

2 Architektur Zugangsnetze

Das Kapitel Architektur Zugangsnetze gibt eine Übersicht über die Zugangsnetze der Gegenwart und einen Ausblick in die nahe Zukunft. Bemerkenswert ist, dass die drahtlosen Zugangsnetze ohne Investitionen in das eigentliche Zugangsnetz auskommen. Es sind lediglich z. B. Basisstationen bei der Mobiltelefonie und Satelliten beim Satellitenrundfunk erforderlich, der freie Raum zwischen diesen Stützpunkten und dem Empfangsgerät wird durch Radiowellen überbrückt. Das mag ein Vorteil in Bezug auf Kosten und Realisierungszeit sein. Dem steht aber Frequenzknappheit, relativ hohe Durchdringungsdämpfung von Gebäuden und eventuell mangelnde Akzeptanz in der Öffentlichkeit gegenüber. Festnetze und Radionetze waren in der Vergangenheit streng normiert. Bereits in der jüngeren Vergangenheit hat sich eine Vielfalt von Lösungen aufgetan, welche eine Übersicht schwierig macht. Die Standardisierung wurde durch die Industrie geprägt und ist somit vielfältig und oft auch herstellergeprägt. Beim Festnetz ist ein klarer Trend hin zum Glasfasernetz (PON, FttH) festzustellen, um den steigenden Transport-Kapazitätsbedarf zu decken.

2.1 Begriffsbestimmung und Topologievarianten

2.1.1 Begriffsbestimmung

Das Zugangsnetz (engl. Access Network) ist das teilnehmernahe Segment in einem Telekommunikationsnetz. Historisch gesehen entwickelte sich das Zugangsnetz aus dem seinerzeit einzig vorhandenen Zweidrahtnetz. Im Laufe der Zeit wurde das Zweidrahtnetz digitalisiert (ISDN etc.), und es entstanden zusammen mit neuen Übertragungstechnologien (Kabel, Mobilfunk etc.) alternative Formen von Infrastrukturen. Neu wird auch Glasfaser allein (FttH) oder in unterschiedlicher Kombination mit bestehenden Technologien (Kabel, VDSL etc.) von Bedeutung.



Abb. 2.1 Das Zugangsnetz zwischen Backbone und Hausverteilung

- Plattform: stellt die Dienste bereit zur Übertragung zu den Teilnehmern,
- Backbone: auch Backhaul genannt, überträgt von der Plattform zu den verschiedenen Zugangsnetzen,
- Zugangsnetz: „Last Mile“, den Teilnehmern vorgelagertes Netz,

- HVA: Hausverteilanlage, Erschliessung im Haus,
- WVA: Wohnungsverteilanlage, Erschliessung in der Wohnung.

Während früher das Zugangsnetz ausschliesslich für Telefonie benützt wurde – es folgten später Fax und Datenübertragung mit Sprachmodem – hat das Internet und dessen Bandbreitenhunger wesentlich grössere Bandbreiten und damit neue Technologien ins Spiel gebracht. Dies wiederum ermöglicht nun auch die Übertragung von Fernsehprogrammen über IP. Es ist absehbar, dass Datenraten von 100 und mehr Mbps bald üblich sein werden.

2.1.2 Topologie

Man unterscheidet Punkt zu Punkt (P2P, hoher Leitungsbedarf im Vergleich zu P2MP, unabhängige Teilnehmerleitungen, nur Leitungsdämpfung) und Punkt zu Multipunkt (P2MP, geringerer Leitungsbedarf im Vergleich zu P2P, Teilnehmerleitungen grossteils gemeinsam genutzt, höhere Gesamtdämpfung durch Leitungsdämpfung plus Verteildämpfung).

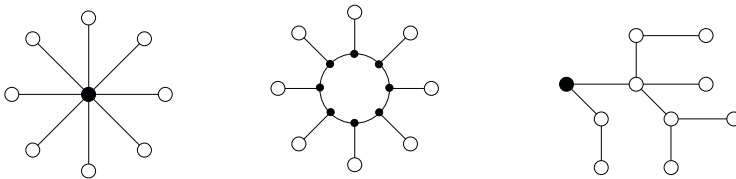


Abb. 2.2 v.l.n.r. Sternnetz, Ringnetz, Baumnetz

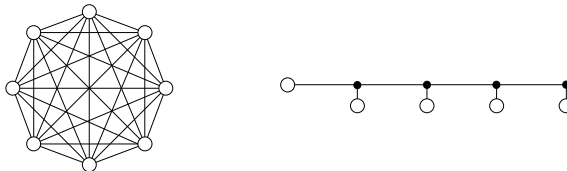


Abb. 2.3 v.l.n.r. vermaschtes Netz, Bus

Die Topologie steht in engem Zusammenhang mit den kostenrelevanten Grundlagen. Es ist eine alte Erfahrung, dass bei kabelgebundenen Zugangsnetzen die Hauptinvestitionen beim Leitungsbau liegen. Dazu gehören die Aufwendungen für die Grundstücksbenützung, den Bau der Verlegerohre und allfällige Feldstützpunkte, wie Verstärkerkabinen bzw. die mietweise Benützung fremder Infrastruk-

turen. Da die Kosten unterirdischer Verlegung in Rohren bei rund $\frac{2}{3}$ bis $\frac{3}{4}$ der Gesamtkosten liegen, stellt der Infrastrukturbesitz auch eine gewisse Marktmacht dar, insbesondere auch deshalb, weil kompetitive Parallelinfrastrukturen einerseits wenig Sinn machen und auch ein finanzielles Risiko bezüglich schwer verkäuflichen Überkapazitäten darstellen können. Tabelle 2.1 gibt eine Übersicht der wichtigsten Topologien mit ihren Vor- und Nachteilen.

Tabelle 2.1 Übersicht Topologien

Topologie	Vorteile	Nachteile
Stern-Topologie	einzige Topologie mit unabhängigen Endknoten, hohe Versorgungssicherheit	grosser Leitungsaufwand
Baum-Topologie	besten Kostenteilungsgrad	Netzelementausfälle können ganze Teilnehmergruppen betreffen
Ring-Topologie	Redundanz bei zwei gegenläufigen Ringen möglich	sehr aufwändig
Maschen-Topologie	vollständige Redundanz, grösste Versorgungssicherheit	sehr aufwändig
Bus-Topologie	einfach und übersichtlich	Erschliessung nur in einer Dimension

Interessant ist auch der Umstand, dass Funknetze ohne feldgestützte Infrastruktur auskommen und somit entstehen für den Leitungsbau keine Kosten. Dafür sind die Frequenzen oft Mangelware, und es kann Engpässe geben. Besonders Breitbandanwendungen haben einen grossen Hunger nach Frequenzbändern, und Frequenzen sind naturgegeben knapp.

2.2 Investitionsentscheide

Im Zusammenhang mit Netzinvestitionen stellt sich immer die Frage, ob in Leitungen oder Geräte zu investieren sei. Es stellt sich die Frage wo die optimale Balance für das Minimum von Cost of Ownership liegt. Investitionen in Leitungen sind im Allgemeinen teurer als in Geräte, können aber über einen wesentlich längeren Zeitraum abgeschrieben werden und haben vergleichsweise tiefere Betriebskosten zur Folge. Investitionen in Geräte sind im Allgemeinen viel günstiger, denn es kann inkrementell investiert werden, d. h. in Etappen, welche rasch Mehreinnahmen zur Folge haben. Dagegen ist die Abschreibzeit kürzer und der Betriebsaufwand höher anzusetzen. Geräte brauchen elektrische Energie und Betreuung, sie neigen zu geringerer Verfügbarkeit, wobei sich die Gesamtverfügbarkeit durch die Kombination mit der Verfügbarkeit der Leitung weiter reduziert.

Bei Netzinvestitionen sollte man sich über folgende Punkte Rechenschaft geben:

- Gleichgewicht Leitungs- und Geräteinvestitionen,

- erwartete Betriebskosten (Reparaturen, Wartung, Energie, Rechte etc.),
- bei Migration: Migrationsvorgaben, Migrationsschritte und Zielarchitektur, Einfluss auf bestehende Kundschaft,
- Standardisierung und Absatzpotential der Netzelemente,
- Innovationsrisiko,
- zu erwartende Gebrauchsdauer,
- erreichbare Verfügbarkeit.

2.3 Netzarchitekturen

Netzarchitekturen basieren auf einer Teilnehmeranschlussleitung, welche als individuelle, im Feld geschaltete oder im Feld verzweigende Leitung gestaltet werden kann. Dies ist in Abb. 2.4 bis 2.6 dargestellt.

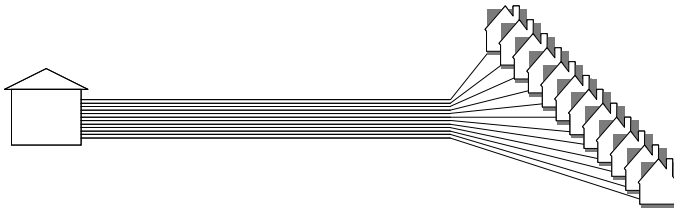


Abb. 2.4 P2P (Point-to-Point, Bulk Fibre, Home Run), Teilnehmer-individuelle Leitung

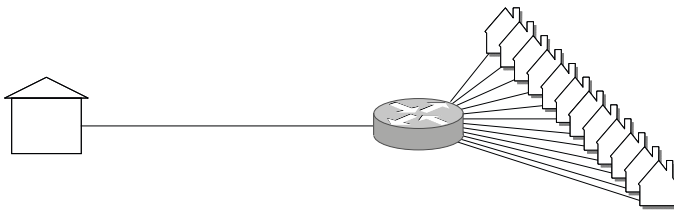


Abb. 2.5 AON (Active Optical Network), im Feld geschaltete Leitung

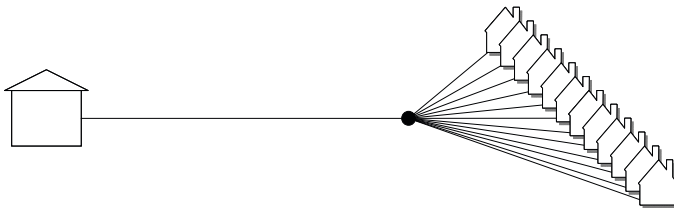


Abb. 2.6 PON (Passive Optical Network), im Feld verzweigende Leitung

Hinweis: Allen Netzarchitekturen liegt eine physische Infrastruktur zu Grunde (Graben, Rohr, Kabel, Faser, Wellenlänge, Bitstrom/Kanal, Pakete/Modulation

etc.). Wenn nun im Folgenden z. B. von PON die Rede ist, ist die Architektur der Faser gemeint, xPON schliesst aber die darüberliegende Technologie ein.

2.4 Betrieb des Zugangsnetzes

Man kann beim Netzbetrieb grob drei Funktionen unterscheiden:

- Bau, Betrieb und Wartung der passiven Netzinfrastruktur, umfassend die Kabelkanäle, die Schächte und die Kabel (NetCo),
- Bau, Betrieb und Wartung der aktiven Infrastruktur, umfassend die Übertragungstechnik mit ihren Geräten (OpCo),
- Diensteanbieter mit Marketing und Vertrieb der Endkunden-Produkte.

Zu dieser Einteilung sind einige Bemerkungen und Fragen anzubringen:

- Die obenstehenden Abgrenzungen sind in der Praxis nur unscharf zu erreichen. Was alles ist als aktiv zu bezeichnen, was als passiv?
- Wer ist dabei für die Hausverteilanlagen zuständig (für Bau und Betrieb in Kombination mit dem Diensteverkauf)?
- Wie geht man mit den unterschiedlichen Investitionshorizonten um? Der Diensteanbieter rechnet in wenigen Jahren, der Betreiber der aktiven Infrastruktur in etwas längeren Perioden, der Betreiber der passiven Infrastruktur sogar in Jahrzehnten.
- Wie teilt man die Einkünfte gerecht, sinnvoll und der Nachhaltigkeit dienend?

Die drei Betriebsebenen lassen sich für Dienstleister gruppieren:

- Vertikale Integration: NetCo, OpCo und Diensteanbieter sind die gleiche Gesellschaft.
- Vollständige Entbündelung (Open Access auf jeder Stufe): NetCo, OpCo und Diensteanbieter sind alles verschiedene Gesellschaften.
- Integrierter Diensteanbieter: OpCo und Diensteanbieter sind die gleiche Gesellschaft, NetCo eine andere.
- Integrierter Netzbetreiber (Open Access für Diensteanbieter): NetCo und OpCo sind die gleiche Gesellschaft, die Diensteanbieter weitere.

Die verschiedenen Betreiberformen haben Einfluss auf die Provisionierung von Geräten und Diensten. Unter Provisionierung versteht man das Aufschalten eines Dienstes für einen Teilnehmer. Dabei lassen sich verschiedene Typen unterscheiden.

- Leitungsprovisionierung: schaltet dem Teilnehmer zugeordnete Leitung zur Benützung frei. Ein Sternnetz ist dafür eine Voraussetzung. Beispiel: Zweidrahttelefonie.

- Geräteprovisionierung: schaltet das Endgerät in einer beliebigen Netztopologie frei. Beispiele: Kabelmodem, Set-Top-Box.
- Dienstprovisionierung: schaltet einen Dienst auf einem Endgerät frei. Beispiele: Internet-Access-Geschwindigkeit, zusätzliche digitale Fernsehprogrammpaletten.
- Kombinierte Provisionierung: besteht aus den vorstehenden Provisionierungsformen und erlaubt ein differenziertes Vorgehen beim zur Verfügung stellen von Diensten.

Bei der reinen Leitungsprovisionierung kann der Kauf des Endgerätes dem Teilnehmer überlassen werden, denn allein die bereitgestellte Leitung ermöglicht den Bezug von Diensten (z. B. analoges Telefon). Bei anderen Geräten und Dienstleistungen sind die Verhältnisse nicht so klar. Der separate Verkauf von verschiedenen Diensten allenfalls noch von verschiedenen Anbietern erfordert eine zugeschnittene Provisionierung. Der Diensteanbieter kann, um Sicherheiten zu gewährleisten, an einem eigenen, dem Teilnehmer vermieteten Endgerät interessiert sein.

2.5 Telefonnetz

2.5.1 Analoges Telefonnetz

Begonnen hat die Entwicklung des analogen Telefonnetzes (POTS: Plain Old Telephone Service) vor über hundert Jahren, als es Alexander Graham Bell (1847-1922) am 10. März 1876 gelang, Sprache mit Hilfe des elektrischen Stromes zu übertragen. Seither hat sich die Telefonie langsam und stetig entwickelt, wobei für den Transport stets eine Zweidrahtleitung diente. Heute dient die Zweidraht-Infrastruktur auch der Übertragung von ISDN und der verschiedenen DSL-Technologien (Digital Subscriber Line).

2.5.2 Digitales Telefonnetz

2.5.2.1 ISDN-Netz

1987 wurde ISDN (Integrated Services Digital Network) als neuer digitaler Standard für Telefonie auf den bestehenden Zweidrahtleitungen am Markt eingeführt und ist seither parallel zum analogen Telefon verfügbar. Das ISDN stellt dem Teilnehmer einen Basisanschluss (BRI: Basic Rate Interface) mit zwei Datenkanälen zu 64 kbps (B-Kanal) und einem Signalkanal zu 16 kbps (D-Kanal) für Telefon, Fax und PC zur Verfügung. Für Unternehmen steht der Primäranschluss (PRI:

Primary Rate Interface) mit 30 Datenkanälen zu 64 kbps und einem Datenkanal zu 64 kbps bereit.

2.5.2.2 Breitband-ISDN-Netz (B-ISDN)

Das CCITT¹ (heute ITU) hatte 1988 im Blue Book die Grundzüge des B-ISDN festgelegt und ATM (Asynchronous Transfer Mode) als zentrales Übertragungsverfahren empfohlen. ATM ist paketorientiert (totale Paketlänge 53 Byte, Header 5 Byte, Payload 48 Byte) auf der Basis von virtuellen Verbindungen.

B-ISDN benützt als physische Übertragungsschicht SDH (SDH: Synchrone Digitale Hierarchie, resp. in Nordamerika Sonet: Synchronous Optical Network). Obwohl ATM hervorragende Eigenschaften samt Quality-of-Service zur Verfügung stellt, hat es sich als zu teuer erwiesen und ist von IP massiv konkurrenziert worden. Besonders Telecom-Betreiber haben aber ATM weitgehend in ihren Infrastrukturen eingebaut, und auch VDSL (Very High Speed Digital Subscriber Line) verwendet als Transportrahmen ATM.

2.5.2.3 xDSL-Netz

Forschungsarbeiten bei Bellcore (USA) habt Ende der Achtziger Jahre zur Digital Subscriber Line Technologie² (DSL) geführt. Der Entwicklung lag die Idee zugrunde, auf der Zweidrahtleitung höhere Frequenzbereiche mit geeigneten Modulationsverfahren zu nutzen. In der Folge ist eine ganze Reihe von Anwendungen für die Datenübertragung entstanden:

- HDSL (High bit rate digital subscriber line, 1991) (E1, T1 Transport über 2 mal Zweidraht).
- ADSL (Asymmetric digital subscriber line, 1995) Internet Zugang, asymmetrisch
- ADSL lite (1999) vereinfachtes ADSL
- HDSL2 (2000) Ein-Paar HDSL (ANSI)
- SHDSL (Single-pair high-speed digital subscriber line, 2001) Ein-Paar HDSL (ITU)
- ADSL2 (2002) verbessertes ADSL
- ADSL2+ (2002) ADSL2 mit erweitertem Downstream, Triple Play
- VDSL (Very high speed digital subscriber line, 2003) Triple Play
- VDSL2 (2005) Triple Play

¹ Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique

² Siehe auch: http://de.wikipedia.org/wiki/Digital_Subscriber_Line

2.6 Breitbandkabelnetz

2.6.1 Einführung

Das Breitbandkabelnetz (HFC-Netz) ist seit Jahrzehnten in Betrieb und hat viele Veränderungen erfahren. Seine verzweigende Topologie hat es immer erlaubt, weitere Gebäude und Quartiere anzuschliessen und dies ohne deren Anschlussleitungen bis zum Ursprung zurückzuführen. Insbesondere konnte der physische Layer (Graben, Kabel, Faser) immer wieder weiterverwendet werden, und Anpassungen an neue Anforderungen konnten durch Austausch von passiven und aktiven Komponenten erreicht werden. Zu erwähnen ist auch, dass technologische Fortschritte bei der Verstärkertechnologie es immer wieder ermöglicht haben, die Bandbreite und damit die Kanalkapazität zu steigern. Es bestehen beim Breitbandkabelnetz sehr viele Freiheitsgrade bei der Kombination von Netzelementen resp. bei der Auswahl von deren Eigenschaften. Noch immer ist ein Potential für weitere Evolutionsschritte festzustellen, und die Einzigartigkeit bei der Übertragung von analogen Programmen³ ist immer noch ein nicht zu unterschätzender Pluspunkt für die Leistungsfähigkeit solcher Netze.

2.6.2 Reines Koaxialkabelnetz

Der Ursprung des Breitbandkabelnetzes ist das reine koaxiale Kabelnetz. Die koaxiale Verteiltechnik erlaubt wegen der endlichen Kaskadierungsmöglichkeiten für die Zwischenverstärker, je nach verfügbarer Verstärkertechnologie, nur eine beschränkte Netzlänge.

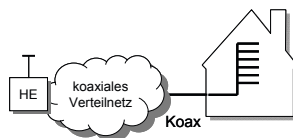


Abb. 2.7 Koaxiales Verteilnetz (HE: Kopfstation, Headend)

³ Breitbandkabelnetze sind Tripleplay-fähig, können aber zusätzlich analoge Radio- und Fernsehprogramme übertragen.

2.6.3 Hybrid-Fiber-Coax Netz (HFC)

Die Aufteilung des koaxialen Kabelnetzes in Zellen mit 500 bis 2000 Anschlüssen führte zum HFC-Breitbandkabelnetz und der Möglichkeit, ausgedehnte Netzlängen zu bauen. Das HFC-Netz stellt die erste Evolutionsstufe des Breitbandkabelnetzes dar.

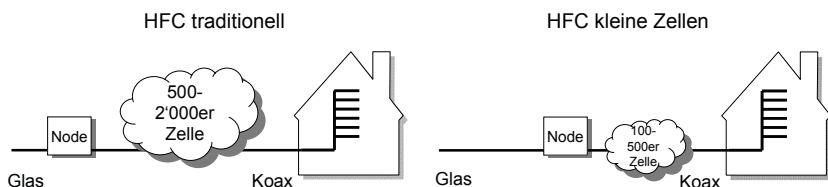
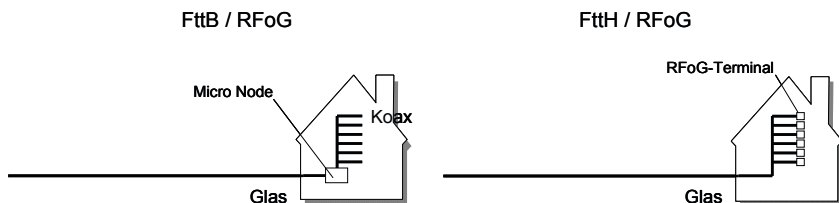


Abb. 2.8 HFC-Breitbandkabelnetz

2.6.4 Fiber-to-the-Building / Fiber-to-the-Home

Ein Breitbandkabelanschluss mit Lichtwellenleiter (LWL) bis zum Haus verwendet innerhalb des Hauses eine (bestehende) koaxiale Verteilung, ist kompatibel mit den im Koax- oder HFC-Netz verwendeten Endgeräten und stellt die zweite Evolutionsstufe des Breitbandkabelnetzes dar (siehe dazu auch 2.7.7).



FTTB = Fibre to the Building

FTTH = Fibre to the Home

RFoG = Radio Frequency over Glass

Abb. 2.9 Glasfaseranschluss bis zum Haus, bis zur Wohnung

Fiber-Deep, oft gehört, aber als Begriff schwer abzugrenzen, demonstriert den laufenden Prozess, die Glasfaser näher zum Teilnehmer zu bringen. Sowohl HFC- wie auch PON-Strukturen (PON: Passiv Optical Network, RFoG: Radio Frequency over Glass) können in Frage kommen. In Vorwärtsrichtung ist es bei den sehr vielen optischen Nodes in Baum-Topologie aus Kostengründen naheliegend, für die Übertragung den 1550 nm Bereich zu benützen und EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) zu verwenden. Die vielen Nodes sind jedoch auch mit Rückwärts-

lasern auszustatten und müssen in geeigneten Gruppen zusammengefasst werden. Dazu sind z. B. folgende Möglichkeiten zielführend:

- optische Zusammenschaltung im Baumnetz (kann zu optischen Interferenzen führen, daher sind besondere Massnahmen nötig),
- eine separate Faser pro Node (problemlos aber teuer, da sehr viele Fasern nötig werden),
- Wellenlängen-Multiplex (teuer),
- geschaufter digitaler Rückweg⁴ (Fasern in Bus-Topologie, Verrohrung z. B. Stern-Topologie),
- sternförmiger Rückweg und Zusammenschaltung in vorgeschobenem Hub auf Photodioden-Array (da mit Mehrfach-Photodiode ohne optische Interferenzen, EMC⁵).

2.6.5 Evolutions- und Migrationshilfen

Bestehende HFC-Netze können für die weitere Steigerung der Kapazität angepasst werden. Dabei geht es darum, die mit Glasfaser versorgten coaxialen Zellen zu verkleinern resp. geeigneter zu bündeln. Dadurch kommt die Glasfaser stetig näher zum Haus. Die vorgelagerte Strecke muss nun aber auch aufgerüstet werden und dort besteht nun im Allgemeinen Fasermangel. Darum ist in letzter Zeit ein reichhaltiges Angebot von Ideen entstanden, wie bestehende Fasern besser genutzt werden können. Einige Beispiele sind nachstehend aufgeführt.

Voll-Spektrum Narrowcast

Abbildung 2.10 zeigt die Variante Bus-Topologie (Stern-Topologie wäre auch möglich) für Voll-Spektrum Narrowcast. Dabei werden über nur eine Faser n Nodes über Wellenlängen-Auskoppel-Filter entlang der Faser angespeist. Zu beachten sind Einschränkungen wegen dem Four-Wave-Mixing (siehe 3.4.7). Als Folge davon sind identische, analoge Fernsehkanäle für alle Laser im unteren Frequenzband zu platzieren und die Node-spezifischen digitalen Signale im oberen Frequenzbereich. Es sind dafür Lösungen im 1300 nm und 1550 nm Bereich auf dem Markt (z. B. Aurora⁶, Arris⁷, Teleste⁸).

⁴ siehe: www.aurora.com/site/docfetch.an?di=207

⁵ http://www.emc-web.com/emc/c/pages/optical_return_path/optical_return_path.asp

⁶ <http://www.aurora.com/site/home.an>

⁷ <http://www.arrisi.com/>

⁸ <http://www.teleste.com/>

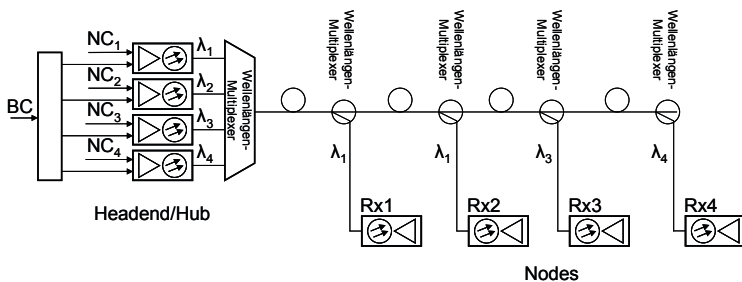


Abb. 2.10 Downstream Voll-Spektrum Narrowcast Konzept (1 Faser für n Nodes)

QAM Overlay

Beim QAM-Overlay werden Broadcast (BC) und Narrowcast (NC) separat im 1550 nm Bereich übertragen, BC und NC auf je einer Faser bis zur Zusammenschaltung im Feld. Dort wird BC auf eine Faser pro Node verteilt und das zugehörige NC-Signal dazugeschaltet. Im nachgeschalteten optischen Empfänger werden die beiden Signale gemeinsam in den elektrischen Bereich gewandelt.

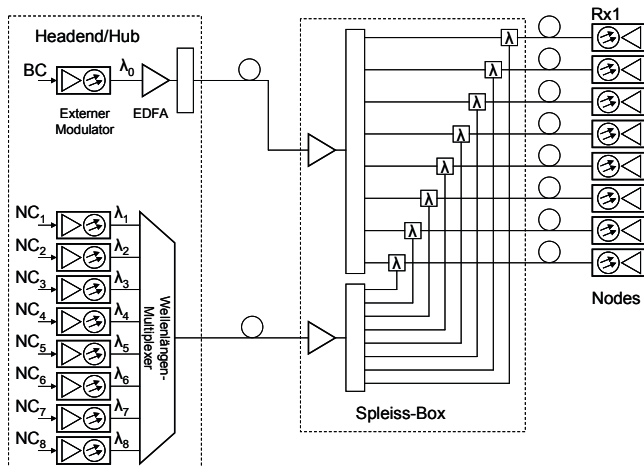


Abb. 2.11 QAM Overlay

Zusammenschaltung von Rückwegen mit Mehrfach-Low-Noise-Fotodiode

Bei sehr kleinzelligen Netzen entsteht ein Bedarf nach sehr vielen optischen Empfängern und falls nicht CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplex) eingesetzt wird, entsteht auch noch eine hohe Faserzahl. Wenn nun eine Zusammenschaltung des Rückwegs im Feld mit Rückweg-Konzentrator (Abb. 2.12) möglich ist, können optische Empfänger und Fasern gespart werden. Die Mehrfach-Fotodiode hat 12 oder 24 Faseranschlüsse, der Rückweg-Konzentrator bis zu 192.

Zu überlegen ist diese Lösung auch im Hinblick auf eine für PON vorbereitete Topologie, aber vorläufig mit aktiver Zusammenschaltung im Sternpunkt des PON.

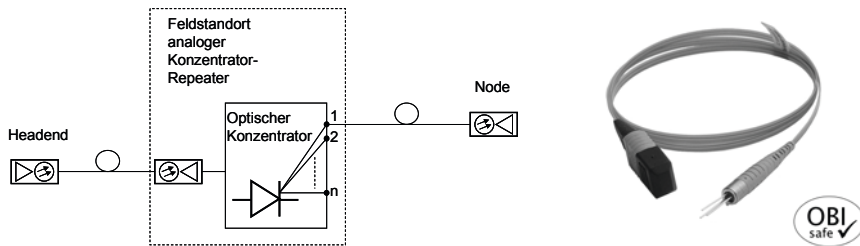


Abb. 2.12 Multi-Port-Rückweg-Konzentrator und Multifiber-Fotodiode (Patent EMC⁹)

Digitaler Rückweg

Der digitalisierte Rückweg hat den grossen Vorteil, dass das Link-Budget sehr viel höher wird (z. B. Aurora¹⁰ mit geschauftem digitalem Rückweg).

Hybrid-Fiber-Coax-Fiber (HFCE)

Neue Fotodioden haben einen sehr tiefen Wert für die Equivalent-Input-Noise-Current-Density von bis zu $1 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$. In vielen Fällen erlaubt das eine weitere LWL-Strecke ab Netzende für Neuanschlüsse oder zur Reduktion der Verstärkerkaskade (siehe auch 5.3.6).

Mikro-Node: als Teilnehmersdose, RFoG-tauglich

Auch für Fiber-to-the-Home (FtH) stehen heute Mikro-Nodes als Teilnehmersdose zur Verfügung (Abb. 2.13 links). Solche Netzelemente verfügen über einen optischen Vorwärtsempfänger und einen optischen Rückwärtssender. Sie werden lokal mit einem Steckernetzgerät mit Strom versorgt.

Abbildung 2.13 (rechts) zeigt eine RFoG-taugliche Micro-Node (siehe 2.7.7).



Abb. 2.13 links: Teilnehmersdose als Mikro-Node (EMC), rechts: RFoG-Micro-Node (Wisi)

⁹ <http://www.emc-web.com>

¹⁰ www.aurora.com

ReDeSign

ReDeSign¹¹ ist ein EU-Projekt und wurde 2008 lanciert mit dem Ziel, neue Technologien und Strategien zur Werterhaltung bestehender HFC-Netze zu nutzen. Das Dokument „Access Architecture Definition Document“ gibt einen Überblick über die gefundenen Resultate. Erwähnenswert sind die verbesserte DVB-C2-Spezifikation, welche die Übertragungsleistung wie bei DVB-S und DVB-T weiter steigert, sowie die Verwendung der neuen Hybridschaltkreise auf der Basis von Gallium-Nitrit (GaN). Dieses hat gegenüber Gallium-Arsenid (GaAs) einen etwa 3 dB höheren Störabstand, was für eine hohe Programmzahl und DVB-C2 natürlich sehr nützlich ist. Das Programm wurde 2010 abgeschlossen.

2.7 Passive optische Netze

2.7.1 Übersicht

Heute werden als neue Anschlussnetze vorzugsweise LWL-Netze erstellt. Passive optische Netze (PON) verzweigen im Feld (Point-to-Multipoint, wie in Abb. 2.6 dargestellt) und sind deshalb fasersparend. Sie bestehen aus einer Zentraleinheit am Ursprung des PON und *n* Netzabschlussheiten an den jeweiligen Endstellen der Fasern. In einem PON können mehrere Wellenlängen in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung auf einer Faser verwendet werden. Tabelle 2.2 gibt eine Übersicht über verschiedene PON. Es sind Standards von zwei Instituten, ITU¹² und IEEE¹³, vorhanden. Diese unterscheiden sich insbesondere durch ihr Transportprotokoll. Während ITU auf Telco-Standards (ATM, TDM) aufbaut, hält sich IEEE an den Ethernet-Standard.

Tabelle 2.2 PON-Technologien

	A-/BPON	EPON (GEPON)	GPON	10GEPON	WDM-PON
Normierung	ITU G.983	IEEE802ah	ITU G.984	IEEE P802.3av	Norm in Arbeit
Datenzellengrösse	53 Bytes	1518 Bytes	53 bis 1518 Bytes	1518 Bytes	unabhängig

¹¹ http://www.ict-redesign.eu/fileadmin/documents/ReDeSign-D22_AccessArchitectureDefinition.pdf
¹² ITU: International Telecommunication Union, eine Organisation der UNO
¹³ IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

	A-/BPON	EPON (GEPON)	GPON	10GEPON	WDM-PON
max. DS Datenrate	622 Mbps	1.25 Gbps	2.5 Gbps	IP: 2.4 Gbps, 1 - 10 Gbps pro Broadcast: 5 Gbps, On-Demand: 2.5 Gbps	Kanal
max. US Datenrate	155/622 Mbps	1.25 Gbps	2.5 Gbps	2.5 Gbps	1 - 10 Gbps pro Kanal
DS Wellenlänge	1490 und 1550 nm	1510 nm	1490 und 1550 nm	1550 nm	individuell
US Wellenlänge	1310 nm	1310 nm	1310 nm	1310 nm	individuell
Transport	ATM	Ethernet	ATM, Ethernet oder TDM	Ethernet	protokoll-unabhängig
Voice	ATM	VoIP	TDM	VoIP	unabhängig
Video	1550 nm Overlay	1550 nm Overlay/IP	1550 nm Overlay/IP	IP	1550 nm Overlay/IP
max. PON Splits	32	32, 64 mit FEC	32, 64, 128 geplant	128	hunderte
max. Distanz	20 km	20 km	60 km	10 km	20 km
mittlere Bandbreite pro Teilnehmer	20 Mbps	60 Mbps	40 Mbps	20 Mbps	bis 10 Gbps

Mit Ausnahme des WDM-PON (Wellenlängen Multiplex Passive Optical Network) müssen sich alle Endgeräte in die Upstream- und Downstream-Kapazität teilen, d. h. die in Tabelle 2.2 angegebene max. Datenrate ist für die mittlere Datenrate durch die Anzahl Splits zu teilen. Anders als im Downstream, wo die Zeitschlitzte für die Endgeräte mit kontinuierlichem Framing verteilt werden, sind diesen im Upstream Daten-Bursts zugeordnet. Die passiven optischen Netze unterliegen einer stetigen Entwicklung bezüglich Kapazität, Splitting-Faktor und Versorgungsreichweite. Unterstützt werden diese Faktoren durch Wellenlängen-Multiplex und optische Verstärker

2.7.2 APON / BPON

ATM-PON (APON) wurde 1995 als ITU-T G.983 standardisiert und war damit das erste für Teilnehmeranschlüsse definierte PON. Entsprechend den damaligen Erwartungen benutzte es das zellenbasierende ATM. Später wurde APON im Hinblick auf seine Möglichkeiten, sowohl Mietleitungsdienste als auch Ethernet zu übertragen, in BPON (Broadband-PON) umbenannt und neu in G.983.1, G.983.2, G.983.3 und G.983.4 standardisiert. BPON hat zwei Vorteile: Erstens stellt es eine dritte Wellenlänge für Video-Dienste zur Verfügung, und zweitens basiert es auf

der bewährten ATM-Transporttechnik. ITU G.983.1 definiert drei Leistungsklassen, Klasse A (5 bis 20 dB Reichweite), Klasse B (10 bis 25 dB Reichweite) und Klasse C (15 bis 30 dB Reichweite).

Benützte Wellenlängen:

- Original: G.983.1
 - Upstream: 1260 - 1360 nm (preisgünstige FP Laser)
 - Downstream: 1480 - 1580 nm (F-P oder DFB Laser)
- Neu: G.983.3
 - Upstream: 1260 - 1360 nm (wie G983.1))
 - Downstream: 1480 - 1500 nm (ungekühlte DFB Laser)
 - Erweiterter Bereich: 1539 - 1565 nm (gekühlte DFB Laser)
- Video Overlay (CATV): 1555 nm

BPON ist heute durch fortgeschrittenere Lösungen ersetzt und nur noch von historischem Interesse.

2.7.3 GPON

2003 wurde Gigabit-PON als Folge des technologischen Fortschritts mit ITU-T G.984.1, G.984.2 und G.984.3 standardisiert. GPON benützt das GFP-Protokoll¹⁴ (Generic Framing Procedure, ITU Rec. G.7041), um Telefonie und Daten zu transportieren. Damit kann GPON verschiedene Protokolle in ihrem Ursprungsformat übertragen. GPON ist für Telecom-Betreiber ein nahtlos passendes System, welches sich in den SDH-Transport einfügt und sowohl TDM als auch ATM direkt unterstützt.

Benützte Wellenlängen:

- Upstream:
 - Single Fiber System: 1260 - 1360 nm (155, 622, 1244, 2488 Mbps)
 - Dual Fiber System: 1260 - 1360 nm (155, 622, 1244, 2488 Mbps)
- Downstream:
 - Single Fiber System: 1480 - 1500 nm (1.244 und 2.488 Gbps),
 - Dual Fiber System: 1260 - 1360 nm (1.244 und 2.488 Gbps),

Wiederum sind drei Leistungsklassen definiert, Klasse A (5 bis 20 dB Reichweite), Klasse B (10 bis 25 dB Reichweite) und Klasse C (15 bis 30 dB Reichweite). Upstream- und Downstream-Timing ist auf den Telecom-Standard von 8 kHz abgestimmt, und alle Services werden mit ihrem Herkunftsformat durch GPON Encapsulation Mode (GEM) in die 125 μ s Frames eingesetzt. Wie Sonet/SDH unterstützt auch GPON eine Ersatzschaltung in 50 ms. ITU Rec. 985.5

¹⁴ <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.7041-200810-I/en>

gibt eine Übersicht über die Reservation von Wellenlängen für den Next Generation Access (NGA). Für Video-Overlay ist der Bereich 1550 bis 1560 nm offengehalten. ITU Rec. 984.6 befasst sich mit der Reichweitenerweiterung von NGA-Netzen bis 60 km.

2.7.4 EPON (GEPON)

Die Netzwerker (Hersteller in der First Mile Alliance, EFMA) haben mit Ethernet das EPON als passives optisches Netz im Schosse des IEEE entwickelt und in IEEE 802.3ah im Jahre 2004 standardisiert. Die Verwendung von Ethernet im Zugangsnetz ermöglicht ein durchgängiges Protokoll bis zum Teilnehmer bei einfachem Netzmanagement und angemessenen Kosten. EPON benützt eine Faser, im Upstream mit 1310 nm (1.25 Gbps) und im Downstream mit 1490 nm (1.25 Gbps).

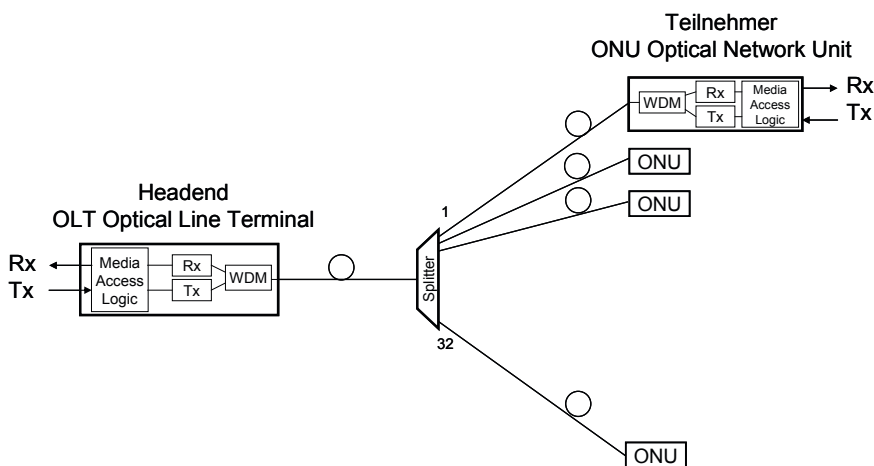


Abb. 2.14 P2MP EPON-Konfiguration

EPON kann als P2MP (Point-to-Multipoint, Abb. 2.14) oder als P2P (Point-to-Point) aufgesetzt werden. Für P2MP wird als Protokoll MPCP (Multipoint Control Protocol) benützt. MPCP weist Bandbreiten zu, und unterstützt u.a. Auto-Discovery und den Ranging-Prozess. Im Downstream werden die Pakete entsprechend 802.3 transportiert, im Upstream stellt MPCP Zeitschlitze für mehrere 802.3 Pakete zur Verfügung. Als zweite Variante ist das EPON als AON-Topologie möglich, dabei wird anstelle des optischen Leistungsteilers ein Switch im Feld verbaut (Abb. 2.15). Das EPON ohne (Switch) kann mit einem Video-Overlay auf 1550 nm kombiniert werden.

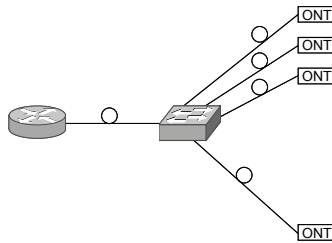


Abb. 2.15 AON EPON-Konfiguration

2.7.5 10GEPON

Das 10GEPON ist der 10 Gbps Ethernet Passive Optical Network Standard, wie er in IEEE 802.3av¹⁵ standardisiert ist. Dabei wurden zwei Konfigurationen festgelegt: symmetrisch, 10 Gbps in Upstream- und Downstream-Richtung und asymmetrisch, Downstream 10 Gbps und Upstream 1 Gbps.

2.7.6 WDM-PON

Für das Wellenlängen Multiplex PON (Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network, WDM-PON) existiert zur Zeit noch kein vereinbarter Standard. Es gibt aber eine Vielfalt von herstellerspezifischen Vorstellungen, wie ein WDM-PON etwa aussehen soll. Einig ist man sich bezüglich der bereits normierten Wellenlängenraster der ITU für CWDM und DWDM (ITU Rec. G.694.1 und G.694.2). Für eine Normierung stellen sich unter anderem folgende Fragen:

- Welches Wellenlängenraster soll gelten (CWDM, DWDM oder ein anderes)?
- Soll ein WDM-PON mit Leistungsteilern oder Wellenlängen-Filtern aufgebaut sein?
- Soll die ONU (Optical Network Unit, Teilnehmergerät) wellenlängenselektiv sein oder breitbandig?
- Soll der Downstream gemeinsam oder pro Teilnehmergerät sein?
- Soll das WDM-PON mit einer oder zwei Fasern gebaut werden?
- Soll ein optischer Verstärker verwendet werden können?
- Wenn nun zufolge Wellenlängen-Multiplexer eine reduzierte Dämpfung eintritt, soll die Differenz zur Längenerweiterung dienen oder soll der Verteilfaktor erweitert werden?
- Welches Transportprotokoll soll gewählt werden?

¹⁵ <http://www.ieee802.org/3/av/>

Im Vergleich zu anderen PON dürften Mehrkosten entstehen. Dem gegenüber ist aber die volle Datenrate auf der Wellenlänge für jeden Netzabschluss verfügbar.

2.7.7 RFoG

RFoG (Radio Frequency over Glass, HFC auf PON-Topologie, Cisco: D-PON) ist als Migrations-Lösung entstanden, um aus der HFC-Netztechnologie zu einer neuen faserbasierenden Technologie zu gelangen. RFoG benützt die für das HFC-Netz bereits vorhandenen zentralen Plattformen vom Rechenzentrum bis und mit CMTS mit Teilnehmergeräten, wie auch für HFC bereits im Einsatz. Damit entsteht eine nahtlose Migration vom analogen HFC-Netz in LWL-Strukturen und die Vorbereitung auf den Übergang in ein digitales PON-Netz. Insbesondere kann der Netzersatz flexibel geografisch gestaffelt und die Investitionen über viele Jahre verteilt werden. Kundenwahrnehmung, Vermarktung und Provisionierung bleiben dabei unverändert.

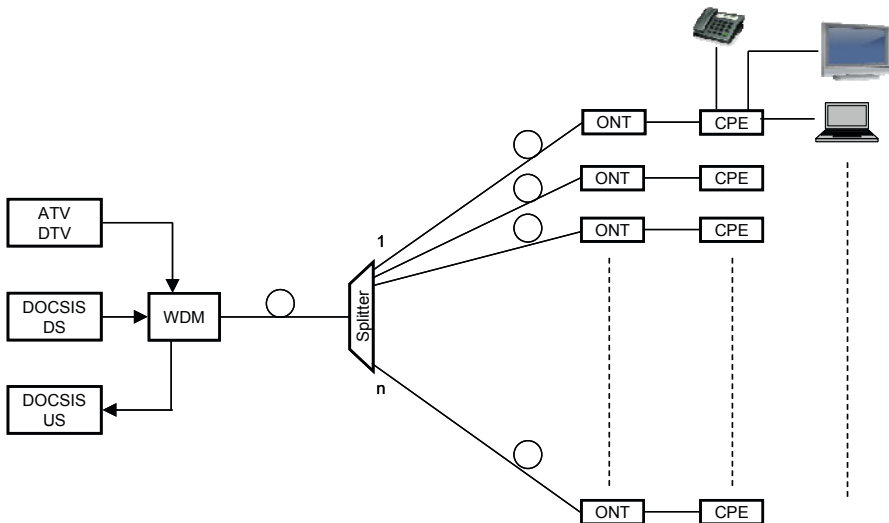


Abb. 2.16 RFoG über passives optisches Netz

In Abb. 2.18 sind zwei Möglichkeiten der Versorgung mit RFoG dargestellt, links FttB mit einem ONT im Haus und Anschluss der (bestehenden) koaxialen Hausverteilanlage, rechts FttH mit einem ONT in der Wohnung.

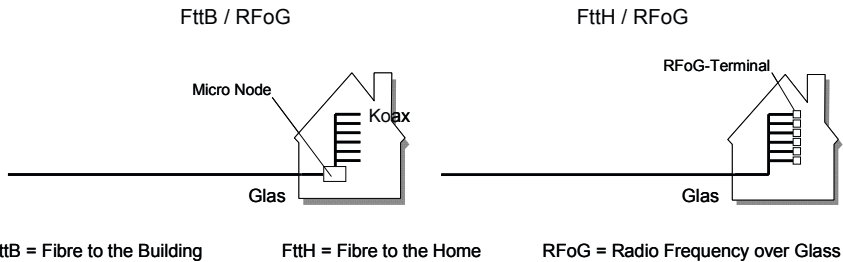


Abb. 2.18 Migrationsvarianten RFoG als FttB und FttH

RFoG kann parallel zu EPON oder GPON auf einer Faser kombiniert werden:

- entweder EPON (IEEE 802.3ah) and GPON (ITU-T G.984)
 - Downstream: 1490 nm (1480 - 1500 nm),
 - Upstream: 1310 nm (1260 - 1360 nm).
- oder 10GEPON (802.3av)
 - Downstream: 1577 nm,
 - Upstream: 1270 nm.
- und RFoG
 - Downstream (Video): 1550 nm,
 - Upstream: 1310 nm oder 1610 nm (Gerne benützt würde 1310 nm, aber dann wäre ein Doppelbetrieb auf der gleichen Faser mit GPON oder GEAPON nicht möglich.).

RFoG benützt mit 1550 nm für den Downstream die gleiche Wellenlänge wie EPON und GPON. Im Upstream sind zwei Möglichkeiten 1310 nm und 1610 nm vorgesehen. RFoG überträgt die auch für das Kabelnetz üblichen analogen und digitalen Radio- und Fernsehsignale sowie DOCSIS 3.0 IP-Signale für Internet, Telefonie und Daten aller Art. Später kann nach Bedarf GPON oder EPON auf der gleichen Faser dazukommen, um Kunden nur noch mit IP zu bedienen. RFoG ist eine neue Technologie, welche bis zur Drucklegung noch nicht in allen Details vom SCTE spezifiziert ist, aber im Betrieb bereits überprüft werden konnte. Folgende Punkte erfordern für die AM-Übertragung im Rückweg vertiefte Beachtung:

- Upstream CNR, thermisch bedingter Rauschbeitrag der optischen Verbindung. SCTE¹⁶ überlegt einen $\text{CNR} \geq 30 \text{ dB}$ bei 4 Kanälen mit 6.4 MHz.
- Reduktion des CNR durch die Zusammenschaltung von Upstreams.
- CNR soll auch für 64QAM im Upstream ausreichen.
- Optischer Modulationsindex im Upstream (sollte so hoch wie möglich gelegt werden, um den CNR hoch zu halten). Abbildung 2.17 zeigt den Rauschabstand in Abhängigkeit der Equivalent Noise Current Density der Photodiode bei gegebenen Parametern.

¹⁶ Society of Cable Telecommunications Engineers

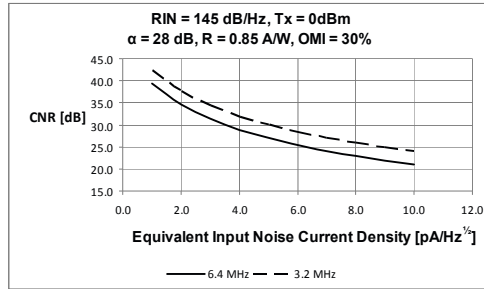


Abb. 2.17 CNR im Upstream als Funktion der Equivalent Noise Current Density

- Optical Beat Interference (OBI), entsteht beim gleichzeitigen Senden von Modems über verschiedene ONT (Optical Network Terminal). Dabei können sich die Spektrallinien der beteiligten Laser überlagern und, wenn in zu geringem Abstand von einander, Interferenzen bilden, welche sich in den elektrischen Bereich abbilden. Gänzlich vermeiden liesse sich OBI mit Wellenlängen-Multiplex auf dem PON-Upstream, Sternnetz anstelle PON, mit einem Repeater im optischen Verteilpunkt (siehe 2.6.5) oder mit identischen Wellenlängen im Upstream (synchronisierte optische Trägerfrequenzen oder optische Träger aus der gleichen Quelle).
- Die vorstehenden Faktoren sollten einen Betrieb über ein optisches Budget von 28 dB erlauben, was einem Split-Verhältnis von 1:32 bei einer Faserlänge von 20 km erlaubt. Variante: Split-Verhältnis 1:64 und 10 km Faserlänge.
- Ein RFoG-aware-CMTS schliesst aus, dass gleichzeitig Sendeschlitze an Modems hinter verschiedenen ONTs zugeteilt werden. Das hat aber einen Effizientverlust zur Folge, da mögliche Sendeschlitze unbenutzt bleiben können.

Optical Beat Interference

Studien zeigen, dass optische Träger im Abstand von weniger als 2 GHz Interferenzprodukte verursachen können. Je nach Studie ist ein Abstand von 13 pm bis 20 pm ausreichend, um Störungen zu verhindern. Zusammen mit einer Gleichverteilung der optischen Wellenlänge über 3'000 pm der produzierten 1'600 nm Laser soll sich eine Wahrscheinlichkeit für Interferenzen über die Zeit von etwa 0.8 % ergeben.

Verschiedene Hersteller von RFoG-Produkten haben technologisch unterschiedliche Lösungen ausgearbeitet. Dabei sind einige Spezialitäten zu erwähnen:

D-PON

Cisco¹⁷ setzt mit ihrem Produkt D-PON die Frequenzmodulation für die Rückwärtsübertragung ein. Weil die FM-gestützte Übertragung des gesamten Rück-

¹⁷ <http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/video/ps8806/ps8862/ps10444/G1717A-DPON-whitepaper.pdf>

wegs einen relativ hohen Frequenzhub erfordert, wird für eine gute Linearität eine im Vergleich zur Modulationsfrequenz ausreichend hohe Trägerfrequenz von 1.25 GHz verwendet. Die zur AM-Modulation zusätzliche Anwendung der FM-Modulation wird gewählt, um das Dämpfungsbudget im Upstream zu steigern. Es ist jedoch dafür zu sorgen, dass nicht zur gleichen Zeit über verschiedene RFoG-Nodes mehrere Modems senden können, da gleichzeitig auftretende FM-Träger gleicher Frequenz Interferenzen im optischen Empfänger erzeugen. Diese Interferenzen hängen aber im Gegensatz zu OBI nicht von der optischen Wellenlänge ab.

Zur Illustration der Wirkungsweise sei auf FM-Radio hingewiesen, wo im Fall Stereo eine maximale Modulationsfrequenz von 53 kHz mit einem FM-Hub von 75 kHz kombiniert wird (Modulationsindex = 1.4). Wenn der Hochfrequenz-Störabstand mindestens 10 dB beträgt, wird ein Störabstandsgewinn nach der Demodulation (Modulationsgewinn) von 10 dB erreicht.

Digitalisierter Rückweg (Aurora)

Aurora¹⁸ digitalisiert die gesamte Rückwegbandbreite mit einer Auflösung von 12 Bit, was zwar zu entsprechend hohen Bitraten führt, aber dennoch zwei Kanäle auf einer Wellenlänge zulässt. Als Anwendung sieht Aurora eine sternförmige oder eine geschlaufte Topologie. Letztere erlaubt längere Kaskaden durch Decodierung am nächsten Rückwärtsverstärker, Zuschaltung des lokal anstehenden Rückwärts-signals in der analogen Ebene und erneute Digitalisierung mit anschliessender Übertragung zum nächsten Rückwärtsverstärker.

OBI-freie Zusammenschaltung von Rückwegen mit Mehrfach-Fotodiode

EMC¹⁹ setzt zur OBI-freien Zusammenschaltung von sternförmig anstehenden Rückwegen ihre Mehrfach-Low-Noise-Fotodiode (mit geringer Equivalent Noise Current Density) ein. Dieser Rückweg-Konzentrator wird in den Sternpunkt des PON gesetzt. Die Rückwege werden in der elektrischen Ebene zusammengeschaltet und auf den optischen Sender zum Headend geschaltet, siehe dazu 2.6.5.

2.8 Funknetze

2.8.1 Satelliten

2.8.1.1 Umlaufbahnen

Satelliten werden entsprechend ihrem Einsatzzweck in verschiedenen Umlaufbahnen platziert und gehalten. Für die Lage- resp. Bahnkorrekturmanöver wird Treib-

¹⁸ www.aurora.com

¹⁹ <http://www.emc-web.com>

stoff benötigt. Die Lebensdauer eines Satelliten ist durch den Treibstoff begrenzt. Eine letzte Treibstoffreserve wird für die Verschiebung des Satelliten in die sog. Friedhof-Umlaufbahn oder für einen kontrollierten Absturz benötigt. Für die Telekommunikation unterscheidet man folgende Satellitenumlaufbahnen:

- Geostationär (GEO, Geostationary Earth Orbit): Flughöhe auf 35'786 km in einer Kreisbahn über dem Äquator. Darum lange Signallaufzeiten. Besonderheit: Der Satellit umrundet die Erde genauso schnell wie diese sich dreht und befindet sich deshalb bezüglich eines Punktes auf der Erdoberfläche immer an derselben Position. Wird genutzt für: Kommunikationssatelliten, Satelliten für TV-Übertragung, Wettersatelliten.
- Geosynchron (IGSO: Inclined Geo-Synchronous Orbit),
- MEO-Satellit (Medium Earth Orbit): Flughöhe auf ca. 9'600 km. Für eine flächendeckende Versorgung der Erde braucht es zwei Dutzend Satelliten.
- LEO-Satellit (Low Earth Orbit): Flughöhe auf 200 bis 1'600 km. Besonderheiten: klein, leicht, billig, energieärmste Bahnen und damit am leichtesten zu erreichen. Raumfahrzeuge bewegen sich mit etwa 7 km/s mindestens 10x schneller um die Erde, als diese sich dreht. Durch die geringe Entfernung zur Erde, kommt es zu keiner Signalverzögerung. Außerdem benötigen die Endgeräte wenig Energie und sind darum gut für Satelliten-Telefonie geeignet. Dichte Netz mit vielen Satelliten nötig. Wird genutzt für: Raumstation ISS, Spionagesatelliten, Erderkundungssatelliten, Kommunikationssatelliten.

Hochgelegene Umlaufbahnen führen zu erheblichen Zeitverzögerungen. Bei geostationären Satelliten beträgt die Verzögerung für Up-Link und Down-Link etwa $\frac{1}{4}$ Sekunde. Das kann bei Telefonie und Datenübertragung störend sein. Satellitenversorgungsgebiete lassen sich durch geeignete Antennen einstellen, man unterscheidet z. B. Hemisphären-weite Beams (Kontinent) und Spot-Beams (Ländergruppen).

2.8.1.2 Telefonie über Satellit

Weltweit gibt es einige Anbieter für Satellitentelefonie:

- Thuraya: Der arabische Satellitentelefonanbieter mit Sitz in Abu Dhabi und Uplink im Emirat Sharjah betreibt gegenwärtig 2 Satelliten auf geosynchroner Umlaufbahn und deckt Europa, Nord-, Ost- und Zentralafrika, den Nahen Osten, sowie Teile von Asien und Australien ab. Bei Gesprächen zwischen zwei Satellitentelefonen erfolgt die Vermittlung im Orbit, allenfalls auch über eine Verbindung zwischen zwei Satelliten.
- Inmarsat: 1979 von der Internationalen Seeschifffahrts-Organisation (IMO) der Vereinten Nationen als International Maritime Satellite Organization gegründet, 1999 als Inmarsat Ltd. privatisiert, betreibt Inmarsat ein Satelliten-System von zwölf Satelliten (davon elf in Betrieb) auf stationären Umlauf-

bahnen und deckt den Globus zwischen 70° nördlichem und 70° südlichem Breitengrad ab.

- Iridium: Weltweite Abdeckung mit 66 Satelliten (LEO, 780 km kreisförmig bei 86.4° Inklination)
- ACeS: Der asiatische Satellitentelefonanbieter ACeS (ASIA Cellular Satellite) arbeitet mit einem geostationären Satelliten (ähnlich Thuraya) und kann bis zu 11.000 Gespräche gleichzeitig vermitteln. Die Abdeckung umfasst bisher lediglich den asiatischen Raum.
- Globalstar: Satellitenkommunikationsnetz ähnlich dem Iridiumnetz, basierend auf 48 Satelliten in etwa 1.400 km Höhe und im Besitz von Qualcomm, Alenia, China Telecom (HK), DACOM, DaimlerChrysler Aerospace, Elsamcom (ein Finmeccanica-Unternehmen), Hyundai, TE.SA.M (ein France Telecom/Alcatel-Unternehmen), Space Systems/Loral und Vodafone AirTouch.

Weitere Angaben zur Satellitentelefonie findet der interessierte Leser unter <http://de.wikipedia.org/wiki/Satellitentelefon>.

2.8.1.3 Rundfunk über Satellit

Für Rundfunkzwecke steht eine Vielzahl von Satelliten in einer geostationären Umlaufbahn in Betrieb. Die zunehmend nur noch digital übertragenen Programme sind zum grossen Teil mit kleinen Antennen zu empfangen. Satellitenfernsehen kennt heute kaum Interaktivität (Rückweg).

Für Rundfunksatelliten steht im Down-Link ein Frequenzbereich von 10.7 GHz bis 12.75 GHz zur Verfügung, eingeteilt in Transponderbandbreiten von 27 MHz, 36 MHz und bei Halbtransponderbetrieb 72 MHz. Diese Transponderbandbreiten wurden für die analoge FM-Übertragung gewählt und können heute im digitalen Betrieb mit DVB-S pro Transponder 8 bis 12 Programme multiplexiert übertragen (bei DVB-S2 etwa 30 % mehr). Satelliten können bei nicht überlappendem Frequenzbereich an der gleichen Stelle kopositioniert werden. So können beide Satelliten mit gleicher Antennenausrichtung empfangen werden.

Der Up-Link-Sender arbeitet in einem höheren Frequenzbereich, da die Bodenstation im Vergleich zum Satelliten wenig Leistungsbereitstellungsprobleme kennt und die grössere Dämpfung bei höherer Frequenz zur Verfügung stellen kann.

Neben dem Up-Link und dem Down-Link besteht für die Kontrolle des Satelliten eine Ground-Segment/Space-Segment-Verbindung, TT&C genannt (Telemetry, Tracking & Command).

2.8.1.4 Datenübertragung über Satellit

Datenübertragung über Satellit eröffnet neue Möglichkeiten, wie etwa eine weite geografische Abdeckung bis hinein in unzugängliche, abgelegene Gebiete ohne jede Infrastruktur. Dafür ist immer Sichtverbindung zum Satellit erforderlich. Aus praktischen Gründen werden Satelliten in geostationärer Umlaufbahn für Anwendungen mit Richtantennen vorgezogen. Sie brauchen keine teure und schwere Antennennachführung. Über die lange Satellitenstrecke entsteht aber eine grosse Zeitverzögerung (Latency) bei der Übertragung. Die angebotenen Datenraten sind traditionell eher gering (typisch im kbps- bis Mbps-Bereich). Folgende Anwendungen werden unter anderen angeboten:

- Datenübertragung über verschiedene Satellitentelefonie-Systeme, z. B. Inmarsat BGAN.
- Datenübertragung über Astra ASTRA2Connect Internet via Satellit, bis zu 2.048 kbps Download und 128 kbps Upload, Telefonie via Satellit (VoIP).
- VSAT (Very Small Aperture Terminal), die Fortschritte bei der Technologie der Bodenstationen und der digitalen Verarbeitung hat kompakte Bodenstationen mit kleinen Parabolantennen (1.8 m Durchmesser oder weniger). VSAT werden für private und für öffentliche Anwendungen eingesetzt.
- Broadband Satellite Multimedia (BSM), BSM-Systeme sind von ETSI in TS 102 292 und TR 101 984 beschrieben. BSM ist eine Weiterentwicklung der bewährten VSAT-Anwendungen für den normalen Teilnehmerbetrieb.

Nachstehende Anwendungen können wegen der hohen Verzögerungszeit Schwierigkeiten verursachen oder besondere Massnahmen erfordern:

- Interaktive Online-Gaming,
- Anwendungen mit verzögerungskritischer Client-Software, z. B. Terminal-emulatoren,
- TCP kann als verbindungsorientiertes Protokoll beschleunigt werden (PEP), UDP dagegen nicht,
- Multi-Site-Konfigurationen führen zu doppelter Verzögerungszeit, da zwei Satellitenverbindungen benützt werden.

Auf einer Satellitenverbindung reduziert sich der Datendurchsatz insbesondere beim weit verbreiteten und verbindungsorientierten TCP-Protokoll massiv. Das TCP-Protokoll nimmt die grosse Verzögerungszeit (rund 250 Millisekunden pro Weg zwischen Boden und Satellit und rund 600 Millisekunden für beide Wege inklusive Protokoll-Latenzzeit des Systems) als Stau wahr und kann in der Slow-Start-Phase die Datenrate nicht hochfahren. Um diesem Effekt zu begegnen, können im Satellitenabschnitt zwischen den beiden Bodenstationen Performance Enhancing Proxies (PEP) eingesetzt werden.

Broadband Satellite Multimedia (BSM)

Abbildung 2.19 zeigt das von ETSI konzipierte BSM-Konzept TR 101 984²⁰ (Broadband Satellite Multimedia).

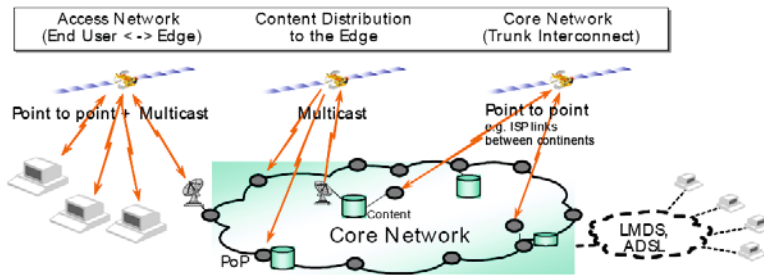


Abb. 2.19 Kern-, Verteil- und Zugangsnetz²¹

Die spezifizierte BSM-Technik lässt im physischen Layer Spielraum für Varianten (Abb. 2.20). Dabei gibt es zwei Protokollmodelle: Verarbeitung im Satellit und transparente Durchschaltung. Tabelle 2.3 gibt einige Angaben zu den Varianten, die im physischen Layer benutzt werden.

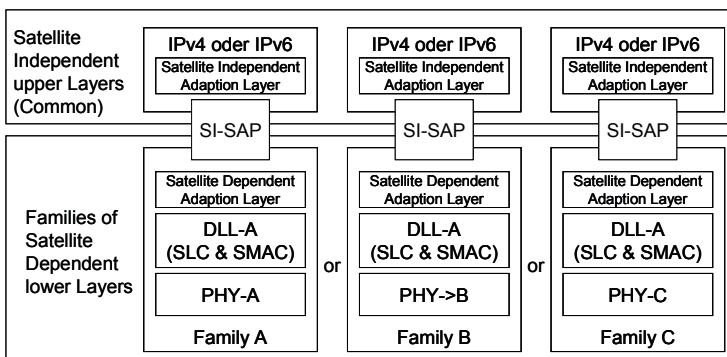


Abb. 2.20 BSM-Familien

²⁰ Erhältlich bei ETSI (registrieren nötig), suchen nach TR 101 984, <http://pda.etsi.org/pda/queryform.asp>

²¹ © European Telecommunication Standards Institute 2007. Further use, modification, copy and/or distribution are strictly prohibited. ETSI standards are available from <http://pda.etsi.org/pda/>

Tabelle 2.3 Varianten für den physischen Layer

Spezifikation	DVB-RCS ²²	IPoS ²³	DOCSIS-S ²⁴	SATMODE ²⁵
Max.US-Datenrate	2048 kbps	2048 kbps	1203 (2406) kbps	128 kbps
Max.DS-Datenrate	DVB-S: 45/68 Mbps DVB-S2 : 100+ Mbps	DVB-S: 45/68 Mbps DVB-S2: 100+ Mbps	50 (108) Mbps	DVB-S: 45/68 Mbps DVB-S2: 100+ Mbps
Betreiber z. B.	Astra Broadband	Hughes	Eutelsat Tooway	Astra Broadband

Performance Enhancing Proxies

PEP (Performance Enhancing Proxy) kann unterschiedlich implementiert werden und kann die Erweiterung des TCP-Sendefensters, Multiplexierung mehrerer TCP-Verbindungen und Kompression nach ITU Rec. V.44 über mehrere Pakete einschliessen (nutzt Redundanz über mehrere Pakete).

- Performance Enhancing Proxies Intended to Mitigate Link-Related Degradations²⁶
- IP Payload Compression Protocol (IPComp)²⁷
- IP Payload Compression Using DEFLATE²⁸

2.8.2 Mobilfunk

2.8.2.1 Generationenfolge

Die mobile Telefonie hat bereits eine lange Geschichte, welche sich in einer langen Generationenfolge manifestiert:

- Generation 0G: analoge Übertragung
 - MTS, MTA, MTB, MTC, IMTS, MTD, AMTS, OLT, Autoradiopuhelin
- Generation 1G: analoge Übertragung
 - NMT, AMPS, Hicap, Mobitex, DataTAC, TACS, ETACS
- Generation 2G: 9.6 - 14.4 kbps, bis 64 kbps

²² http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/301700_301799/301790/01.05.01_60/en_301790v010501p.pdf

²³ Normiert durch TIA (TIA-1008-A), ITU und ETSI

²⁴ Proprietär (Viasat): <http://www.viasat.com/broadband-satellite-networks/surfbeam>

²⁵ Astra Broadband, EN 50 478

²⁶ RFC 3135: <http://www.rfc-editor.org/rfc/pdf/rfc3135.txt.pdf>

²⁷ RFC 3173: <http://www.rfc-editor.org/rfc/pdf/rfc3173.txt.pdf>

²⁸ RFC 2394: <http://www.rfc-editor.org/rfc/pdf/rfc2394.txt.pdf>

- GSM/3GPP Familie: GSM, CSD
- 3GPP2 Familie: CdmaOne (IS-95)
- D-AMPS (IS-54 and IS-136), CDPD, iDEN, PDC, PH
- Generation 2.5G: bis 115 kbps, bis 384 kbps
 - GSM/3GPP Familie: GPRS, HSCSD
 - iDEN Familie: WiDEN
- Generation 2.75G:
 - GSM/3GPP Familie: EDGE/EGPRS
 - 3GPP2 Familie: CDMA2000 1xRTT (IS-2000)
- Generation 3G (IMT-2000): 2 Mbps
 - 3GPP Familie: UMTS (UTRAN), WCDMA-FDD, WCDMA-TDD, UTRA-TDD LCR (TD-SCDMA)
 - 3GPP2 Familie: CDMA2000 1xEV-DO (IS-856)
- Generation 3.5G:
 - 3GPP Familie: HSDPA, HSUPA (2 bis 14 Mbps)
 - 3GPP2 Familie: EV-DO Rev. A (0.5 bis 2.4 Mbps)
- Generation 3.75G: bis 2.
 - 3GPP Familie: HSPA+
 - 3GPP2 Familie: CDMA2000 3x (EV-DO Rev. B)
- Generation 3.9G (Pre-4G):
 - 3GPP Familie: LTE²⁹ (E-UTRA)
 - Mobile WiMAX³⁰ (IEEE 802.16e-2005), Flash-OFDM, IEEE 802.20
- Generation 4G (IMT-Advanced):
 - 3GPP Familie: LTE Advanced
 - WiMAX Familie: IEEE 802.16m

Weitere Informationen finden sich in:

- zu 3G/LTE: <http://www.3gpp.org/>
- zu UMTS: <http://www.umts-forum.org/>
- zu GSM: <http://www.gsmworld.com/technology/index.htm>
- zu WiMAX: <http://www.wimaxforum.org/>
- zu WiMAX: <http://standards.ieee.org/getieee802/802.16.html>

2.8.2.2 Netzarchitektur

Referenzschema

Abbildung 2.21 zeigt das GSM-Referenzschema, die Abkürzungen sind in Tab. 2.4 beschrieben. Zur Versorgung eines Gebietes wird dieses in Zellen eingeteilt. Bei GSM werden Makro- und Minizellen verwendet, bei höheren Generatio-

²⁹ LTE: Long Term Evolution

³⁰ Broadband Wireless Metropolitan Area Networks (MANs)

nen wird die Zellengröße kleiner gewählt. Letztere richtet sich nach dem Verkehrsaufkommen, der Topografie und dem zugeteilten Frequenzspektrum. Der Mobilfunk ermöglicht per Definition den Betrieb über die Zellengrenzen. Dabei wird der Übertragungsweg von Zelle (BTS) zu Zelle weitergereicht. Die GSM-Systemarchitektur ist in drei Teile gegliedert:

- Radio Sub-System
- Switching Sub-System
- Operation & Maintenance Sub-System

Tabelle 2.4 Im Referenzschema verwendete Abkürzungen

Kürzel	Name	Bedeutung
AuC	Authentication Center	Zugangsberechtigungszentrale
BSC	Base Station Controller	Steuerung mehrerer Basisstationen
BTS	Base Transceiver Station	Basisstation
EIR	Equipment Identity Register	Datenbank für die Geräte-Kennung IMEI
GMSC	Gateway-MSC	Vermittlungsstelle mit Schnittstelle in andere Netze
HLR	Home Location Register	Heimatdatei
MS	Mobile Station	Mobilfunktelefon, Handy
MSC	Mobile Switching Center	Mobilfunkvermittlungsstelle
OMC	Operation and Maintenance Center	Betriebs- und Wartungszentrale
SIM	Subscriber Identify Module	Karte mit Chip zum Speichern benutzerdefinierter Daten und Zugriffsberechtigung
TRAU	Transcoding und Rate Adaptation Unit	Umsetzung von Datenraten
VLR	Visitor Location Register	Besucherdatei

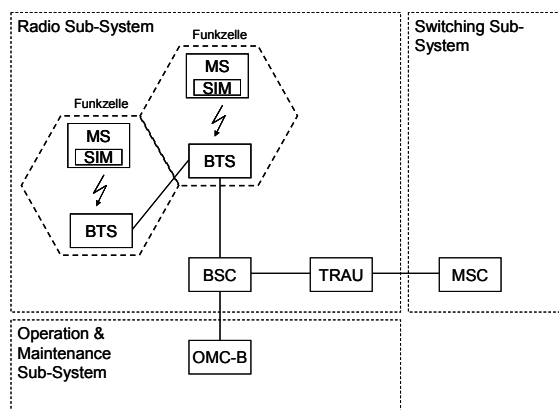


Abb. 2.21 Referenzschema

In Abb. 2.22 ist das Frequenzvergabeverfahren für die benachbarten Zellen dargestellt. Das Frequenzspektrum ist beschränkt und muss in den Nachbarzellen wieder verwendet werden (Frequency Reuse). Dabei definiert man eine kleine Zellengruppe mit 7 Zellen, teilt unterschiedliche Frequenzen zu und kombiniert solche Zellen zu einem Zellenverbund. Dabei sind gleiche Frequenzen räumlich möglichst entfernt voneinander und Interferenzen minimal.



Abb. 2.22 Frequenzbandzuteilung im Zellenverband

Zellengrösse

Makrozellen: Funkzellen in der Grösse von 20 bis 30 Kilometer Durchmesser für weniger dicht besiedelte, ländliche Gebiete.

Minizellen: Durchmesser üblicherweise einige Kilometer zur Versorgung städtischer Gebiete.

Microzellen: Durchmesser von einigen hundert Meter zur Versorgung von Stadtteilen mit ausreichender Kapazität für starke Mobilfunknachfrage.

Nanozellen: Füllzellen mit weniger als 100 Meter Durchmesser zum gezielten Bewältigen von Kapazitätsspitzen bei Veranstaltungen.

Pico-Zelle: Für die hausinterne Versorgung von Firmen bei einem Versorgungsengpass.

Femto-Zelle: Die Bezeichnung zeigt, dass es sich um eine sehr kleine Zelle handelt. Vorgesehen ist, dass die Femto-Zelle³¹ den Raum innerhalb des Hauses oder einer Wohnung versorgt, während im gleichen Frequenzbereich Makro-Zellen den Raum ausserhalb des Hauses versorgen. Die Idee bei der Femto-Zelle ist, dass der Bewohner bei einem Diensteanbieter einen Femto-Zellen-Access-Point (mit SIM-Card) abonniert. Dieser wird mit dem vorhandenen Internetanschluss des Bewohners verbunden. Die hausinterne Telefonversorgung erfolgt somit vom Diensteanbieter über den Internetanschluss (DSL oder Kabel) sowie den Femto-Zellen-Access-Point zum Mobiltelefon. Der Femto-Zellenanbieter muss dabei nicht mit dem Internetanbieter identisch sein. Ob und wie sich diese neue Idee der Femto-Zellen in den Markt einfügen, wird zu beobachten sein. Je nach Dienstangebot in der Femto-Zelle und je nach Gestaltung der Zellenanspeisung werden verschiedene Interessen mitspielen. Ist der Mobilnetz- und DSL/Kabel-Betreiber ist iden-

³¹ Weitere Informationen: <http://www.femtoforum.org>

tisch, entstehen keine Konflikte und die Femto-Zelle entlastet den Verkehr der Makro-Zelle ausserhalb des Hauses. Es stellen sich folgende Fragen: Sind aber der Mobilnetz- und der DSL/Kabel-Betreiber verschiedene Unternehmungen, werden dann Kooperationen möglich sein? Erübrigt sich mit der Femto-Zelle der Festnetzanschluss? Wird die Femto-Zelle in Verbindung mit LTE betrieben? Erübrigt sich dann ein Festanschluss für das Internet?

2.8.2.3 Funk-Schnittstelle

Die Funkschnittstelle besteht aus zwei Richtungen, nämlich Uplink für die Richtung Handgerät zur Basisstation und Downlink in umgekehrter Richtung.

GSM 900 (FDD): Uplink- und Downlink-Frequenz haben einen festen Frequenzabstand von 45 MHz (FDD, Frequency Division Duplex). Die Frequenzbänder sind eingeteilt in 124 Kanäle zu 200 kHz (FDMA, Frequency Division Multiple Access). Zusätzlich werden die Kanäle im Zeitmultiplex zu 8 Zeitschlitzten mit 0.577 ms betrieben (TDMA, Time Division Multiple Access). GSM-Systeme (Global System for Mobile Communications) verwenden die Phasenmodulation GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying).

GSM 1800 (FDD): GSM 1800 hat im Unterschied zu GSM 900 mehr Kanäle (374 zu 200 kHz)

UMTS (FDD-Version): Codemultiplex (CDMA, Code Division Multiple Access) mit 128 verschiedenen Codes, Frequenzmultiplex (FDMA) mit 12 Kanälen zu 5 MHz.

UMTS (TDD-Version): Codemultiplex (CDMA) mit 16 verschiedenen Codes, Frequenzmultiplex (FDMA) mit 5 Kanälen zu 5 MHz Kanalbreite, Zeitmultiplex (TDMA) mit 15 Zeitschlitzten zu 10 ms pro Kanal (wegen TDD).

2.8.3 Mobilfunk der 4. Generation

2.8.3.1 Entwicklungen für die 4. Generation

Modulationsverfahren

Obwohl das Zugriffsverfahren OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, ein Vielträger-Modulationsverfahren und OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access) bereits seit längerer Zeit bekannt ist, liess es sich bisher noch nicht kostengünstig einsetzen. Deshalb sind die Vorgängerversionen noch mit weniger rechenintensiven Verfahren bestückt worden. Die digitale Sig-

nalverarbeitung für OFDM ist aber heute ausreichend kostengünstig, kommt jetzt in der 4. Generation zur Anwendung und bietet die folgenden Vorteile:

- Mit OFDM können auch breitbandige Kanäle gegen Schwund resistent gemacht werden.
- Kanalentzerrer lassen sich für OFDM einfacher realisieren als z. B. CDMA.
- Dank grosser Symbolhöhen, kann OFDM mit Schutzintervallen, bekannt als Cyclic-Prefix, gegen Mehrwegeempfang widerstandsfähig gemacht werden.
- Das Vielträgermodulationsverfahren OFDM ist gut geeignet mit MIMO (Multiple Input Multiple Output) zusammenzuarbeiten.

OFDM hat aber auch einige Nachteile:

- Die eng gestaffelten Trägerfrequenzen machen OFDM empfindlich für Phasenrauschen und Frequenzfehler.
- OFDM ist empfindlich für den Effekt der Dopplerverschiebung. Er kann bei hohen Fahrgeschwindigkeiten Trägerinterferenzen verursachen.
- Blosses OFDM verursacht ein hohes Peak-to-Average Ratio des Signals. Deshalb wird im Uplink ein abgewandeltes Verfahren, SC-FDMA (SC-FDMA: Single-Carrier Frequency Division Multiple Access) eingesetzt.

Abbildung 2.23 zeigt den Zusammenhang der Symbole in der Zeitebene zu den Unterträgern in der Frequenzebene über die Fourier-Transformation (FFT).

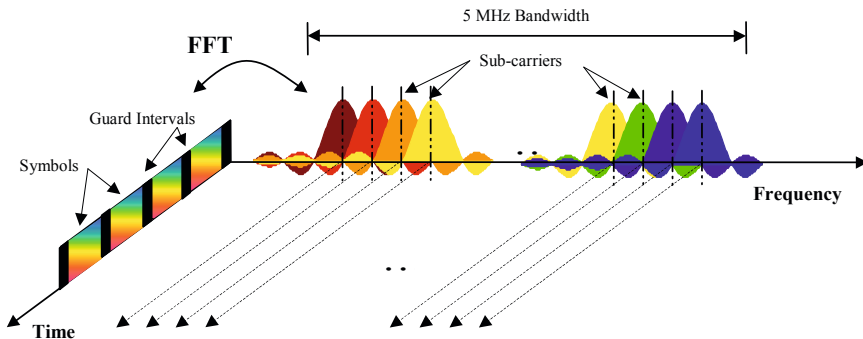


Abb. 2.23 Frequency-Time Representation of an OFDM Signal³²

Antennen-Diversity

Auch die Antennentechnik trägt zur technologischen Weiterentwicklung der 4. Generation der Mobilfunktechnik bei. Eine variantenreiche Auswahl für Diver-

³² © 2004. 3GPP™ TSs and TRs are the property of ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TTA, and TTC who jointly own the copyright in them. They are subject to further modifications and are therefore provided to you “as is” for information purposes only. Further use is strictly prohibited.

sität sowie Beamforming (Strahlenlenkung durch Phasensteuerung der Antennen im Antennenfeld) stehen heute zur Verfügung (siehe 4.6 und 4.7).

Digitale Dividende

Mit der Einführung des digitalen terrestrischen Fernsehens ist die Programmkapazität von einem Programm pro Kanal auf etwa vier bis acht Programme gestiegen. Deshalb hat man an der WARC 2007³³ Frequenzspektrum von Broadcast zu Mobile verschoben. Bis 2015 soll der Bereich von 790 MHz bis 862 MHz für LTE (Long Term Evolution) belegt werden können. Später soll auch der Bereich ab 600 MHz folgen. Diese relativ tiefen Frequenzbereiche ermöglichen neue Anwendungen durch folgende Vorteile:

- Grössere Zellen von 5 km bis 30 km, abhängig vom Terrain, von der Nutzung und von der CPE (Customer Premises Equipment, Teilnehmergerät).
- Die notwendige Zellenzahl wird drei bis fünf Mal kleiner im Vergleich zu 2500 MHz und 3500 MHz.
- Bessere Durchdringung von Gebäuden.

2.8.3.2 Long Term Evolution (LTE)

LTE ist die Funk-Schnittstelle der 4. Generation Mobilfunk und Nachfolger, aber nicht Ersatz, für UMTS. Im Schosse von 3GPP³⁴ (3rd Generation Partnership Project) werden Mobilfunknetz-Spezifikationen für sehr hohe Datenraten (Downstream und Upstream) erarbeitet. Dabei werden Datenraten von 100 Mbps im Downstream und 50 Mbps im Upstream angestrebt (bei 5 bps/Hz) in einem 20 MHz Kanal. Das Zugriffsverfahren wird OFDMA und SC-FDMA sein. Die LTE-Funkschnittstelle wird EUTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network) genannt und ist eine Weiterentwicklung der UMTS-Schnittstelle UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network).

LTE ist immer noch in Entwicklung und wird von 3GPP³⁵ schrittweise mit Releases zur Verfügung gestellt: HSDPA (Release 5), HSUPA (Release 6), HSPA+ (Release 7), LTE (Release 8), LTE mit kleinen Erweiterungen (Release 9), LTE-A (Release 10).

³³ <http://www.itu.int/ITU-R/index.asp?category=conferences&link=wrc-07&lang=en>

³⁴ <http://www.3gpp.org/About-3GPP>

³⁵ <http://www.3gpp.org/>

2.8.3.3 Broadband Wireless Metropolitan Area Networks³⁶

WiMAX³⁷ ist die IEEE-Alternative zu LTE und in mehreren Versionen verfügbar. Die wichtigsten sind:

- IEEE 802.16-2004, auch WiMAX fixed genannt, Vorgänger-Version von mobile WiMAX. Der Wechsel einer Funkzelle mit Beibehaltung der IP-Adresse ist noch nicht spezifiziert. Die Modulationsart ist OFDM, jedoch ohne MIMO (Multiple Input Multiple Output, Raum-Diversity mit mehreren Antennen).
- IEEE 802.16e-2005, auch WiMAX mobile genannt, Wechsel der Funkzelle im laufenden Betrieb ist möglich. Konzept ermöglicht den breitbandigen Zugang zum Internet. Verwendet OFDM zusammen mit MIMO als Modulationsart. Diese Modulationsart ist sehr gut verträglich mit vielen Reflexionen auch bei fehlender Sichtverbindung. Ein Wechsel der Funkzelle im laufenden Betrieb ist möglich.
- IEEE 802.16j-2009, Korrektur von WiMAX mobile
- IEEE Entwurf P802.16m (Anforderungen von IMT-Advanced (International Mobile Telecommunications) sollen erfüllt werden)
- IEEE Entwurf P802.16h (Gemeinschaftsbetrieb in lizenzbefreitem Spektrum)

2.9 Optischer Richtfunk

Der optische Richtfunk (Free Space Optics, FSO)) benötigt keine Bewilligungen, kann rasch aufgebaut werden und erlaubt hohe Datenraten in der Größenordnung von 2.5 Gbps (STM-16). Es ist Sichtverbindung erforderlich, und es entsteht eine Übertragungsdämpfung mit verschiedenartigen Abhängigkeiten:

- Absorption: Nebel verursacht hohe Dämpfungen, Regen und Schnee haben aber vergleichsweise wenig Einfluss. Gegenmassnahme in nebelgefährdeten Gebieten sind kurze Strecken und Redundanz.
- Luftflimmern: Dadurch wird Lichtleistung in andere Richtungen gestreut und es geht Leistung verloren (zusätzliche Dämpfung).
- Umgebungslicht: z. B. Empfangsstörung durch die Sonne hinter dem Sender.
- Abschattung: z. B. durch Gebäude, Vögel und Bau-Krane.
- Gebäudebewegungen: z. B. durch Wind (Hochhäuser oder Erdbeben).

Der optische Richtfunk ist vom Prinzip her sehr einfach. Der Sender erzeugt mit einem Laser einen feinen optischen Strahl, der über eine Linse durch die Luft

³⁶ <http://www.wimaxforum.org/>

³⁷ <http://standards.ieee.org/getieee802/802.16.html>

zu einem Empfänger geleitet wird. Dort wird der Strahl über eine Linse auf die Fotodiode geführt und in ein elektrisches Signal gewandelt. Die Geräte sind für Duplex-Betrieb je mit Sender und Empfänger ausgestattet. Zur Übertragung werden Wellenlängen in den Bereichen von 760 ... 780 nm, 850 nm, 1310 nm und 1550 nm eingesetzt. Der eng gebündelte Lichtstrahl weist eine Strahlaufweitung von 1 mrad bis 10 mrad auf. Diese Aufweitung führt zu zusätzlicher Dämpfung auf dem Übertragungsweg. Deshalb haben leistungsfähige Systeme eine geringe Strahlaufweitung. Solche Systeme bedürfen einer sehr sorgfältigen Montage und benötigen eventuell eine automatische Strahlnachführung, um bei hohen Gebäuden deren Bewegung zu kompensieren.

2.10 Powerline Communications

Powerline (PLC), Oberbegriff für eine Übertragung über Stromleitungen, nutzt solche Leitungen um parallel zur Energieversorgung Daten zu übertragen. Bereits seit vielen Jahren nutzen die Elektrizitätsversorger die Stromleitungen für die Datenübertragung, im Anschlussnetz mit der Rundsteuerung z. B. für die Zählerumschaltung. Die CENELEC-Norm EN 50065-1 regelt diese Benützung und teilt einen Frequenzbereich von 3 bis 148.5 MHz mit einem Sendepiegel von 5 mW zu. Im Jahre 2006 wurde die globale Powerline-Spezifikation von der „Open PLC European Research Alliance (OPERA)“ verabschiedet und in den IEEE-Standard IEEE P1901 „Broadband over Power Line Networks (BPL)“ eingearbeitet (Abb. 2.24).

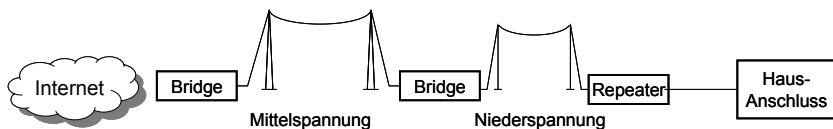


Abb. 2.24 Referenzschema Powerline Communications

Für die Übertragung wird OFDM mit 1536 Träger innerhalb einer Bandbreite von 25 MHz verwendet, welche je nach Störabstand mit maximal 256QAM (8 Bit/s/Hz) moduliert werden können. Powerline erzeugt naturgemäss eine gewisse Störstrahlung. Diese wurde z. B. für Deutschland mit der Nutzungsbestimmung 30 (NB 30) spezifiziert. In der Praxis zeigte sich aber, dass diese Werte kaum einzuhalten waren. Grossbritannien setzte 10-fach niedrigere Grenzwerte in Kraft, worauf dort schon sehr früh alle Powerline-Aktivitäten eingestellt worden sind. Aufgrund der enormen technischen Probleme bei der praktischen Übertragung haben sich viele Firmen vom Markt zurückgezogen. Übrig geblieben sind diverse Produkte mit unterschiedlichen Spezifikationen für Heimvernetzung.

2.11 Kabelbasierende Haus- und Heimnetzwerke

Soweit vom Kunden für Datennetze Kabel-Lösungen und nicht drahtlose bevorzugt werden, besteht für die Verkabelung in den Häusern eine vielfältige Auswahl, welche die Entscheidung überhaupt nicht vereinfacht. Traditionell in Häusern verlegt wurde über lange Zeit:

- Zweidraht-Telefonnetz: für ISDN, ADSL und VDSL verwendbar.
- Koaxialkabel: dafür hat die Multimedia over Coax Alliance (MoCA) Lösungen für die Vernetzung der Teilnehmergeräte entwickelt (Chip-Hersteller: Entropic).

Dafür sind Koaxialkabel und Zweidraht-Telefonleitungen verlegt worden und vorhanden. Es gibt auch neue Verkabelungssysteme, wie UTP (Unshielded Twisted Pair), STP (Shielded Twisted Pair) und POF (Polymere optische Faser) welche für Ethernet geeignet sind. Zudem ist auch die elektrische Stromverteilung im Haus interessant und dafür eine Vielzahl von nicht kompatiblen Powerline-Systemen entwickelt worden:

- HomePNA Home Phoneline Networking Alliance (Chip-Hersteller: für Version 3 nur Copper Gate).
- HomePlug-Powerline. Die Adapter gibt es in den Geschwindigkeitsvarianten 28 MBit/s, 85 MBit/s und 200 MBit/s. (Chip-Hersteller: Intellon).
- UPA Universal Powerline Association, zweistufiges Konzept mit Powerline-Übertragung im Zugangsnetz und in der Hausverteilung (Chip-Hersteller DS2).
- HD-PLC (Panasonic)
- EttH Ethernet-over-Coax (Teleste, Sternnetze: EoC-S, passiv; Baumnetze: EoC-C, auf Powerline Technologie basierend), 100 Mbps.

Universellere Wege geht die ITU mit dem Ansatz, Strom-, Telefon- und Koaxialkabel zur Übertragung zu benutzen, und spezifiziert dafür die Rec. G.9960 (G.hn, HomeGrid). Einen Anderen Ansatz wählt das IEEE mit P1901: Konzentration auf Powerline Kompatibilität mit HomePlug AV, Panasonic HD-PLC und G.hn.

2.12 Evolution, Migration und Next Generation Network

Für einen Netzbetreiber gilt es zu überlegen, in welcher Phase er ein Netz betreibt. Daraus ergeben sich ganz verschiedene Strategien für seine Zukunft. Grundsätzlich bestehen heute folgende Situationen:

- *Brownfield* (bestehendes über längere Zeit betriebenes Netz). Brownfield-Netze haben eine bestehende Kundschaft und mehr oder weniger gesicherte Einnahmen. Im Fall eines Parallelaufbaus einer Netzinfrastruktur durch einen anderen Netzbetreiber ist mit einer Abwanderung von Kunden zu rechnen. Es besteht ein Verdrängungswettbewerb.

Normaler Betrieb: Das Netz erfüllt die Anforderungen bezüglich Betriebskosten, Zuverlässigkeit und Innovationsverträglichkeit.

Evolution: Der Netzbetreiber will sich auf bestimmte Veränderungen im Netz vorbereiten ohne dass der Teilnehmer schon wesentlich von Veränderungen tangiert wird.

Migration zum Next Generation Network: Der Netzbetreiber geht Veränderungen im Netz aktiv an und stellt sicher, dass er die Kunden verträglich migrieren kann. Optimal ist, wenn im Netz ein Parallelbetrieb der alten und der neuen Infrastruktur möglich ist. Dann kann verhindert werden, dass für den Kunden Migrationszwänge entstehen, welche zum Verlust des Kunden führen könnten.

- *Greenfield* (Neubaunetz als Next Generation Network in unberührtem Gebiet oder als Parallelinfrastruktur zu Brownfield-Betreiber): Greenfield-Netze haben zu Beginn keine Kunden aber Investitionen. Das erfordert ein Gleichgewicht zwischen Kundenwachstum und Netzinvestitionen. Das Wachstum ist damit nicht beliebig zu beschleunigen, es sei denn, man verfüge über ausreichende Reserven.

Beispiele für Migrationen:

- Analoges Fernsehen zu DVB-T (bereits erfolgte Migration).
- Satelliten-Fernsehen zu DVB-S und DVB-S2 (Migration im Gang).
- Zwei-Draht-Netz von POTS zu ISDN und xDSL (Migration im Gang, es zeigt sich aber, dass Telco-Netzbetreiber jetzt den Aufbau paralleler Glasfaserinfrastrukturen vorziehen). Zwei-Draht-Netze leisten die erforderlichen hohen Bitraten für IP und IPTV über grössere Distanzen kaum mehr und geraten deshalb unter Druck. Deshalb ist in ausgewählten Gebieten mit dem Bau von Glasfasernetzen begonnen worden.
- Hybrid-Fiber-Coax-Netze zu FttH (teils Abwarten, teils Umbau auf Fiber Deep, teils Aufbau paralleler LWL-Infrastrukturen). Das HFC-Netz kann heute über grosse Distanzen sehr hohe Bitraten zum Teilnehmer bringen. Es wird sich zeigen, ob die Betriebskosten auf die Dauer verträglich bleiben.

Damit ist auch die Frage gestellt, wie denn ein Next Generation Network (NGN) aussehen soll. Folgende Annahmen resp. Feststellungen sind plausibel und helfen in der Entscheidungsfindung weiter:

- Mit der Zeit wird die digitale IP-Übertragung zur einzigen und universellen Transporttechnologie im Zugangsnetz. Die digitale Verarbeitung und Übertragung hat grosses Kostensparpotential.
- Die mit dem Internet bereits übliche Interaktivität wird sich auch im Fernsehen wieder finden.
- Der Neubau von Glasfasernetzen ist bald billiger als jener von Kupfernetzen und vor allem zukunftssicherer (Investition und Betrieb). Telco-Betreiber und öffentliche Werke bauen heute Glasfasernetze in grossem Stil.
- Zweidrahtnetze haben sich als zu langsam erwiesen.
- HFC-Netze sind ein Auslaufmodell, denn die analogen Programme werden gelegentlich verschwinden. Längerfristig wird es sich nicht lohnen, digitale Programme mit einem analogen Netze zu verteilen.

Aufgrund dieser Annahmen ist erkennbar, dass das NGN erstens auf Glasfaser basiert und zweitens IP-Pakete transportiert. Diese Erkenntnis ist zwar sehr allgemein und noch immer unscharf, denn es sind viele Varianten möglich. Deshalb wird die Entscheidungsfindung durch die weiteren Erkenntnisse bei Betriebs- und Investitionskosten geschehen.

Wenn nun aber ein neues Glasfasernetz zu bauen ist, stellen sich vier zentrale Fragen, von denen alles Weitere abhängt:

- Point-to-Point-Topologie (P2P, Bulk Fibre, Sternnetz), passives optisches Verteilnetz (PON) oder aktives optisches Verteilnetz (AON)?
- Zusätzliche Dienste über zusätzliche Wellenlänge (z.B. Overlay-Netz für Analog-TV)?
- Wird eine minimale Anzahl Feldstandorte angestrebt (Geringhalten der Unterhaltskosten)?
- Wie sichert man die Akzeptanz und damit die Machbarkeit der Hausverteilnetze?

Fixed-Mobile Convergence

Fixed-Mobile Convergence (FMC) hat zum Ziel alle Dienste unabhängig vom Zugangsnetztyp zur Verfügung zu stellen können. Dazu gehören der Zugang, die Provisionierung und das Roaming zwischen den verschiedenen Zugangsnetzen. Das ITU und das ETSI beschäftigen sich damit.

2.13 Besonderheiten beim Netzbau innerhalb von Häusern

Während der Netzbetreiber im Zugangsnetz, welches ausserhalb der Häuser liegt, bezüglich Veränderungen relativ frei arbeiten kann, unterliegen Bau und Änderungen im Haus und in der Wohnung grossen Einschränkungen (Zugang und empfindliche Arbeitsumgebung). Jeder Besuch und die vorgesehenen Änderungen am

Hausverteilnetz müssen mit dem Hausbesitzer und dem Mieter abgesprochen werden. Dabei ist es für den Netzbetreiber schwierig seinen Zeitplan kurzfristig und autonom umzusetzen. Ausserdem stellt sich in Mehrfamilienhäusern die Frage, ob das ganze Haus oder nur die Wohnung, für welche ein Interesse besteht, umgebaut wird. Hier taucht die Frage auf, ob eine bereits existierende Infrastruktur mitverwendet werden kann (Rohre, Kabel, Drähte etc.). Wenn solche Möglichkeiten bestehen, kommt auch eine hybride Architektur in Frage, also ein Übergang auf eine andere Technologie im Haus als im Zugangsnetz. Beispiele:

- FttB und Übergang im Haus auf VDSL und Benützung der Zweidrahtleitung zur Wohnung.
- FttxB kombiniert mit Ethernet over Coax.

Literatur

Alloptic (2009) OBI in RFoG Networks, internes Papier

Lowe J (2010) Tuning DOCSIS and DTV for RFoG. Clearcable-Paper SCTE Canadian Summit

Motorola (2010) Amplitude Modulation: RFoG's Multi-Lane Highway, a Comparison of return Techniques for RF over Glass. Motorola Whitepaper

ReDeSign Extending Lifetime of HFC Networks (2010) Verschiedene Dokumente <http://www.ict-redesign.eu/index.php?id=27>

Roberts H (2009) SCTE CableTec EXPO Kongresspapier, Denver, The Advantages of an "Intelligent" Micronode

Breitbandkabel und Zugangsnetze
Technische Grundlagen und Standards

Keller, A.

2011, XV, 486 S. 75 Abb., Hardcover

ISBN: 978-3-642-17630-2