandlung aller ermöglicht, im Standardbezug Vectoring genannt. Die Frage nach der interoperablen Schnittstellen-Fähigkeit entsteht teilnehmerseitig nach den verschiedenen Herstellern, je nachdem, wer es im oben genannten MfG als Erster im Wettbewerb an Aderpaaren in einem Bündel einführt. Damit hat es auf sich, dass die auf Symbolen basierenden Nutzsingale – vergleichbar einer bereits erwähnten, eigentlich trägerlosen Pulsung mit ähnlicher Modulation der Mehrpegeligkeit – so gesehen werden können. Tatsächlich und bekannt aus Lanes-Bildung im sehr schnellen Ethernet ist es ein höherwertiger QAM-Standard (Quadrature Amplitude Modulation), liefernd eine Art Sub-Träger (256, 512 bis 4096), jetzt in einer sehr engen 4-kHz-Rasterung. Genauer: Deren Anzahl bestimmt die asymmetrischen Übertragungsraten des Down- und Upstream mit üblicher FDD-Mittellücke.

Was sich aber zufällig gleichzeitig beim Senden auf ein abgehendes (noch) Mehrfach-DA-Bündel einstellen kann, würde Abschwächung und Nutzsingal-Verfälschung aus der operativen Distanz – ähnlich wie beim aufgeführten NEXT – fernendig bedeuten (und messbar sein). Um dem entgegenzuwirken, wird ein bekannter oder bekannt zu machender Vektor bemüht (vgl. Bild 5.21), der sich im statistischen Mittel einer möglichst gering versetzten zeitlichen Parallelität ähnlich wie ein Bündel inwendig aufaddierender (Mehr-)Pegeligkeit der Empfangsauswertung präsentiert. Die Folge ist, dass sich zwar DAs gegenseitig stören, aber über die Interferenzeffekte ein gut verwertbares Nutzsingal umfassender, mittelbarer Abstufungen ge-



**Bild 5.20**  
Selbststörung, positiv zu sehen

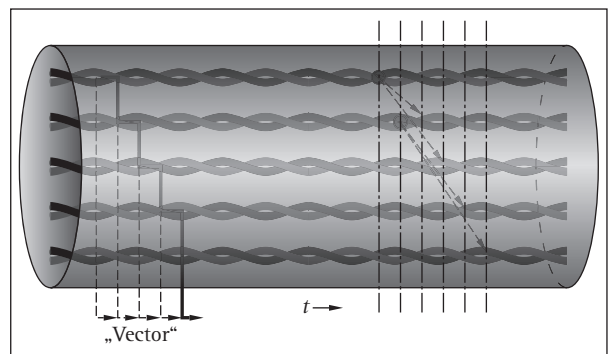
liefert wird. Interferenz bedeutet hier ja nicht nur Dämpfung oder gar (Teil-)Auslöschung und Verfälschung eines Nutzsignals aufgrund seiner Digital-Merkmale, sondern auch Verstärkung, die auch gerade bei Überlagerung greift. Dass es zu einem geringen Verzug eines jeden Symbol-Starts kommt, ist ohne Belang.

Dies ist – zunächst unabhängig von der Beschaltungsdichte – hauptsächlich bezüglich des Downstreams mit höherer Bandbreite und höherer eingefügter Übertragungsleistung (dimensionslos 20 dB) anzusetzen zum DSLAM-nahen ausgelösten NEXT. (Tatsächlich gibt es eine Verschiebung der spektralen (und normalisierten) Leistungsflussdichte.) Dem FEXT am fernen Ende, „ungebündelt“ beim Teilnehmer, steht gegenüber das (auch messtechnisch) vernachlässigbare NEXT, das dann vom VDSL2-Modem kommt in Richtung DSLAM, und zwar gebündelt. Im langsameren Upstream an (Self-)NEXT und dessen FEXT verlieren sich diese (fast) im DSLAM aufgrund der niedrigen eingefügten Übertragungsleistung (dimensionslos 13 dB).

### Keine geschlossene Schnittstelle mehr

Hinter dem standardisierten Vectoring eines insgesamt stärkeren Sendens vom DSLAM aus verbirgt sich einseitig eine Art Vorlauf-Algorithmus – der erwähnte versetzende Vector: Die im (Gegen-) Uhrzeigersinn abgestimmten/abgezählten, etwas verrückten Sektoren (im Konstellationsdiagramm) z. B. mit 64 Symbolwerten des oben genannten mehrpegeligen QAM sind mit der Abbildung von den in Reihenfolge kombinierten Binärwerten hinsichtlich der Amplituden- und auch der tatsächlichen Phasen-Werte etwas drehbar, Letzteres mit einem (extrem) kleinen Zeitversatz der komplexen Ebene. Dies wäre mit keinem nennenswerten Verlust der Übertragungskapazität ver-

bunden, bedeutet aber, dass der Puls-Versatz der resultierenden Symbol-Taktung genauestens an Paaren im Bündel abzustimmen ist. Deshalb gehört der Vector für das verteilte Zugangsgegenüber des DSLAM, was die DSL-Modems sind und zur zutreffenden Nutzsiegel-Auswertung bekannt sein müsste, eigentlich dem Anschlussnetzbetreiber für seine digitale Linientechnik mit offener Schnittstelle. Die Darstellung in Bild 5.21 ist ein Beispiel an positiver Verteilungswirkung eines extrem geringen zeitlichen Versatz-Ablaufs, eben bei dem Vector, mit zwei Sende-Beispielen zum bündelinternen Überstrahlen. (So etwas hat natürlich auch Grenzen entsprechend der maximalen Anzahl an Leiterpaaren im Bündel/Strang.)



**Bild 5.21** Vectoring im Zeitlage-Raumlage-Vielfach

Es entsteht ein Zeitlage-Raumlage-Vielfach; folglich stehen Symbol-Signale alles andere als zeitlich exakt aufeinander (orthogonal, vgl. Bild 1.6) und präsentieren sich anders. Der oben genannte Phasen-Versatz garantiert die Ungleichheit von (fast) parallelen Nutzsiegeln auf der Leitung. Jedoch um nachbarliche Störungen der Doppelader (DA) an (Self-)FEXT zu bekämpfen, gilt es Stoßstellen unterwegs zu vermeiden, verursacht durch die Auflegungsichte der

dortigen, weiter verzweigenden, dem MfG nachgeschalteten passiven Schalt- und Verteiler-Kontaktierungen/„grauen Kästen“ einschließlich deren weiterhin (immer noch) „Schwenken“ an Übergängen zu privaten Innenleitungsnetzen mit weiterer Verteilung/Verzweigung im Feld der Digitalen Fabrik. Diese Passivtechniken sind deshalb bei hochrätigen DSL-Varianten eigentlich zu vermeiden.

Aus einem Vectoring sich einstellende Robustheit allgemein, auch gegenüber anderen Störungen, ergibt ein weiteres Szenario, z. B. ein auf IP basierendes Industrial Internet-of-Things, kurz IIoT, worunter oft ein Server vor Ort verstanden wird mit seinen Connected Devices an Sensoren und Aktoren. Aber es werden auch Connected Devices als vernetzte Apparaturen eines Industrial IoT Servers vor Ort auf dem Firmengelände – ähnlich Slaves und Master – mittels der präsentierten Möglichkeiten an DSL-Varianten direkt angebunden. Es reicht für beide Fälle die Doppelader (DA), sie ist für die aktive Vernetzung in der Digitalen Fabrik preiswert und flexibel. Bezüglich der bewerkstelligbaren Entfernung (operating distance) innerhalb des privaten Innenleitungsnetzes sollte neu verlegt werden und dann, ausgerichtet am Factory Communication Grid der Topologie Liniennetz, natürlich (und trotzdem) möglichst paarweise geschirmt, einzeln und zusätzlich bündelweise.

### Alternativen zu DSL

Vorausschauend, jedoch mit z. Z. unklarer Produkt-Bezeichnung als VULA (Virtual Unbundled Local Access), kann ein Teilnehmernetzbereich (TNB) ausschließlich und nur auf geschwitchter Ethernet-Basis sowohl mit Kupfer- wie auch LWL-Standardmedien gesehen werden. Hier würde eben das MfG nur (noch) als Kabel-Verteilstelle, und zwar „splitterlos“, nachgeordnet fungieren und den MSAN (Multi Service Access Nodes), wie bereits beleuchtet, eine besondere Bedeutung zukommen, nämlich zur Aufnahme der Switches und für den Übergang zu öffentlichen Fern- bzw. Metro-Netzen, sogar für „Funkmaste“ (vgl. Bild 5.15) öffentlicher Mobilfunknetze der neuen Generationen. Dies käme einem „Riesen-LAN“ für den Nahbereich gleich, auch als zur Ferne vorkonzentrierendes Netz (wie es mit dem erwähnten ATM einmal geplant war). Dienstetechnisch stehen weitere Alternativen an – auch für oben genanntes Ftt-/FTTx –, und zwar der regulierte breitbandige Layer 1,2 und 3 bzw. der Bitstream Access (BSA). Die Frage ist, ob der Bitstream (Bitstrom) rein auf der Basis von Glasfasern oder „TAL“ Layer 2 BSA (z. B. VDSL 175, VDSL 250) eine Zugangsleistung mit zusätzlichen Leistungen sein könnte. Es stehen im Raum lokale virtuelle Zugangsprodukte hierzulande und ebenso weitere Vorleistungsprodukte ähnlich den eher neutralen „unbundled TAL“ für andere Carrier.

Im Hinblick auf die verwendete VDSL-Linientechnik einschließlich Vectoring, was ursächlich nur für unmittelbare Nahbereiche der Hauptverteiler (HVt) als Ersatz und ohne weiteren Verteiler darunter anvisiert war, gibt es regulative Planungen zur nachweislich machbaren Mindest- und Maximal-Bandbreite, genannt Korridor, des asymmetrischen Downstreams und Upstreams. In Standard-Zugangsleistungsangeboten mit geschäftlicher Nutzung wäre es ähnlich konventionellen Daten-Fest-Verbindungen (FV) an garantierten Übertragungsraten, und zwar symmetrischen – nun vornehmlich des IP und der beidseitigen Network Address Translation, kurz NAT –, ratsam. Diese können auch aufbauen auf bereits etablierten Leistungsvarianten der DSL-Anschlussnetz-Linientechnik (zuvor ATM). Jetzt geht es um ein noch schnelleres Ethernet zur Basis für Next Generation Access (NGA) mit den erörterten VLAN-Bildungen geschwitchter, dem Layer 2 zugeordneter Technik. Ferner gibt es Vorstellungen zur Quality-of-Service (QoS) als differenzierender Verkehrsklassen-Transport: Best Effort versus Realtime z. B. für Sprache, Streaming versus Critical Applications. Der verbleibende Anteil der digitalisierten „TAL“ wird also zur Teil-Vorleistung eines erwähnten breitbandigen BSA-Zugangsleistungsangebotes, was wiederum DSL-Varianten-basierend sein dürfte.

Bei der alternativen LWL-Verwendung als Ftt-/FTTx (vgl. Bild 5.16) mit Ethernet (bis 1 Gbit/s) gibt es nur das Ansinnen eines Ausbaus zur passenden Gelegenheit, was so manches Gewerbegebiet hoffen lässt, hier 1- oder 2-fasrige LWL zu verlegen. Es ergeben sich wichtige Fragestellungen, wer übernimmt den Betrieb der LWL-Aktivkomponenten zur Breitbandigkeit und des hier auch asymmetrischen Downstreams und Upstreams an unterschiedlichen Richtungsübertragungsraten, wobei es ferner eine symmetrische Variante gibt.

Eine gänzlich andere digitale Option ist meist ebenfalls asymmetrischer Natur. Das heißt, der Downstream ist im Gegensatz zum Upstream (z. B. Q-PSK) ca. zehnmal höher als die Übertragungsrate in Gegenrichtung mit z. B. auch 64-QAM. Ähnlich verhält es sich mit der Anbindung per Satellit. Das sind die Breitband-Modems, welche einem aktiven Abschlusspunkt nahekommen, aber einer andersartigen öffentlichen digitalen Linientechnik: das breitbandige Koaxialkabel, was zuvor (nur) unidirektional für das Fernseh-Kabelnetz (Cable TV) genutzt wurde und nun mit einer dedizierten, bidirektionalen Digital-Multiplextechnik „upgraded“ ist, z. B. mit einer 6-MHz-Kanalrastrung, und Mittenlücke. Das hat an dem Asymmetriemerkmal hier nun nichts geändert. Was unter Hybrid Fiber Coax (HFC) rangiert, ist das, was an Glasfaserstrecken im öffentlichen Raum zur Verteilung verwendet wird, wo dann die optischen Signale in elektrische gewandelt werden für koaxiale Anschlusskabel.



# Stichwortverzeichnis

## Symbole

0-Volt-Spannungsreferenz/Bezugspotential 37, 55, 176  
1:1-Kabel 122  
1GBase Ethernet 148  
4,5G 272  
5G/NGN 272  
10Base-T Ethernet 143  
10GBase Ethernet 147  
19-Zoll-Einschübe/-gestelle 68  
40GBase Ethernet 153, 244  
100Base Ethernet 144  
100GBase Ethernet 154, 244  
100 Ohm Nenn-Impedanz (Kabelstandard) 176, 189, 223

## A

A/B-Schalter 66  
Abschattung, Digitalfunk 261, 267  
Abschlusspunkt 206  
- der öffentlichen Linientechnik (APL) 67, 199, 209  
Abschluss-Segment 202  
Abschlusswiderstand 111, 124, 180  
a/b-Schnittstelle 49  
Absorption 232, 268, 294  
Abstand 9, 164  
- geometrischer Regel- 76, 83  
- Mindest- 172  
Abstrahl-Charakteristik 232  
Abstrahlenergie 266  
Abstrahlungssicherheit 195  
Abtastung engl. Keying 18, 38, 162, 180, 232  
- Frequenz 185  
Abzweigungen 52  
- punkte 76  
Access Cord 155  
Access Multiplexer (AM) 3, 15  
Access Node (AN) 11, 208  
Access Point (AP) 61, 79, 248, 264, 282  
Achtdrahttechnik 2, 34, 142, 153, 191, 218  
- Ethernet 169  
ACK/NAK-Pakete 23, 137f.  
ACR (Attenuation-to-Cross Ratio) 169  
Active Optical Networking (AON) 9  
Adapter-Kabel 213  
Add & Drop-Multiplexer (ADM) 12  
Adern-Dicke 182  
Adernmass-Einheit 182  
Ad-hoc Networking 288  
ADPCM-Verfahren 115

Adressierung 86  
Aggregierung 87  
aktive Komponenten 85  
aktive Linientechnik 200  
Alien Crosstalk 165  
A(lien)-NEXT (Fremdes Nahneben-Sprechen) 169  
Allgemeingenehmigung 256  
Allgemeinzulassung 258  
Allgemeinzuteilung, Frequenz 256  
Aloha (S-) 270  
Alphabet 172  
Amplitude 38, 162, 178, 211, 231, 272  
Amtsleitung (AL) 67, 199  
Anordnungsmuster 79  
Anregungsdistanz 291  
Anscheinlos-Widerstand engl. Seemless Resistance 178  
Anschlussbereich 87  
Anschlusskabel 61, 157  
Anschlussleitung 199, 231  
Anschlusslinien 103, 148  
Anschlussnetz 102, 242  
Anschluss-Schnur engl. Access Cord, Kabel 155, 195, 221  
Anschlusstechniken 228  
ANSI Standards 31  
Antenna Diversity 267  
Antenne 223  
Antriebsverrichtungen 44  
Anwendungsklassen 188  
Anzahlrestriktion 18  
Anzapfpunkte/-stellen 75, 94  
Arbeitsspannung 37, 49, 182  
- Nenn- 43  
ARCnet 17, 98, 131, 224  
ARQ-Verfahren 137  
Array 245  
ASIC (Application Specific Integrated Circuit) 41, 273  
asymmetrisch(e/es) 7, 138, 148  
- Leiterpaar 39, 117  
- DSL (ADSL) 209  
- Verbindungen 27  
asynchron (taktlos) 119, 135  
- Paket-Übertragung 119  
Asynchronous Balanced Mode (ABM) 123  
Asynchronous Response Mode (ARM) 123  
Asynchronous Transfer Mode (ATM) 10  
Attenuation to CrossTalk Ratio (ACR) dt. Dämpfungübersprech-Verhältnis 165  
Aufbauelemente 155, 228  
aufgestellt 62

- Auflegung, Kontakt- 168, 191, 216
    - Pin in der Steckerfassung 214, 244
    - sdichte 211
  - Aufstellorte 69
  - AUI (Attachment Unit Interface) 18
    - (gekreuztes) Kabel/-Schnittstelle 142
    - Port/-Adapter 141
  - Ausbreitungsgeschwindigkeit (NVP) 16, 159
    - Nenn- 19, 110, 171, 230
  - Ausbreitungsmoden, LWL-Technik 228
  - Ausdehnung 197
    - LAN- 22
  - Ausfall 90, 106
  - Ausgangsdämpfung 172
  - Ausgangswiderstand 179
  - Auslass engl. Outlet 52, 61, 69, 81, 229
    - Abstände 83
    - Neigung (0°/45°/90°) 61
  - Auslastung 148
  - Ausleuchtkegel 79
  - Außenbereich 56
  - Außendurchmesser 159, 229
  - Außenhülle 156, 217, 231
  - Außenkabel 157
  - Außenmantel 159, 230
  - Außerband-Aussendungen 186
  - Ausstrahlungen (Emissionen) 164
  - Auto(mated)-MDI-X, Port intern 145
  - Auto(mated)negotiation 146
  - Automationsebenen 160, 177
  - Automationspyramide 76, 113
  - Automationszelle 75, 127
  - Automotive Ethernet 135
  - AWG (American Wire Gauge, auch All Wire Gauge) 159, 165, 182
    - Mass 197, 224
  - AWGN (Adaptive White Gauss Noise) 269
- B**
- Backbone 97, 106
  - Backhaul 79
  - Backplane, Ethernet 150
  - Backward Error Corrections (BEC) 136
  - Band 8, 159, 235
    - breite, Übertragung 88, 241
    - dynamische 13
    - gespreizt 9
    - modale, LWL-Technik 232
    - Multi- 251
    - Nutzungsgrenzen 185
    - Rasterung 242
  - Bandkabel 27
  - Basisband-Verfahren 13, 37, 167, 185
    - Signal/-Übertragung 140, 162, 228
  - Basisstation (BS) 203, 248, 255, 271
  - Baud (Bd) 7, 38, 45, 241
  - Baum 4, 23, 144
    - Diagramm 103
    - Mehrfach- 107
    - struktur 112
    - Topologie 92, 158, 224
    - wurzellos 101
  - Beacon 296
  - BEB (Binary Exponential Backoff) Hochlaufalgorithmus 19, 144, 281
  - Bedieneinrichtungen/-stellen/-plätze/-pulte 63
  - Bediengerätschaft und -einrichtungen 116
  - Belastbarkeit 166, 175, 181, 238
  - BER (Bit Error Rate) 166
  - BEREC 259
  - Beschaltbarkeit 213
  - besetzt 45
  - Bestätigung, -sverkehr 137
  - Betriebsdämpfung 161
  - Betriebsfunk 276
  - Betriebsgenehmigung 257
  - Betriebsspannung 40, 124, 180
  - Beugung 247, 268
  - Bewehrung 159, 229
  - Bezugsdämpfung 240
  - Bezugsfrequenz 178, 273
  - Bezugskette 197
    - öffentliche 207
    - vereinfachte 202
  - Bezugspotential 37
  - bidirektional(e) 3, 48
    - Mehradrigkeit 149, 191
    - Nutzung 242
    - Zweiadrigkeit 117
  - Biegeradius 229
  - Biegevermögen/-fähigkeit/-samkeit 57, 229, 233
  - Biegungen 58, 243
  - Binärcode 172
  - binäre Zustände (An/Aus) 115
  - Binärfolge 37, 43, 115
  - Binärlogik 39 Bitbus
  - Bitfehler engl. Bit Error 136, 164, 178, 227, 240
  - Bitfehlerrate (BER) engl. Bit Error Rate 165, 172, 227, 248, 267
    - Erhöhung 234
  - Bitfolgeunabhängigkeit 43
  - Bit-Latenz 21, 38
  - bit-parallele Übertragung 27
  - Bit pro Sekunde (BPS) bzw. (bit/s) oder (b/s) 8, 38
  - Bit-Rückserialisation 8
  - Bit-Serialisierung 162, 233, 243
  - bit-serielle Übertragung 5, 155, 172
  - Bits pro Sekunde pro Hertz 272
  - Bitstream Access (BSA) 212
  - BIT, uncodiert engl. Binary digiT 172
  - Blades 72
  - Blindstecker 226
  - Block 75, 251
  - Bluetooth 288, 294
  - BNetzA (Bundesnetzagentur) 254
  - Boden-Kabelbrücke 60
  - Brandschott 52
  - Brechungsindex/-sprofil, LWL-Technik 230
  - Breitband-Ausbau 201
  - Breitbanddatenübertragung innerhalb von Grundstücksgrenzen 277
  - Breitbanddatenübertragungssysteme 275
  - Breitband/-igkeit 4, 153, 224, 243
  - Breitband-Modem 212
    - und Router-Bank 70
  - Breitband-Verteilanlagen, -netze 224
  - Bridges/Layer 2 Switche 98, 109, 144
  - Bridging-Protokolle 24
  - Broadband Wireless Access (BWA) 275
  - Bruchfestigkeit 228

Brücke (Trasse) 52, 57  
 brücken 70, 221  
 BSA (BitStream Access) Zugangsleistungsangebot 71, 212  
 BS (Base Station) 264  
 Buchse/Port bzw. Dose 213, 244  
 Bündel, Kabel- 2, 68, 101, 155, 178, 183, 195, 217, 229, 237  
 - Groß- 156  
 - Grund- 197  
 - Klein- 191  
 Bündelfunk 276  
 Bus 94, 104, 125, 140, 160  
 - Abgriff 143, 179  
 - Anschluss 128  
 - LAN- 96  
 - Linien- 128  
 - logisch-funktionaler 144  
 - Multidrop- 28  
 - Parallel- 150  
 - serieller 119  
 Busfähigkeit u. -merkmal 3, 179, 218, 224  
 Bus im Funkfeld 282

## C

CABs (Conformity Assessment Board) 253  
 CANbus 129, 134  
 - Connector 221  
 CAP-4/-16 (Carrierless Amplitude Phase) 186, 273  
 Carrier 140, 212, 274  
 - wettbewerbliche 200  
 Carrier Frequency (CF) 6  
 Carrier Grade Ethernet-Transport 148, 153  
 Carrier-Interference (C/I) 261  
 Carrier Sensing (CS) 19  
 CAT (Cordless Advanced Technology) 271  
 CC-Link 131  
 CDMA (Code Division Multiple Access) 242, 272, 280  
 CDM (Code Division Multiplexing) 8  
 CE-Kennzeichen/-nung 253  
 Centronics 27, 222  
 Channel-Model 188  
 cladding 228  
 Clos-Topologie 71, 96, 104, 112  
 Cloud 62, 203  
 Cluster 82  
 Codec 114, 138, 273  
 Codierungsform, Signal- 172  
 Collision Detection (CD) 19  
 Collision Domain 22, 97, 141, 160  
 Combiner 242  
 Combiports oder Comboports 151  
 Commit-Protokolltechnik (Ein-, Zwei-, Drei-) 138  
 Consolidation Point (CP) 53, 58, 76, 100  
 Container Transcoding & Mapping 148  
 Controller 26  
 Coordinator 289  
 Cordless 271  
 CPE (Customer Premises Equipment) 33, 121, 204, 231  
 CPN (Customer Premises Networking) 71, 231  
 Cross-(Connect-)Multiplexer/-ing (XC) 5, 11, 109  
 - Digital- (DCC, auch DXC) 12  
 CSMA (Carrier Sense Multiple Access) 270  
 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance)  
 20, 281

CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection) 17,  
 22, 111, 160, 243  
 CTS-DTR (Clear-to-Send, Data-Terminal-Ready) Mimik 120  
 CWDM (Coarse WDM) 243  
 Cyclic Redundancy Check (CRC) 136

## D

Daisy Chained 89  
 Dämpfung 168, 182  
 - atmosphärische 268  
 - Faser- 233  
 - Freiraum- 253, 261  
 - effekte 185, 241  
 - erscheinungen 189, 239, 267  
 - profil 9, 186, 234  
 - Rest- 174  
 - stellen 244  
 - verhalten 231  
 - verlauf entfernungsabhängig 238  
 - verlust entfernungsbedingter 165, 234  
 Dämpfungsbezugsplanung 174, 239  
 Dämpfungsglied 72, 85, 108, 161, 172, 239, 245  
 Dämpfungsplanung 174, 237, 244, 263  
 - mit elektronischem Budget 174  
 - mit optischem Budget 239  
 Dämpfungswiderstand 162, 176, 181  
 Dark Fibre 14, 201  
 Data Center (DC) 62, 72  
 - Anforderungen 73  
 Data Center (DC) in a Box 72  
 datagrammartig 24  
 Data-over-Power bzw. Power-Line-Communication (PLC) 36  
 Dateitransfer 139  
 Datendurchsatz 140, 160, 228  
 Daten-Fernübertragungen (DFÜ) 163  
 Datenpaket 24, 43, 145, 243  
 Datensignale (TD, RD) 120  
 Datensignal-Ursprung 6  
 Datenströme 32  
 Daten-Übertragungsrates 238  
 Dauerleistung in Watt (W) oder Milli watt (mW) 43  
 dB (Dezibel) Zehneralgorithmus engl. deciBel 44, 161, 173  
 dBd(ualis) 172, 260  
 dBi(isotrop) 260, 266  
 dBm 163, 260  
 dBmW, dBW 44, 163  
 dBp 260  
 dBmV, dBV 49  
 DCE (Data Communication Equipment) 121  
 DCF77 Normalzeit 296  
 DECT (Digital European Cordless Technology) 271  
 Demand Access Multiple Access (DAMA) 17, 170  
 Detektoren 232  
 - Technik 243  
 DeviceNet 129  
 Device-to-Device-Kommunikation (D2D) 296  
 Differentialverfahren 41, 118, 191, 219  
 Digitaler Kurzstreckenfunk engl. Digital Short Range  
 Communications (DSRC) 278, 285  
 digitaler Signalprozessor (DSP) 37, 147, 162, 193, 232, 263, 273  
 Digitalsignal an Rechteckigkeitsmerkmale 21, 209  
 Digital Subscriber Lines (DSL) 167, 209, 217  
 - (Anschluss-) Linientechnik 7, 68



- (Anschluss-/Zugangs-) Router 206
- Modem 206
- DIN-Stecker 222
- Dipol, Antenne 260
- Direct Sequence Spread Spectrums (DSSS) 288
- Direkt-DSL 207
- Direktkontakte 225
- Discrete Multi-Tone (DMT) 209
- Dispersion (Abhängigkeit) -Technik 232
  - chromatische Dispersion 245
  - modale 236, 243
  - Polarisations- (Ebenen) 239
- Distanz 5, 166, 235
  - Findung 239
- Distributed Antenna Systems 275
- Distribution Areas 51, 69
- DMT (Discrete Multi-Tone) 186, 273
- Doppelader (DA) 45, 156, 182, 190, 197, 206, 212
  - Mehrfach-DA/-Bündel 210
- Doppelanschluss 25, 93
- Doppelbaum 106 f.
  - Topologie 209
- Doppel-Bus 98, 225
- Doppelring 111
- Doppel-Schirmungen 214
- Doppelsprechen 166, 170
- doppelter Stern 100
- Doppel- und Mehrfachabstützung (Anschlusslinien) 78, 81, 93, 101, 106, 202
- Doppler engl. doubler 37
- Doppler-Effekt 270
- Double Twisted Double Pair (DTDP) Vierdraht 21, 41, 118, 144, 156, 191, 229
- Downlink 79, 93, 104, 138, 218, 252, 266
- Downstream 148, 209, 296
- Drahtgeflecht 193
- Drahthülse 221
- Drehungen 233, 243
- Dreieck 90
- Driver 121
- DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) 71, 207
- DSL ANB (Alternative Anschlussnetz-Betreiber) 205
- DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) 278, 280, 284, 293
- D-Sub Steckverbinder 96, 120, 125, 128
  - 9-polig 222
  - 15-polig 142
  - 25-polig 119
- DTE (Data Terminal Entry) 35
- DTE (Data Terminal Equipment) 121
- Dualband 251
- DualPort-Adapter 93, 96 f., 107, 110
- Dual-RZ 109
- Duoax 223
- Duplex-(Doppel)faser 242
- Duplex-Konnektor, LWL-Technik 244
- Durchführungspanels 51
- Durchgängigkeit 42
- Durchlass-Fenster 9, 233
- Duty-Cycled (DC) 278
- DWDM (Dense WDM) 236, 243

## E

- Echo Cancellation bzw. Compensation 167
- echter Bus 127
- echter LAN-Bus 96
- Echtzeit-Erfordernis 5, 79
- Echtzeit-Fähigkeit 23, 136, 160
- Echtzeit-Forderung nach RealTime Ethernet (RTE) 92, 140, 207
- Edge Cloud 73, 105, 112, 204, 296
- Eigengewicht (Kabel) 51
  - höheres 194
- Ein-/Auskopplung 239
- Einblasen, -(verlege)technik 52, 158, 229
- Einfach-Stromweg 122
- Einfügedämpfung engl. Insertion Loss 171, 215, 244
- Einfügeleistung 44
- Einfüge-Widerstand/-Impedanz 180
- Eingabe-/Ausgabe-(E/A-) engl. Input-Output (IO) Ebene 27, 114, 140
- Eingangswiderstand 179
  - anpassender 180
- Einheitsmedium 17
- Einkanalsystem 16, 19, 22
  - geschlossenes Nutz- 20
- Einkopplungsdämpfung 233
- Ein(nutz)kanalsysteme 26
  - geschlossene 23, 141, 149
- Ein-Richtungsbetrieb (Simplex) 117
- Einschub-Gestelle 69
- Einspeise-Gleichspannung 35
- Einsteckschiene (Slot) 63
- Einstrahlfestigkeit 164, 195
  - störungen 193
- Einstrahlung (Immission) 164, 193, 232, 253
- Einzelanschlüsse 229
- Einzelfaser-Schutzbeschichtung 228
- Einzelisolation 156, 190
- Einzelleiter 156
- Einziehen 228
- EIRP 260
- elektrische Belastbarkeit 175
- elektrische Leistung 175
- elektrische Energie(übertragung) 43, 174, 227
- elektrischer Widerstand 174, 181, 190
- elektromagnetisches Spektrum 234, 248
- EL-FEXT (Equal Level), dt. gleichpegelig 171
- EMC (Electromagnetic Capability/Compatibility/Compliance) 253
- EMI oder RFI (Electromagnetic Interference bzw. Radio Frequency Interference) 253
- Emitter-Technik 231, 243
- EMP (Electro-magnetic Pulse) 254
- Empfänger- bzw. Detektor-Empfindlichkeit 161, 228, 239
- Empfangsaufnahme 161
- Empfang (-skanäle, -signal) 233, 242
- Empfangsmodus 137
- Empfangs- oder Sende-Bereitschaftsanfrage 137
- EMV (Elektromagnetische Vertraglichkeit) 165, 193, 210, 226, 253
  - Gesetz (EMVG) 193, 253
  - Problem-/Sicherheit 150, 182, 248
  - Schutzklassen 253
- Endgerätschaft 227
- Endkabel (EK), -Bündel 68, 197
- Endkunden-ZwVz (Zwischen-Verzweiger) 209
- Endleitung (EL) 197, 215
- Endpunkte/-station 86, 90, 107

- Endspan-Device, PoE 34  
 Endverteiler (EVt) 68, 198, 209  
 End-Verzweiger (EVz) 204  
 Entfernung 235, 243  
 - auslegungen 232  
 - bewältigung 195, 228, 242  
 - obergrenzen 236  
 - überbrückbare/machbare 11, 44, 87, 141, 160  
 Entfernungseinsparungen 75, 161  
 - logisch-funktionale 142  
 Ent-/Kopplung 23, 87, 106  
 entkoppeltes Kleinst-LAN vor Ort 116  
 Entstörung (-maßnahmen) 165, 193, 253  
 Entzerrer (Höhen-/Tiefen-) 173  
 EPON (Ethernet Passive Optical Networking) 148, 242  
 Erde/-ung 41, 175, 193, 214, 224  
 - engl. Earth 117  
 - engl. ground 37  
 Erdschleife 193, 227  
 Erdung, Schirmung 55, 73, 224, 255  
 Erdungs-Set bzw. die Erdungsschiene 71  
 ERP (Effective Radiated Power) 260  
 Erreichbarkeit 85  
 - sgrenze 11  
 Ersatz 193  
 Ersatzwege bzw. Ersatzkanten und -knoten 88, 91  
 Erweiterte Grundstücksanlage 275  
 Etagenrahmen 63  
 Ethernet 17, 87, 96, 112, 160, 175, 217, 231, 240  
 Ethernet-Bus 108  
 Ethernet/Cheapernet 98  
 Ethernet-Extension dt. -Verlängerung 89, 141, 231  
 Ethernet-in-the-First-Mile (EFM) 148, 242  
 Ethernet/IP (EIP) engl. Industrial Protocol 129  
 Ethernet-Kompatibilität 195  
 Ethernet, native 202  
 Ethernet-on-a-Chip 35, 116, 126  
 Ethernet Passive Optical Networking (EPON) 151  
 Etiketten/-ierung 159, 238  
 Europäische Kommission 259  
 E(xtended) R(ange) 236  
 E(xtended) W(ave) 236  
 „Exposed Terminal“ 286  
 externer Parallelbus 27  
 externe Speichermedien 28
- F**
- Fabrikationszelle 48  
 Factory Communication Grid 3, 26, 53, 75, 85, 93, 102, 117, 127, 157, 204, 212, 224, 244  
 Fan-Out (Units) 59, 98, 229  
 Faraday'sche Schutzkäfingwirkung 61  
 Farben 217, 232  
 farbliche Isolations- u. mit Ringe Ummantelungs-  
 Codierungsschema 158, 198, 217, 229  
 Fat Tree 106  
 FC (Fibre Channel) 231, 245  
 FD (Full-Duplex) 169  
 - Spacing 242, 251  
 FDD (Frequency Division Duplex) 7, 224, 242, 278  
 FDM (Frequency Division Multiplexing) 149  
 FDDI 231  
 Feedback 47, 137  
 Feed/-er bzw. Feeder Cable, Antenne 207, 265, 275  
 Fehlerbündel engl. Error Bursts 136, 269  
 Fehlerträchtigkeit 210  
 Feldbus-Ebene/-Technik 76, 116, 221, 233  
 Feldbus-Netztechnik 127, 140  
 Feldbus-Systeme zur Basis Ethernet u. zur Basis RS-485 128, 140  
 Fenster, LWL-Technik 234  
 Fernmelde-Amt (FA) 19  
 Fernmelde-Innenkabel großbündelige 197  
 Fernmeldeschrank 67, 198  
 Fern-Übersprechen engl. Far End Cross-over Talking (FEXT) 66, 150, 170, 190  
 Fernwirkfunkanlagen 277  
 Fest-Verbindungen (FV) 212  
 FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) 278  
 Fibre-to-the-Node (FttN) 204  
 Fibre to the Premises (FtTP) 148  
 Field Devices 54, 116  
 Field Device Server 54, 68, 88, 99, 116, 140  
 Filter 9, 24, 173, 242  
 Fixed Wireless Access (FWA) 275  
 Flach(band)kabel 119, 155  
 Flexibilität 85  
 - verlegetechnische 198  
 Flexray 135  
 Flüssigkeitsabscheider 53  
 Flusskontrolle, Übertragungsprotokoll 22  
 FOIRL 141, 231  
 Folgestation(en) 98, 123  
 Folie 159, 193  
 - Schirmung 196, 224  
 Forderung nach Echtzeitfähigkeit 18  
 Fortpflanzungsmoden, LWL-Technik 230  
 Forward Error Correction (FEC) 138, 269, 294  
 Fotodiode, LWL-Technik 232  
 Frame Check Sequence (FCS) 136  
 Frame-Error-Rate (FER) 172  
 Frame-(-/Paket-) Broadcasting 139  
 Frei(luft)kabel 52, 56  
 Fremdsignale 165  
 Fremdspeicherung 176  
 Frequency Division Duplex (FDD) 7  
 Frequency Division Multiple Access (FDMA) 5  
 Frequency Division Multiplexing (FDM) 6  
 Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) 280  
 Frequenzaufnahme 177  
 frequenzbemessene Kanal-Kapazität 236  
 Frequenzbereichsausweisungen 256  
 frequenzdispersiver (Wellen)widerstand 177, 186  
 Frequenzgang 3, 159, 185, 210, 260  
 Frequenzlage-Zeitlage-Vielfach 11, 271  
 Frequenz-Multiplexing (FDM) 248  
 Frequenz(nutzungs)plan 251  
 Frequenzraster/-ung 251  
 Frequenz 5  
 - Übertragungs- 177  
 Frequenz-Schwerpunkt(angabe) 186, 273  
 Frequenzzuteilungen, Digitalfunk 249, 256  
 FTEG-Liste 258  
 FttB (Fibre to the Building/Block) 204  
 FTTx (Fibre-to-the-x)/ftt- 71, 148, 201, 212, 231  
 FttH (Fibre to the Home) 204  
 FttP (Fibre To The Premises) 204

Führung, Kabel 194  
 - Zwei- und Mehrwege- 76, 101, 209  
 Führungs- und Leitstände 76  
 Führungswege(verlauf) 76, 85  
 - rechtwinklig 78  
 Full Service Access Nodes (FSAN) 11, 202  
 Funkanlagen geringer Leistung 277  
 Funkanlagengesetz (FuAG), 254  
 Funkfeld-Auslegungen 88  
 Funkfeldpegel/-igkeit 251  
 Funkfeldstärke 261  
 - Nutz- 262  
 - Schwankungen 266  
 Funkkategorien 256  
 Funkloch 268  
 Funk-Module 54  
 Funk-Repeater 79  
 Funkruf engl. Paging 257  
 Funkstrecken 86  
 - gerichtete 248  
 Funkwellenausbreitung engl. Radio Propagation 266  
 Funk-Zelle 82, 271  
 F/UTP Vierdraht 191

## G

Gain dt. Gewinn, Dämpfung 162  
 - Antenna 266  
 Speichernetze engl. Storage Area Networks (SAN) 29  
 Gateways 94  
 Geflecht-Schirm 196, 223  
 Gegensprechen engl. Full Duplex (FD) 7  
 Gender Changer 221  
 Geradlinigkeit, Kabel 157  
 geradliniger Verlauf 239  
 Gerätschaft 240  
 Geräusch-Pegel/-Spannung 166, 178  
 Gesamtausdehnung 75, 141  
 Gesamt-Dämpfung 163  
 Gesamt-LAN 104  
 Gesamt-/Ende-zu-Ende-Laufzeit 19  
 Gesamt-Schirmung 156, 191  
 Geschwindigkeitssprung 2, 106 f.  
 Getrenntlageverfahren 5  
 GFP (General Framing Procedure) 14  
 GigaBit-Ethernet 71, 147, 192, 227, 234, 240  
 Gittermodell 83  
 Gitternetz 75  
 Glasfaser 199, 227  
 - Anschluss (GfA) 203  
 - bündel 228, 243  
 - Kontaktstift 238  
 - Längenbegrenzung 236  
 - Mehrfach- 59, 209, 242  
 - parallele 152  
 - Strecken 231  
 - Zwillings- 229, 237  
 Gleich-Arbeitsspannung 177  
 Gleichkanal-Unterdrückung 270  
 Gleichspannung 37  
 - sschnittstelle 191  
 Gleichspannungsverfahren (unbalanced) 39, 43, 225  
 Gleichspannungswiderstand 176  
 Gleichstrom 44, 177

Gleichstromkreis engl. Direct Current (DC) 176  
 Gleichstromwiderstand 175, 182  
 Gleichwellenbetrieb/-sender 262  
 Gleichwellen-Widerstand 177  
 GMII (Gigabit Media Independent Interface) 147  
 Go-Back-N 137  
 GPON (Gigabit Ethernet PON) 151, 242  
 Gradienten(index)profil, LWL-Technik 231  
 Graphentheorie, angewandte 85  
 Graph, ungerichteter 85  
 Grenzfrequenz (-Angabe) 187, 236  
 Grenzwellen-Bereiche 250  
 Grid-Grundriss, -Muster 78, 88  
 Grundriss 75  
 Grundstück 276  
 Grundstücksgrenzen überschreitend 207  
 Grundstückspersonenruf 276  
 Grundstücksrichtfunk 275  
 Grundstückssprechfunk 276  
 Gruppenbildungen 103  
 GSM 258, 264, 271

## H

Halb-Duplex (HD) 17, 111, 137, 169, 190, 242, 256, 282  
 - Betrieb 20, 117, 270  
 - Eigenschaft 140  
 Halterungssysteme 52  
 Hamming-Distanz 41  
 Handover 248, 264, 272, 277, 283, 295  
 Handshake-Prozedur 120  
 HART 129  
 Hauptanschluss (HA) 163, 183, 197, 215, 231  
 Haupt-Kabel (HK), Bündel 156, 197  
 Hauptverteiler (HVt) 199, 201  
 - stellen 102  
 Head(end) 99, 104  
 Header 22, 136  
 Hertz (Hz) 235  
 Hexagon 80, 262  
 HF-Dichtigkeit 164, 193, 220  
 „Hidden-Terminal“-Problem, Mehrfachzugangsverfahren 285  
 Hierarchie(-Bildung) 9, 15, 23, 101, 197  
 - Merkmale 87  
 - flache 93  
 Hinleiter 49  
 Höheneinheit (HE) 70  
 Hop 24  
 - Count 85, 91, 98, 107, 110, 138, 140  
 - Multi- (Transit) 92, 104, 110  
 Host 119, 140  
 HSPA (High Speed Personal Access) 272  
 Hub 23, 64, 98, 231  
 - Bus- aktiver 143  
 - Bus- passiver interner Verdrahtung 142  
 - Port (MDI) 144  
 Human Machine Interface (HMI) 116  
 Hybrid Fiber Coax (HFC) 227  
 Hybrid-Kabel 69, 89, 223, 227  
 Hybridverkabelung 33

**I**

IAE (Internationale-/ISDN-Anschlusseinheit) 216  
 Idle 197  
 - Pairs 34  
 IEC 229, 232, 236, 239  
 IEEE 233, 236, 242  
 IEEE 100Base-ER4 (Extended Range) 236  
 IEEE 802.11 284  
 IEEE 802.15 288  
 IEEE 802.16 287  
 IEEE 1588 296  
 Ikosaeder 84  
 Impedance Ranges 179  
 Impedanz-Anpassungen 178  
 Impuls/gepulst 45  
 Impulsstörungen 253, 270  
 „IN“ 89, 96  
 induktive Funkanwendung 249  
 Industrial Ethernet 222  
 Industrial Internet-of-Things (IIoT) 22, 206, 212, 291  
 - IIoT Server 287  
 Industrie-Steckverbinder 223  
 Industry, Science, Medicine (ISM) Störband 255  
 Infrarot (IR) 234, 249  
 - Nutzungsbereich 294  
 Infrastruktur 228  
 Infrastrukturatlas (ISA) 201  
 Injector, PoE 35  
 Innenkabel 157  
 Innenleiter 223  
 Installationskabel 159  
 Interbus 130  
 Interconnection Partner u. Points (ICP) 201  
 inter DC (Data Center) 153  
 Interface-Karten 27  
 Interferenz (-Effekte) 167, 268, 275  
 Intersymbol-Interferenz 8, 238  
 Intra-Building 201, 231  
 Intra-Networking 25  
 I(nverted) Nutzsingalcodierung 38, 47  
 IO-Link 114  
 ISDN 231  
 ISO 239  
 isochron 135  
 ISO/IEC 245  
 Isolation (Dielektrikum) 165, 193, 230  
 - gemeinsame 27  
 Isolations/Isolierhülle 159, 196  
 Isolationsmaterial 156, 168, 183, 225  
 Isolationsschema 217  
 Isolierung 159, 195  
 ITU-T 232, 236, 239, 242 f.

**J**

Jam-Signal 22  
 Jitter 233, 270  
 - chromatischer Wege-, LWL-Technik 235

**K**

Kabelart 157  
 Kabelauffang 53  
 Kabelbaum 101

Kabelgurt (1:1) 27, 155, 221  
 - Mini- 32  
 Kabelkanäle, horizontale und vertikale 51, 60  
 Kabelkennzeichnung 238  
 Kabellänge 75, 83, 161  
 - konfektioniert 222  
 Kabelrohr 229  
 Kabelrolle 157, 190, 217  
 Kabelschutzsysteme 195  
 Kabelspezifikationen 174  
 Kabeltrassen 58  
 Kabeltyp 155, 178  
 Kabelverlängerung 215  
 Kabelverteiler (KVt) 64  
 Kanal 4, 235  
 - aufbereitung 225  
 - bildungen 3, 230  
 - Nachbar- 6  
 - raster/-ung 212, 224, 243  
 - Sub- 243  
 Kanalnetzwerk, Großrechner 31, 231  
 Kanten, Graphentheorie 85, 90  
 Kategorien engl. Category (Cat)/Klassen-/Güte 188, 195, 232  
 Kennungsverfahren 270  
 Kennwerte/-zeichenwechsel 43  
 Kennzeichnung 214  
 Kern(durchmesser/-Kontaktfläche) engl. Core, LWL-Technik 228,  
 237  
 - Multi-Core 230  
 Kern-Bereich/-Netz/-Knoten 87, 92  
 - Transit- 91  
 - Zugangs- 202  
 Kettenbildung 23  
 Ketten-Topologie 97  
 Keulenform des Antennendiagramms 266  
 Klemmleiste 66  
 Klemmteile, Tragschiene 54, 69, 116  
 Klirrgrad 175  
 Knickschutz 229, 244  
 Knoten 5, 14, 24, 85, 102, 123, 208  
 - Klein- 85  
 - Nachbarschaft 94  
 - Redundanz 107  
 - Umgehung 25  
 Knoten-Verteiler (KVt) 202  
 Knoten-Verzweiger (KVz) engl. Nodal Distributor 201  
 Koaxialkabel 228, 234  
 koeffiziente Dämpfungswerte 233  
 koeffiziente Impedanz 183  
 koeffiziente Kabeldämpfung/(Grund-)Dämpfungsverlust 228  
 koeffiziente MHz pro km 236  
 Kollision/signal 20, 139, 153, 179, 243  
 - künstliches 22, 144  
 Kollokation(sbedingungen) engl. co-location 201  
 Kombi-Kabel 157  
 kombinierter Kabelstecker 245  
 kombiniertes Frequenz- und Zeitgetrenntlageverfahren 11  
 Kommunikationsabfolge-Steuerung 121  
 Konfigurationsregeln 97, 160, 174, 237  
 Konformität(serklärung) 253  
 Konnektivität 264  
 Konnektor engl. Connector 214, 238  
 Kontaktieren/-ung 213, 237  
 - fläche 238

kontaktlos 278  
 Konversionsfaktor 239  
 Konzentrator 63, 103  
 Konzentrierung 87  
 Koppler engl. Coupler 225  
 Kopplung/Koppelungen 7, 142, 193, 227, 239, 244  
 - formen 23  
 - impedanz/-widerstand 177, 180, 224  
 - stelle 237  
 - stücke engl. Adapter 213  
 Korrekturglieder 213  
 Korridore 76  
 Kreuzvierer in Metall-Folie (ViMF) Vierdraht 192  
 Kupfer, Leiter- 176, 199, 209  
 Kupfer-Doppelader (CuDA 2 Dr) 202  
 Kupfer-Bündel 204  
 „Kurzes-Kabel“-Problem 59, 72, 108, 161, 170, 213, 239, 245  
 kurzgeschlossen 45  
 Kurznachrichten 257  
 Kurzschluss 55, 182, 223  
 - Festigkeit 191

**L**

Label 25  
 Lambda 233  
 LAN (Local Area Networks) 16, 100  
 - Mini- 24, 206  
 LAN-Adapter 18, 93, 101, 179, 219, 240  
 - Multi-Port- 24, 96, 144  
 - Port 144  
 LAN-Strecke im Point-to-Point 116  
 LAN-Verbund 24, 149  
 Lanes, zusammengehörige 8, 149, 234, 243  
 - Richtungs- 9  
 Längenbegrenzung/-restriktion 19, 23, 87, 160, 241  
 Längsstreifen 159  
 LASER 294  
 - Dioden (LD) 231  
 Last  
 - kapazität 22, 88  
 - übernahme 106  
 - verteilung 5, 24, 90, 101  
 Latenz (-zeit) engl. Latency 87, 104, 159, 204  
 Laufzeitunterschiede der Signale 244, 269  
 Layer-2-Switch 23, 98  
 LC (Lightwave Connector) 240  
 Lebensdauer 229  
 LED (Light Emission Diode), LWL-Technik 231, 294  
 Leerlaufspannung 40, 146  
 - mit 0 V Pegel 43  
 Leistung 161, 174  
 - Abstrahl- 239  
 Leistungsabgabe 260  
 Leistungsaufnahme 37, 44, 260  
 Leistungsausregelung 44, 265  
 Leistungsdichte in dBm/Hz 186, 243  
 - Maximum 186  
 Leistungsklassen 35  
 Leistungsmerkmale von informationstechnischen Kabeln 187  
 Leistungspegel 44, 250  
 - in dBµAmpere 279  
 Leiterdicke 175  
 Leiter-Durchmesser 161, 183

Leitfähigkeit 176  
 Leitstation 98, 123  
 Leitungskreis Zweidraht 2, 40  
 - geschlossener engl. closed loop/circuit 117, 142, 167, 190  
 - offener 41, 178  
 Level- und Kategorien/Klassen-Bildung 187  
 Lichtgeschwindigkeit 233  
 Lichtstrahl, -signal, -welle 228  
 LIN-Bus 135  
 Line-of-Sight (LOS) 267, 274  
 Linien(gleich)stromkreis 48  
 Liniennetz 4, 212  
 - technik 9, 17, 201  
 - Topologie 126  
 Link-Budget 236  
 Link Margin 240  
 Link-Modell 188  
 Link Performance 236  
 Litze 223  
 Lizenz 256, 276  
 Local Multipoint Distribution (LMD) 275  
 Logical Link Control (LLC) 136  
 Long Haul GigaBit-Ethernet 204  
 L(ong) R(ange) 232  
 L(ong) W(ave) 234  
 low duty cycled (LDC) 293  
 LR4 (Long Range) 236  
 LTE (Long Term Evolution) 272  
 Lücke (Intervall-) 20  
 - Mindest-/Zwischen- bei Paketübertragungen 14  
 LWL Lichtwellenleiter (LWL) engl. Fibre Optics 109, 143, 227  
 - Steckverbinder-/Konnektorentechnik 237  
 - Strecke 227, 240  
 LX (long Extension) 240

**M**

M2M-Kommunikation (Machine-to-Machine) 295  
 MAC (Medium Access Control) Mimik 16, 139, 144  
 magische Schnitte 92  
 Manchester Bus Powered (MBP) 130  
 Manchester-Nutzsignalcodierung (Verfahren) 39, 140  
 Manhattan-Grid 75  
 MAN (Metro/Metropolitan Area Networking) 24  
 Mantel, LWL-Technik 228, 237  
 Maske 26  
 Masse 32, 56, 118, 130, 194  
 Massivleiter 223  
 Master, Zyklus 94  
 Master eines wireless Feldbusses 291  
 Master-Slave(s)-Konstellationen/-Prinzip 68, 93, 100, 110, 123, 140  
 Master-Slave(s)-Konstellationen mit Access Points (AP) 283  
 MAU (Multistation Attachment Unit) 17, 98  
 MDI (Medium Dependent Interface) 144  
 Media Redundancy Protocol (MRP) 130  
 Medienkonverter 151  
 Medienwechsel 23, 155  
 Medium Access Control (MAC) 270  
 Medium Independent Interface (MII) 147  
 Medium Redundancy Protocol (MRP) 129  
 Mehrfach-NEXT und -FEXT 222  
 Mehrfachnutzung 228  
 Mehrfachrohr 229

- Mehrfachzugangs(verfahren) engl. Multiple Access (MA) 3, 16, 94, 160, 218, 264
- Mehrfachzugriff 16
- Mehrgeräte-Anschluss 28
- Mehrkanal-Nutzung/-barkeit 185, 233
- Mehrkanalsystem, geschlossenes 4
- Mehrpunkt-Verbindungen 16, 94, 143, 264
- Mehrpunkt-zu-Mehrpunkt 108
- Mehrwege-Ausbreitungen, Digitalfunk 269
- Melden & Steuern 115
- Mensch-Robotik-Kollaboration (MRK) 47
- Metallleiter 155
- Metro- oder Metropolitan (MAN) 148
- MfG (Multifunktionales Gehäuse) 71, 148, 201, 207
- Indoor 205, 209
  - Outdoor 208
- MFV (Multifrequenzverfahren) 278
- MidSpan, PoE 34
- MidSplit, FDD 6, 224
- Mikrometer 272
- Mikrometerwelle 249
- Mikrozellen 251
- MIMO-Technik 252, 284, 296
- Mindest-Kabellänge 161
- MiniGBIC (Gigabit Interface Converter) 150
- Mittelfrequenz(angabe) 185, 250
- Mittellücke, FDD 6, 210, 242, 275
- MM (Multi Modem), Mehrmoden-Glasfaser 65, 160, 203, 230, 240, 251
- OM 234
- Mobilität 247
- Modbus 129
- Modem 3
- Bank 121
- Modularprogramm/Einsätze engl. Inserts für Verteilerdosen 62, 213
- MSAN (Multi Service Access Node) 11, 148, 204, 212
- MT (Multi Termination) 245
- MTU (Message Transfer Unit) 23
- Muffe 56
- Multiband-OFDM 291
- Multi-Carrier-(MC)-OFDM 8, 293
- Multidrop 29, 109, 127, 143
- Strahle 104
- Multi-Fibre Push-On (MPO bzw. MPI) 245
- Multi-Level-Transmission (MLT) Nutzsinalcodierung, mehrstufig 146, 186
- Multihop Networking 264, 289
- Multiple Access (MA) 3, 89, 264, 270
- Multiple-Input-Multiple-Output (MIMO) 260, 267
- M(ultiple) W(ave) 236
- Multiplexer 3, 70, 241
- Ausgang 3
  - Eingänge 4
- Multiplex-Hierarchie 4, 148
- Multiplex-System/-Netzwerke 2, 116
- De-Multiplexer/-ing 3, 207, 241
- Multiplex-Verfahren 2, 14, 207, 228, 239
- dynamisches 14
  - Polarisations-, LWL-Technik 153, 243
  - räumliches 243
  - statisches 4, 14
  - synchrones 9, 11
- Multi-Termination Plug (MTP) LWL-Technik 245
- N**
- Nachverkabelung 76
- „Nah-Ferne-Problem“, Digitalfunk 265, 286
- Nah-Übersprechen engl. Near End Cross-over Talking (NEXT) 150, 168, 189
- Nanometer (nm) 9, 233
- NAS (Network Attached Storage) 31
- Nebenaussendungen 186
- Nebenstellenanlage (NstAnl) 46
- Nebenverteiler (NVt) 200
- Netz 85
- ebene 201
  - struktur
- Netzabschlusseinrichtung 200
- Netzkabel/Stromleitung 164
- Netzknoten 87
- Netzkopplungszugang 201
- Netzstörung 164
- Netzteil engl. power supply 44, 55, 70, 205
- Netzübergang 109
- Netzwerk 16
- Netzwerkssystem, geschlossenes 127
- Netz(werk)-Verbund 87
- Neutralleiter (N) 56
- Neuverkabelung 217, 235, 243
- NEXT (Near End Cross-over Talking) 150, 168, 189
- Next Generation Access (NGA) 209, 212
- NFC (Near Field Communications) 54, 278, 291
- NGN (Next Generation Networks) 272
- Nicht-öffentlicher Festfunk (noF) 257
- Nicht-öffentlicher Funk 257
- Nicht- öffentlicher mobiler Landfunk (nömL) 257
- NIC (Network Interface Coupler/Controller) LAN 18, 24, 93, 101, 147, 153, 179, 220, 240
- Niederspannungsversorgung (230 V) 33
- N(on)-I(nverted)-Binärfolge/Nutzsignalcodierung 38
- Non-Line-of-Sight (NLOS) 268
- Non-Return-to-Zero-Inverted (NRZI) Nutzsinalcodierung 40
- Non-Return-to-Zero (NRZ) Nutzsinalcodierung 40, 238
- non-specific (NS-)SRD 278
- Normal Response Mode (NRM) 123
- Not-Halt/-Aus 46
- Nullleiter (NL) 55 f.
- Nutzkanal 6, 237
- Hin- und Rück- 242
  - koppelbarer 243
  - logischer 15
  - Nachbar- 186
  - verschachtelte 9
- Nutzsignal 8
- Auslöschung 237
  - Reflexion 167
  - Verfälschung 168
  - Zerstörung 170
- NVP (Normal Velocity of Propagation) 160, 230
- O**
- Oberband 6, 275
- OCMA (Optical Carrier Multiple Access) 243
- OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 7, 241, 267, 284
- OFDMA(ccess) 287
- öffentlicher Mobilfunkdienst 251



Ohm(igkeit) 55, 66  
 - hochohmige HF-Schnittstelle 119  
 - niederohmige Kabel 175  
 OLT (Optical Line Terminator) 148  
 OM, LWL-Technik 236  
 On-Off-Keying (OOK), LWL-Technik 141, 241, 294  
 ONU (Optical Network Unit) 148  
 Optical Code Division Multiplexing (OCDM) 242  
 Optical Transport Network (OTN) passives 151  
 Optoelektronik 231, 240  
 Organisationskanäle 270  
 Ortsnetz (ON) 199  
 OSI-Referenzmodell 22, 172  
 OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) 238  
 OTN OTU (Optical Transmission Unit) 148  
 „OUT“ 89  
 Outband 270  
 Overhead 23, 136, 148  
 Overlay-Networking/-Netz 181, 225

## P

Packet Drops bzw. Packet Discards 138  
 Paging 257, 277  
 Paket-Error-Rate (PER) 172  
 Pakete-Zug/-Fluss engl. Flow 119  
 - Nutzdaten-Pakete 16  
 Paketfehler 227  
 paketisierte Datenkommunikation/-übertragung/-verkehr 15, 88,  
 117, 126  
 Paketlänge/-größe 16  
 - maximal zugelassen 19  
 - Mindest- 160  
 Paket-Schicht, OSI 136  
 Paket-Sequenznummern 137  
 PAM (Pulse Amplitude Modulation)  
 Parallelkabel 220  
 Parallel-Leiterpaare 8  
 Parallel Optics 153, 242,  
 Parallelübertragung 155, 172  
 - geräteinterne bzw. switchinterne 150  
 passives Medium 140  
 Passive Optical Networking (PON) 9  
 Patch/-en 89, 195, 229  
 - Cord, Kabel 64, 157, 195  
 - Panel 65, 215, 244  
 path loss 263  
 Payload 22  
 PCM (Pulse Code Modulation) 9  
 PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) 46, 67, 203, 231  
 Pegel/-igkeit 37, 228, 238  
 - konstanter 175  
 - Ein- 241  
 - Mehr- 38, 146, 162, 186, 210, 228, 241, 272  
 - Schwankungen, 268  
 - Spektrum 184  
 - Zwei- 37  
 Peripherie 118  
 Phase (L) 56  
 Phasen-Amplituden-Modulation (PAM) 147  
 Phasen-Frequenz-Gefüge 7  
 Phasenversatz engl. Phase Shift 147, 170, 211  
 Photon 249  
 Pico-Zellen 271, 295

Pigtail 59  
 PiMF (Paare in Metallfolie) Vierdraht 192, 219  
 Planes 23  
 Planungsbezugsdämpfung 161, 174, 239, 243  
 Plastic Optical Fibre (PoF) 130, 233  
 plesiochron 135  
 PoE enabled devices 35  
 PoE (Power-over-Ethernet) 34, 54, 193, 216f.  
 Polarität 37, 190  
 - alternierende 37  
 - negative 39  
 polierte/zu polierende Kontaktfläche, LWL-Technik 237,  
 244  
 Polling (Verfahren) 24, 32, 126, 137, 289  
 - Zyklus 126  
 Polygon 80  
 PON (Passive Optical Networking) 237  
 Portable Devices 116  
 Port 71, 89, 105, 144, 217, 245  
 - Dichte 100, 215  
 - Doppler 96, 215  
 - Multi- 97  
 - Schacht (Slot) 62, 150  
 Positionen, Steckverbinder 219  
 Potentialausgleich 55, 224  
 Powered Device (PD), PoE 34, 36  
 Powerlink Protokoll 129  
 Präambel 23  
 Precision-Time-Protokolle (PTP) 296  
 Primarmultiplexanschluss (PMX) 68  
 Privates Innenleitungsnetz 68, 157, 198, 212  
 Privater Nahbereichsfunk (für jedermann) 277  
 Problem des kurzen Kabels 85, 94, 185  
 Profibus 130  
 Protokoll-Elemente 138  
 Protokollstapel 22  
 Prüf-Schleifen 181  
 Prüfstecker 175  
 Prüfsummen-Verfahren 136  
 PSE (Power Sourcing Equipment) PoE 34  
 PS-FEXT (Power Sum) 171  
 PSK (Phase Shift Keying), Modulation 272  
 PS-NEXT (Power Sum) 189  
 Puls/-ung 9, 45  
 Punktaufbruch 53  
 Punkt-zu-Mehrpunkt (Struktur) engl. Multi-Point (MP) 18, 37, 98,  
 124, 144, 160, 180  
 - Bus 143  
 Punkt-zu-Punkt (Struktur) engl.: Point-to-Point (PtP) 4, 16, 127,  
 179  
 - Konfiguration 107  
 - LAN 106  
 - Verbindung 18, 88, 94, 114, 140, 149, 264

## Q

QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 147, 210, 241, 273  
 Q-Faktor 239  
 Q-PSK 186, 241  
 QSFP, Mehrfachstecker 151, 245  
 Qualitätsmerkmal (Güte) 159, 187, 191, 234  
 Quality-of-Service (QoS) 139, 212  
 Quantisierung 9, 115  
 Quantisierungsverzerrungseinheiten (QVE) 115

- Querschnitt 161  
 - betrachtung 191  
 Quertangenten 91  
 Querverkehre 104  
 Querwege/-verbindungen 93, 101, 109
- R**
- Radio Data Modems 276 f.  
 Radio Frequency (RF) Transponder 278  
 Rahmen(er)kennungsworte 10  
 RAMI 4.0 als Referenzarchitektur 81, 113  
 Range 236  
 Rangierkabel 64  
 Raster/ng 6, 75, 149, 210, 234, 242  
 - Kontaktabstände 214  
 Raumlagevielfaches 149, 243  
 Rauschen engl. noise 164, 182, 193, 247, 270  
 - Grund- 237  
 Rayleigh-Kanal 269  
 RD (Receive Data) 118, 218  
 Rechenzentrum (RZ) 204  
 Rechner-Kopplung 123  
 Rechteckimpulse von Pegelwechsel 43  
 Rechteckig/-keit 37, 75  
 - merkmale 46, 185  
 - Stufigkeit 187  
 Rechtwinkligkeit 77  
 RED (Radio Equipment Directive) 253  
 Redundanz 25, 75, 90, 100, 204  
 - Erfordernis 107  
 - Konzept 203  
 Referenz 40  
 - Adern/-Leiter 118, 218  
 - Erde mit 0 V 42  
 Referenzsignal 37  
 - andere als 0 V 41  
 Reflexion(ssignal) 20, 247, 268, 275  
 - sbahn, LWL-Technik 244  
 Regelkreis 19  
 - geschlossener 116  
 - interner explizit 121  
 - impliziter 19  
 - offener 117  
 Regelkreise zur Automation 128  
 Regeltechnik 44, 177, 183  
 Regenerator 38, 228, 240  
 Reichweite 39, 234, 243  
 - Bewältigung 177, 239  
 - erhöhung 236  
 - nutzbegrenzung 175  
 Reihen-/Serienschaltung engl. series circuit 162, 244  
 Relais 44  
 - Funktionalität 115  
 Relay/-ing 90, 110, 257, 264, 275, 290  
 Repeater 21, 71, 97, 141, 228, 276, 282  
 - LAN- 39  
 - Multi-Port- 21, 98  
 Request-to-Send (RTS) 281  
 Reserve 3  
 Resilient Tree 106  
 Retransmission(en) 20  
 - verfahren 136, 228  
 Return-to-Zero (RZ) Nutzsinalcodierung 13, 40  
 RFID (Radio Frequency Identification) 279  
 RG 62, 224  
 RG (Radio Guide) 223  
 Rice- bzw. Rician-Kanal 269  
 Richtfunk-Charakteristik 270  
 Richtfunk-Nutzfeld 79  
 Richtfunkstrecken 274, 294  
 - private 275  
 - Mehr-Punkt- 274  
 Richtstrahl-Wirkungen 248  
 Richtungsfaser 9, 230  
 Richtungspaar(e) 144, 156  
 - Vertauschung/Vertauschbarkeit 122, 145, 219  
 Richtungsüberkreuzung 122, 144, 219  
 Richtungsübertragungsrate 88, 239  
 - ungleiche 138  
 Richtungsumschalten 20, 48, 117, 126, 137  
 - selbsttätige Generierung 145  
 Ring(e) 11, 104, 159, 209  
 - aktive Ringe u. passive Nebenringe/Sekundärringe 12  
 - bidirektionale 90  
 - unidirektionale 104  
 - Haupt- engl. Primary 111  
 - kopplungen 109  
 - LWL- 202  
 - Parallel- 111  
 Ring-Manager 111  
 Ring Redundancy Protocol (RRP) 111  
 RJ (Residential/Registered Jack) 216  
 RJ-45 Modul 151  
 RJ-45/Western-Stecker(verbindertechnik) 159, 207  
 ROADM (Remote Optical Add & Drop Multiplexer) 12  
 Robustheit 233  
 Router/-ing, Layer 3 Switche 94, 109, 138, 144  
 RPR (Resilient Packet Ring) 112  
 RS-232/V.24 (Schnittstelle) 27  
 - Verbindung 32, 117  
 RS-422 117  
 RS-422/RS-423 (kombinierte Schnittstelle) 117, 124  
 RS-485 Schnittstelle 55, 99, 124, 217  
 - Bus 94, 125  
 RTS-CTS (Request-to-Send, Clear-to-Send) Mimik 270  
 Rückfluss 20, 165, 215, 237  
 - Dämpfung 166  
 Rückkanal 136, 242  
 rückkanallos 7  
 Rückkopplung 136, 182  
 Rücklauf 109  
 Rück(lauf)ring 12, 111  
 Rückleiter 49, 117  
 Rückserialisation 5, 185, 241  
 Rückstreuung 237  
 Rufkanal 270  
 Ruhepegel 185  
 Ruhespannung 40, 153  
 Ruhestrom 45  
 Ruhezustand, betrieblicher 40  
 Rundkabel 27, 156  
 RX (Receive from Transceiver) 142, 218, 236, 242  
 RZ (Return-to-Zero) Nutzsinalcodierung 241



**S**

- safety margin 240
- Scatter Network 288
- Schachttiefe (Slots) für modulare Einsätze 151
- Schaltdraht 66
- Schalter 44
- Schaltschrank 4, 21, 35, 82, 108, 116, 143, 151, 208
  - Programme 4, 26, 44, 78, 97, 121, 225
- Schalt- und Verteilerkabel 65
- Schaltverteiler (SVt) 64, 201
  - block 67
- Schirmung 27, 73, 159, 169, 179, 190, 213, 227
  - s-formen 55, 164
- Schlag 156
  - zahl 160, 183, 191, 227, 244
- Schleife 175, 190
- Schleifenwiderstand 35, 178, 206
  - künstlich erhöhter 45
- Schlitzkabel, Antenne 267
- Schnittstellenspezifikation 7, 85
- Schnittstellenbeschreibung (SSB) 250, 258
- Schnittstelle(n)
  - busartig 29, 153
  - externe 27
  - interne 153
  - Parallel- 116, 244, 249
- Schnittstellen-Signale, funktionale 119
- Schnittstellen-Vervielfacher (SSV bzw. SVV), seriell 37, 70, 98, 143
- Schrankreihe engl. Rack Row 62, 72
- Schritt(folge)geschwindigkeit in Baud (Bd), mehrsufig 28, 45, 88, 185
- Schutzabstand 242
- Schutzhaube 54
- Schutzhülle/-mantel 159, 230
- Schutzleiter engl. Protective Earth (PE) 55
- Schutzzonen 257
- schwenken (aufs Fabrikgelände) 68, 158, 198, 224
- Schwund(erscheinungen) engl. Fading 161, 247, 269
- SDH (Synchronous Digital Hierarchy)/STM (Synchronous Transfer Mode) 109, 148, 202, 275
- SDH/STM-Multiplextechnik 146
  - Ring 112
  - Underlying 14
- SDSL (Symmetric Digital Subscriber Line) 209
- Seele, Kabel- 156, 191, 230
- Segment/-ierung 87, 227
  - Abschluss- 202
  - LAN- 94, 100, 236
  - LWL- 229
- Sektoren 80
- Selective Repeat bzw. Selective Request 137
- Selektivruf 276
- Self-Healing 111
- Semi-Voll-Duplex-Betriebsweise 146
- Sendeaubruf 137
- Sendeararten 247
- Sendeleistung 259
- Sendepiegel, relativer/verrechenbarer 163
  - optischer 239
- Sende(r)stärke engl. Transmit Power 44, 161, 174, 251, 278
- Sensor-Aktuator-Networking (SAN) 89, 279, 291
- Sensorik (Networking) 293
- Sensorik und Aktorik 35, 116, 126
  - Verbindungen 222
- Separierung 87
- Sercos 130
- Server 218
  - lokaler 27, 63, 72, 86, 93, 147
  - Stand-Farm 73
- Service Provider 257
- SFP (Shielded Foiled Pair) Vierdraht 245
- SFP (Small Form(-Factor) Pluggable) 150, 220
- S/FTP Vierdraht 229
- Shannon 172, 272
- S(hort) R(ange) 232
- Short Range Devices (SRD), Digitalfunk 278
- Short Reach (SR) 210
- S(hort) W(ave) 234
- Signal-Abgriff 162
- Signalabschwächung 161, 168, 234
- Signal(block)codierungen 4B5B, 8B10B, 64B65B 146, 149
- Signalämpfung 210
  - maximale 240
- Signalfortpflanzung 177
  - geschwindigkeit/-Verzögerung 22, 137, 159, 228, 244
- Signal-Fragmente, anteile 8, 153, 238, 272
- Signal-Geräusch-Abstand/-Verhältnis engl. Signal-to-Noise-Ratio (SNR) oder (S/N) 164, 237
- Signalhöhe 37
- Signalisierungen 270
- Signallaufzeit 11, 18, 87, 97, 195, 210, 271
  - Begrenzung 143
- Signalqualität 239
- Signalrücklauf 21
- Signalstärke 165, 261
  - in dBm 186
- Signalversatz 150, 243
- Simplex, unidirektionales 7, 227
- Simplex-Konnektor/-Stecker LWL-Technik 244
- Single Mode (SM) Einmoden-Glasfaser 65, 160, 203, 229, 237
  - OS 234
- Skew Delay 150, 171, 243
- Slot 5, 9
- Slot(ted)-Access 288
- SMS (Short Message Service) 257, 271, 295
- Sonet (Synchronous Optical Networking) 11, 151
- Space Division Multiplexing (SDM) 243
- Spannung (Verbrauchs-) bipolar oszillierend 177
- Spannung(spiegel) 174, 232
- Spannungsquelle 6, 117
- Spannungsschnittstelle, digitale 27, 67, 136
  - geschlossen serielle 116
  - offen serielle 117
  - serielle HF- (Hochfrequenz-) 37, 115, 221
  - synchrone 119
- Spannungsschwingung 176
- Spannungswandler 70
- Spannungswechsel 37
  - feld 263
- Spatial dt. räumlich Division Multiple Access (SDMA) 264
- Spectral Shaping 236
- Speicher(sub)systeme 29, 72
- Speisung/gespeist 32, 45, 177, 232
  - Dauer- 34
  - Not- 49
  - Phantom(fern) 49
- Spektraldichte 242
- Spektrale Effizienz 272

- Spektrum-Maske 187, 273  
 spezifische Widerstände 176  
 Spine 106  
 Spitzenleistung 186  
 Spleiss/-en engl. splice 59, 237, 244  
 - Stellen 238  
 Spleissboxen/-kassetten 53, 59, 70, 100, 108  
 Splitter 9, 70, 148, 206, 242  
 SPoF (Single Point of Failure) 25, 75, 93, 107  
 Spontan- bzw. Konkurrenzbetrieb 123  
 Spread Spectrum (SS) 241, 280  
 Sprechkreis 45, 215  
 Sprechkreis-Linientechnik engl. local loop (LL) 199  
 Sprechsignal 163  
 Spreizung, -formen, -techniken 241, 271, 293  
 Stamm(kabel) 97, 197, 229  
 - kleinster 191  
 Standverbindungen 4, 67  
 - für Daten 202  
 Stapel 28  
 Start-Bit 136  
 Station 24, 78, 103f., 111  
 Stauchen 228  
 Steck-Adapter 215  
 Stecker-Panels 215  
 Steckertyp 214, 222  
 Steckleiste 215  
 Steck-Systembus 26  
 Steckverbinder engl. Connector 213  
 - Mehrfach- 150, 215  
 - kabelkonfektionierte 221  
 Steckverbinder/Konnektoren, LWL-Technik 228, 237  
 - Mehrfaser- 243  
 Stehle 51  
 Steifigkeit 194  
 Steig/Anstieg u. Fall/Abfallen (Digitalsignal) 39, 47, 161, 185, 241, 272  
 Steigbereich 51  
 Stellglieder 44  
 Stern-Topologie, -strahl 92, 98, 104, 112  
 Sternverteiler bzw. Sternkoppler 63, 103  
 Sternvierer Vierdraht 156, 191, 219  
 Steuern und Melden 117  
 - adern 122  
 - signale 221  
 Steuer- und Rückmeldeleitungen 117  
 Steuerungen 44  
 Stichleitung 92, 100, 109  
 Stift 215, 225, 244  
 Stop-Bit 136  
 Storage Area Networking (SAN) 31  
 Störabstand 172  
 Störaussendungen, -felder, 178, 187, 192, 253  
 Störbänder 255  
 Störeinflüsse 196  
 Störfestigkeit 192  
 Störimpulse 164, 178  
 Stör(leistungs)unterdrückung 191  
 Störsignale 165, 182  
 - künstliche 140  
 Störstrahlung 166  
 Stoßstelle 167, 178, 194, 209, 222, 237, 244  
 STP-/SUTP Vierdraht 31, 183  
 Strahlung (Emission) 193, 253  
 Strahlungsintensität(-sabgabe) pro Flächen-/Raumeinheit 173, 186, 232, 243  
 Strahlungsleistung, -stärke 260  
 - in dBm 263  
 Strang 197, 229  
 street cabinet 76, 148  
 Strom Nenn-Arbeits- 43  
 Stromkabel 69  
 Stromkreis 37, 190  
 - Doppel-, gegenläufig 118  
 Strom- und Spannungsrichtung 190  
 Stromverbrauch in (m)Wh 44, 71  
 Stromversorgung 2, 232  
 Strom-Verteilerschaltschrank 69  
 Strukturierung 23  
 Stufenindex(profil) 231, 241  
 Sub-Kanäle 7, 11  
 - gespreizte 289  
 Sub-Network(ing) 26  
 Sub-Nutzkanäle 25  
 Subsystem 26, 29  
 - separate 28  
 Switch/ing 70, 86, 95, 106, 138, 150, 212  
 Switch Fabric 71  
 Switch-Port 144, 153  
 SX (Short Extension) 236  
 Symbol 8, 146, 186, 210, 232, 241, 272  
 - Dauer 21  
 - Übertragung 31, 38, 172  
 - Werte 211  
 Symbolfehlerrate 232  
 Symbol-Fehlerwahrscheinlichkeit (E/N) 172  
 Symbolrate (in Baud) 7, 38, 273  
 symmetrisches Kabel/Leiterpaar 38, 118  
 synchron 135  
 synchrone Digital-Hierarchie (SDH) 11  
 Synchronisationsgenauigkeit 140  
 Synchronisationsproblematik 233  
 Synchronität 11, 23  
 Synchronous Transfer Mode (STM) 11  
 Systembus 28  
 - Breite 149  
 System-Erde 32, 176,
- T**  
 TAE (Teinehmeranschlusseinheit) 217  
 Tag 279  
 Taktung bzw. Takt(signal) engl. Clock/-ing 30, 119, 147  
 TCU (Trunk Coupling Unit) 17  
 TDD (Time Division Duplex) 251  
 TDM (Time Division Multiplexing) 5, 148, 242  
 TDMA (Time Division Multiple/Multiplexing Access) 10, 270, 293  
 TDR (Time Domain Reflectometer) 167  
 TD (Transmit Data) 118, 218  
 Teilbäume 104  
 Teilbusse 99, 111  
 Teilnehmer-Anschlussleitung (TAL) 11, 158, 199  
 Teilnehmer-Hauptanschlusses (HA) 45  
 Teilnehmeranschluss/Customer Line Sharing (CLS) 206  
 Teilringe 109  
 Teilstrecke 90, 240  
 Teilvermaschung 90, 92f.  
 Telefonkabel 194

- Temperatur 71, 164  
 Terminal Access 12  
 Terminator (Widerstand) 21, 55, 175  
 Terminieren/-ung 97, 179, 218  
 TIA 236  
 TIA/EIA 245  
 Tiefbauarbeiten 56  
 Tiefpass bzw. Hochpass 115  
 Tier 93  
 TK-Anlage 68, 231, 271  
   - Verbund 46  
 TK-Anlagenteile, abgesetzte 68  
 Token (Verfahren) für Ringe  
   - Multiple- 17  
   - Single- 17  
 Token-Bus 17  
 Token Ring LAN 86, 98, 231  
 Token Ring Manager 17  
 Top-of-the-Rack 71  
 Totbereich  
 TP (Twisted Pair) dt. verdrehtes Paar 156, 190  
 Traffic Shaping 17  
 Träger engl. carrier 3, 40, 186  
   - frequenz (TF) 6, 17, 250, 260  
   - los (Modulation) 149, 273  
   - Mehrfach- engl. Multi-Carrier (MC) 273  
   - Neben- 186  
   - Unter- engl. Sub-carrier 7, 149, 243  
 Tragschienensysteme/-Technik/-Montage 35, 52, 116, 270, 280, 289  
 Trailer 22, 136  
 Transaktionssicherheit 138  
 Transceiver 18  
   - Kabel 71  
   - Modul onboard 18, 141  
 Transceiver-Schnittstelle (AUI)  
   - geschlossene 21, 108, 145, 179  
   - offene 144, 153  
 Transcoding & Mapping 153  
 Transferrate (in Byte) 30  
 Transformation vom Analogen aufs Digitale 115  
 Transportsysteme 127  
 Treiber 41, 126  
 Trennpunkt/-stelle 66, 199, 215  
   - Fibre Termination (FT) 148  
 Trennschärfe 270  
 Trennsteg 33, 158, 227  
 Triax 223  
 Trigger dt. Auslöser 45  
 Trunk 3, 155, 229, 243  
 Trunked Radio 276  
 T-Stecker 142  
 T-Stück 96  
 TTY (Teletype) 121  
 Twinax(ial)-Kabel 225  
   - zweifaches 150  
 TX (Transmit to Transceiver) 142, 218, 236
- U**
- Überflur-Tank 60  
 Übergabepunkt 225  
 Übergabe-Verteiler (UVt) 209  
 Übergang 88, 155, 212  
   - stellen 198  
 Überkoppelungen, induktive u. kapazitative 156, 168, 195  
 Überkreuzen/-ung engl. Cross-over, Adern 58, 88, 103, 110, 122,  
   142, 191, 213  
 Überkreuzkabel 143  
 Überkreuzungspunkte 76, 95  
 Überlappung/-en 79  
 Überlast(absicherung) 107, 139  
 Übermittlungs(nutz)kapazität 140, 230, 234  
 Überreichweite 268  
 Überspannungs(schutz)ableitung 55  
 Übersprechen engl. Cross-over Talking 165, 192, 210  
 Überspringen, Signal 168, 192, 214, 223  
 Überstrahlen 165, 192, 210  
 Übertragungsfehlerbehebung 228  
 Übertragungsfehlerrate 233  
 Übertragungsklassen 236  
 Übertragungsleistung 211  
 Übertragungsprotokolle 7, 79, 87, 136, 227  
 Übertragungsrate 88, 227, 240  
   - Nenn- 13, 24, 38  
   - Nutzdaten- 19  
 Übertragungsnutzreichweite 18, 87, 196, 230, 257  
 Übertragungssicherungsprotokolle 22, 126, 136  
 Übertragungssicherungs(schicht) 227  
 Übertragungssystem geschlossenes 4  
 Übertragungsumweg 90  
 Übertragungsstrecke/-wege 86, 163, 227  
   - umleitung 24  
   - verluste 263  
   - wahl 24, 88, 94, 104, 209  
 Übertragungswiederholung(en) 20, 136, 145  
 Übertragungszeitverlust 137  
 Über- und Nebensprechen 193  
 Umhüllung, Bündel 118, 155, 228, 236  
 Umlauf-Latenz 110,  
 Ummantelung/Schutzhülle 27, 159, 190, 214, 228  
 Umsetzungen/-er engl. Transponder 64, 85, 143, 231, 290  
 Umtastung (Shift Keying) 272  
 UMTS (Universal Mobile Telecommunication System bzw.  
   Standard) 272  
 Unbundled Local Loop (ULL) 158  
 Underlying 94, 104, 111, 151, 272, 284  
 unidirektional 7, 48  
 Uni- oder Bidirektionalität 190  
 Unipolarität 40  
 unipolar oszillierend 176  
 Universalkabel 157  
 Unterband 6, 275  
 Unter-Bäume 98  
 Unterbrechung 100  
 Unterdrücken 165  
 Unterflur-Bodentanks 58  
 Unterflurkanäle 53  
 unterlastet 175  
 Unter-Sterne 98  
 Uplink 93, 97, 104, 138, 218, 252  
 Upstream 148, 209, 296  
 USB (Universal Serial Bus) 31  
 USB-Networking 32, 54  
 USB-Steckertypen 32  
 USV (unterbrechungsfreie Stromversorgung) Anlagen 33  
 U/UTP Vierdraht 183, 192  
 UWB (Ultra-Wide Band) 293

**V**

V.10/V.11 (Schnittstelle) 118  
 V.28 117  
 VCSEL-Dioden (Vertical Cavity Surface Emitting LASER) 232  
 VDE 229  
 VDSL, VDSL2 209  
 Vector/-ing 210  
 Veränderbarkeit 85  
 Verbindungskabel (VK) 64, 201, 209, 215  
 Verbindungs(kern)netze 201  
 verbindungslos engl. Connectionless (CLNS) 24  
 verbindungsorientiert engl. Connection Orientated (CONS) 24, 137  
 Verbindungsstrecke/-wege/-leitungen 3, 25  
 - Mehrfach- 105  
 - parallele 87  
 Verbindungsunterbrechungen, -abbruch 223, 227  
 Verbrauch(er) 44, 85, 162, 174, 223  
 - Klein(st)- 44, 292  
 Verbund(lösungen) 25  
 - merkmale engl. Conjoint 85, 114  
 - struktur 17, 109  
 Verkehrslast 17  
 - verteilung 107  
 Verlegbarkeit 59  
 Verlegekabel 157, 188  
 Verlegeradius 228  
 Verlegereserve 59  
 Verlege(zug)überschuss 59  
 Vermaschung 90, 112  
 - grad 92  
 vernetzter Industrie-PC (IPC) 4, 24, 63, 87, 93, 107, 116, 146 f., 220  
 Verseilung 156, 191, 229  
 - anordnung 159  
 - zuordnung (Querschnitt) 190  
 Versorgungspunkt 63  
 Versorgungsraum engl. Equipment Room 62, 198  
 verstärkendes Element 3, 21, 48, 88, 99 ff.  
 Verstärker/Repeater/Regeneratoren 85, 160, 228  
 Verstärkung 6, 173  
 - seffekt 170  
 Verteil-Anlage 225  
 Verteiler (Vt) engl. Distributor 99, 158, 198  
 - feld 64, 103  
 - Klein(st)- 64, 143  
 - Technik 229  
 - stellen 63, 102, 202  
 Verteilnetze 103  
 Verzweiger (Vz) 201  
 vertikaler Kabelschacht 51  
 Vertikalschlaufen 54  
 Verzerrung 170, 175  
 Verzögerung(szeit) engl. delay 19, 38, 87, 136, 227, 274  
 Verzonungsmodell 64  
 Verzweigerkabel (VK), Bündel 197, 202  
 Verzweiger (Vz) 85, 158, 179, 203  
 Vielfachzugriff 5  
 Vierdrähtiges Ethernet-Segment 99  
 Vierdrahttechnik 2  
 ViMF (Vierer in Metallfolie) 191, 219  
 Virtual Container (VC) 1  
 Virtuelles-Maschinen-Konzept (VM) 126  
 Visual Light Communications (VLC) 295  
 VLAN-Bildungen 212

VLAN-Technik 25, 140  
 Voll-Duplex (FD) dt. Gegenbetrieb 7, 22, 192, 218, 271, 256  
 - Betrieb(sweise) 138, 242  
 - Betriebsmöglichkeit 118  
 - Erkennung 145  
 Vollvermaschung 90, 108  
 Vorleistungsprodukt 200  
 Vorverkabelung 76  
 Vorzeichen 37, 163  
 VULA (Virtual Unbundled Local Access) 212

**W**

Wackel-Kontakt 244  
 Wählerdienst 46  
 Wandmontage 53  
 WAN (Wide Area Networking) 24, 148  
 Wartezeit- und Warteanzahl-Steuerung 137  
 WAS/WAN (Wireless Access System/Service bzw. WirelessAccess Network/-ing) 275  
 WDD (Wavelength Duplex Division) 9, 148, 242  
 WDM (Wavelength Division Multiplexing) 9, 149, 232, 240  
 WDM-PON (Passive Optical Networking) 243  
 WDM-Switch 241  
 WDM-Verfahren 152  
 wechselndes elektrisches Feld u. Magnetfeld 249  
 Wechsellängungsfeld 264  
 - in dB $\mu$ V/mm 272  
 Wechsellängungspegel 262  
 Wechsellängungsschnittstelle 117, 179, 191  
 Wechsellängungsverfahren (balanced) 39  
 Wechsellängungswiderstand 177  
 Wechsellängersprechen (Halb-Duplex) 7  
 Wechselstrom 44  
 Wechselstrom-Widerstand 177  
 Weiter-Benutzbarkeit 155  
 Weiterführungskabel 215  
 Weiterverwendung 231  
 Weitstrecken des Ethernets 22  
 Wellendämpfung 147, 162, 228, 236  
 - bipolare 178  
 Wellenlänge, LWL-Technik 233, 249  
 - Erschließung 235  
 Wellenwiderstand 45, 166  
 White Space 287, 295  
 Widerstand 45  
 - Abschluss 21  
 - Bauteil 179  
 Wide-WDM 242  
 Wiederbenutzung 155  
 Wiederholung(smuster), geometrische 77  
 - räumliche 248  
 Wiederverwendung 83, 255  
 WiFi (Alliance Wireless Fidelity-) Hotspot 283  
 WiFi HaLow 286  
 WiGig 285  
 WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) 287  
 Window-Mechanismus 136  
 Wireless Bus 265  
 Wireless Fieldbus 291  
 WirelessHART-Protokoll 291  
 Wireless LAN (WLAN) 274, 281  
 Wireless Local Loop (WLL) 275  
 Wireless Personal Area Network (WPAN) 288

Wireless Regional Access Network (WRAN) 287  
 Wireless Sensor Area Network/ing (WSAN) 289  
 Wireless USB 291  
 Wiring Standards A/B/C(at 5 Fix/-ed) 220  
 Wortbreite (in Bytes) 26  
 Wurzel (-Ebene/-knoten) 24, 92, 102, 112

## X

X.21/X.20 (Schnittstellen) 121  
 X.26/X.27 (Schnittstellen) 117  
 X-AUI 96, 145  
 XFP (Extended 10 Gigabit Small Form Factor Pluggable) 151  
 XGMII (Extended Gigabit Media Independent Interface) 149

## Y

Y-Adapter 215  
 Y-Stecker 96

## Z

Zeichengabe 270  
 Zeit(ablauf)- und Zählerstände 137  
 Zeitfolge-Mimik 120  
 Zeitgetrenntlage-Verfahren 9  
 Zeitgleichheit 11  
 Zeitkontrolle 111  
 Zeitlage-Raumlage-Vielfach 211  
 Zeitlage-Vielfach 13  
 Zeitlage-Wellenlängenlage-Vielfach 241  
 Zeitraster 10  
 Zeitverlust 6  
 Zeitversatz 137  
 Zeitverzögerung 243  
 Zelle 10, 79

Zellengrenzen überschreitend 81  
 Zellenorganisation 5  
 Zellenrand 83  
 zelluläre Ausrichtung 228  
 zelluläres (Wiederholungs-/) Muster 79, 255  
 Zellular-Mobilfunknetz 11  
 Zentralinstanz 98  
 Zerstreuung 232  
 ZigBee 289  
 Zugangs- bzw. Zugriffskonflikte und Auflösung 128  
 Zugangsrouter 225  
 Zugangsschnittstelle 141  
 - geschlossene 143  
 - offene 141  
 Zugangsverfahren 87  
 Zugentlastung 156  
 Zugfestigkeit 229  
 Zulassung 258  
 Zusammengehörigkeit 27  
 - Fasern 227  
 - Mehrfach-Leiter 220  
 Zusammenschaltung 201, 257  
 Zustandsübergang/-wechsel 39  
 Zuweisungs- und Zugriffsverfahren 270  
 Zwanziger-Logarithmus 163  
 Z-Wave 291  
 Zweidrahttechnik 2, 40  
 - als einfache Einzelpaartechnik 158  
 - des Leitungskreises 118, 208  
 Zwei-Ebenen-Netzwerk 107  
 Zwischenspeicherung 138  
 Zwischenverstärker/-nde Stelle/Element 17, 85, 89, 104, 111, 123, 141  
 Zwischen-Repeater/Regeneratoren (ZWR) 87, 205  
 Zwischenverteiler (ZwVt) engl. Intermediate Distributor 200  
 Zwischen-Verzweiger (ZwVz) 200  
 Zwischenzustände 37