

# NGA-Forum

AG Interoperabilität  
Grundsatzdokument

Technische und operationelle Aspekte des  
Zugangs zu Glasfasernetzen und anderen  
NGA-Netzen



## Vorwort

Ausgehend von der Breitbandstrategie der Bundesregierung hat die Bundesnetzagentur nach einem öffentlichen Diskussionsprozess im März 2010 „Eckpunkte über die regulatorischen Rahmenbedingungen für die Weiterentwicklung moderner Telekommunikationsnetze und die Schaffung einer leistungsfähigen Breitbandinfrastruktur“ veröffentlicht und in Folge das NGA-Forum initiiert, welches einen erfolgreichen Ausbau der Breitbandnetze unterstützen und den Dialog zwischen Regulierer, Netzbetreibern, Herstellern, Ländern und Kommunen fördern soll.

Das NGA-Forum wirkt als Beratungsgremium, das nach Möglichkeit den Konsens in der Branche vorantreiben soll. Es kann jedoch keine Entscheidungen treffen; diese sind den formalen Verfahren des TKG vorbehalten.

Die Aufgabe des NGA Forums ist die Erarbeitung von Lösungsansätzen für die Verbesserung der Breitbandversorgung vor und umfasst neben den Themenbereichen „Open Access“, „Kooperationen und Co-Investment“, „Gemeinsame Nutzung von Infrastruktur“ insbesondere auch die Klärung von „technischen und operationalen Aspekten des Zugangs zu Glasfasernetzen und anderen NGA-Netzen“. Für letztere wurde die dedizierte Arbeitsgruppe „Interoperabilität“ gebildet. Sie setzt sich aus Vertretern von Netzbetreibern, Diensteanbietern, Verbänden, Beratern und der Bundesnetzagentur zusammen.

In den Analysen des NGA Forums haben sich die zeitintensiven Einigungen auf Bitstrom-Vorleistungen sowie aufwändige IT-technische Abstimmungen als wesentliche Hindernisse für Kooperationen herauskristallisiert. Die Beschreibung von konsensfähigen Vorleistungsprodukten und die Definition technischer und operationeller Schnittstellen wurden daher als wesentliche Themen der Arbeitsgruppe „Interoperabilität“ aufgenommen.

Die Ergebnisse der Arbeitsgruppe „Interoperabilität“ werden in Form von zwei Dokumenten dargestellt:

1. Grundsatzdokument: Technische und operationelle Aspekte des Zugangs zu Glasfasernetzen und anderen NGA-Netzen

Das vorliegende Grundsatzdokument kann als Kompendium gesehen werden, das die wesentlichen Aspekte aus dem NGA-Kontext zusammenfasst.

Im technischen Bereich beschreibt es neben den grundsätzlichen Zusammenhängen von Netzsegmenten, möglichen Netzzugängen und Vorleistungsprodukten die technischen Möglichkeiten des Ausbaus von NGA-Strukturen. Mit der Darstellung der Möglichkeiten ist jedoch nicht die Erwartung verknüpft, dass alle Vorleistungsprodukte von jedem Netzbetreiber angeboten werden müssen. Architekturen und Technologien werden neutral dargestellt und verglichen, absehbare mittelfristige Entwicklungen werden ebenfalls betrachtet. Wie im NGA-Forum beschlossen<sup>1</sup> werden im Hinblick auf zeitnah umsetzbare Interoperation die passive Infrastruktur

---

<sup>1</sup> vgl. [3]

(Leerrohre und Dark Fiber) sowie ein Ebene-2 Bitstromprodukt (Ethernet-BSA) als Vorleistungsprodukte ausführlich beschrieben.

Die Diskussion der Geschäftsprozesse hat sich von Beginn an auf eine Erarbeitung standardisierter Prozessabläufe am Beispiel eines aktiven Ebene-2-Produkts konzentriert. Das Grundsatzdokument spannt den Bogen über die zur Standardisierung empfohlenen Prozessthemen und zeigt am Beispiel der zentralen Prozesse Form und Tiefe einer möglichen Absprache auf. Die hier bereits erzielten Ergebnisse gehen dabei unmittelbar in das zweite Zieldokument, die Leistungsbeschreibung eines Ebene-2-Zugangsprodukts, ein.

## 2. Leistungsbeschreibung eines Ebene 2-Zugangsprodukts

Das noch fertig zu stellende zweite Ergebnisdokument greift die Rahmenspezifikation des Grundsatzdokuments für ein Ebene 2-Zugangsprodukt - L2 Ethernet-Bitstrom - auf. Es definiert im Detail die technischen und operationellen Schnittstellen, zunächst neutral in Bezug auf Zugangsnetz-Architekturen und -Technologien, sowie die zur Interoperation erforderlichen wesentlichen Geschäftsprozesse und die Anforderungen an die hierfür notwendigen technischen Schnittstellen. Weiterhin werden anhand einer konkreten Zugangsnetzkonfiguration beispielhaft alle relevanten Schnittstellenparameter definiert. Die Leistungsbeschreibung kann als Empfehlung für Ebene 2-Interoperationen gesehen werden.

Bei der Ausarbeitung des vorliegenden NGA Grundsatzdokuments wurden NGA-relevante Beschreibungen, Empfehlungen und Standards zahlreicher Organisationen und Arbeitsgruppen berücksichtigt und teilweise übernommen bzw. erweitert. Insbesondere sind hier Ergebnisse des IT-Gipfel, des Broadband-Forum, des VDE, der BE-REC (GEREK), der ITU und der ETSI zu nennen.

Das Grundsatzdokument ist in drei Hauptbereiche gegliedert: in allgemeine NGA-Themen, den Themenbereich Technik sowie den Themenbereich Geschäftsprozesse.

Unter den allgemeinen Themen werden zunächst die zahlreichen möglichen Zugangnetzvarianten auf ein abstraktes Netzmodell reduziert, das eine klare Abgrenzung des Arbeitsumfangs und der Begriffsdefinitionen ermöglicht. Weiterhin schlägt es fünf Netzebenen vor, denen sich alle relevanten Zugangsprodukte entsprechend ihrer technischen Anforderungen zuordnen lassen. Ebenso werden hier die Kooperations-Übergabepunkte im Gesamtnetzkontext eingeordnet, wobei die unterschiedliche Situation für regionale und überregionale Betreiber berücksichtigt wird. Schließlich wird unter den allgemeinen Themen dargestellt, welche Kooperationsschnittstellen neben der eigentlichen Zugangsschnittstelle für die betriebliche und organisatorische Koordination erforderlich sind.

Im Themenbereich Technik werden aus den Anforderungen der Vorleistungsprodukte und den Möglichkeiten der verfügbaren Netztechnologien Beschreibungen und Empfehlungen für Interoperationsschnittstellen abgeleitet. Hierzu werden zunächst alle relevanten Vorleistungsprodukte sowie die möglichen Zugangsnetz-Architekturen und -Technologien erfasst, letztere werden bezüglich ihrer charakteristischen Eigenschaften verglichen. In einem zweiten Schritt werden die Vorleistungsprodukte nach ihrer Relevanz für zeitnahe Interoperation bewertet. Die als besonders bedeutend identifizierten Produkte werden im Detail beschrieben, und schließlich werden für diese Rahmen-Schnittstellenspezifikationen vorgeschlagen.

Im Themenbereich Geschäftsprozesse werden die beteiligten Marktteilnehmer der Kooperation sowie deren Rollen identifiziert und hieraus die abstimmungsbedürftigen Schnittstellen abgeleitet. In einem weiteren Schritt werden die zu betrachtenden Vorgänge aus Endkundensicht bestimmt. Diese schließen u.a. Bereitstellung, Beendigung, Entstörung und Anbieterwechsel ein. Unter der Prämisse eines Zugangs auf Ebene 2 (Ethernet) werden die idealtypischen Abläufe der grundlegenden Prozesse erarbeitet und neben der Darstellung der Abläufe in Flow-Charts die notwendigen Abstimmungen an der Schnittstelle zwischen Endkunden-Provider und NGA-Betreiber im Detail ausgeführt. Zusätzlich werden für die Entstörung die Anforderungen an eine Diagnose-schnittstelle formuliert.

Abschließend werden Empfehlungen für das weitere Vorgehen gegeben.

## Teilnehmer der Arbeitsgruppe

|  |   |
|--|---|
| Ahmad Ahmad (M-net)                        | Ralf Monius (Vodafone)                  |
| Markus Bick (Keymile)                      | André Müller (Bundesnetzagentur)        |
| Jonas Da Coll (M-net)                      | Steffen Müller (Telefónica)             |
| Norbert Erl (M-net)                        | Wolf Osthaus (1&1 Internet) **)         |
| Walter Fresen (Telekom Deutschland)        | Uwe Pietschmann (Netcologne)            |
| Michael Freudenblum (M-net)                | Thomas Plückebaum (WIK Consult)         |
| Marco Gärtner (EWE TEL)                    | Michael Preiß (Ewa-Netze)               |
| Andreas Gehe (Alcatel-Lucent)              | Alexander Renz<br>(Telekom Deutschland) |
| Frank Geilhardt (Telekom Deutschland)      | André Rochlitzer (1&1 Internet)         |
| Nikolaus Gieschen<br>(Telekom Deutschland) | Michael Salzmann (1&1 Internet)         |
| Matthias Hain (Colt)                       | Udo Schaefer (Alcatel-Lucent)           |
| Thomas Hartmann (Telefónica)               | Horst Schmitz (Netcologne)              |
| Walter Kailbach (Alcatel-Lucent) *)        | Robert Schönau (1&1 Internet)           |
| Oliver Kettig (Vodafone)                   | Peter Stumpf (HEAG MediaNet)            |
| Matthias Kluth (Helinet)                   | Volker Sypli (Bundesnetzagentur)        |
| Alexander Leenen (Netcologne)              | Timo Steinhauer (1&1 Internet)          |
| Ralph Leppla (Telekom Deutschland)         | Matthias Wieners (Bundesnetzagentur)    |
| Predrag Markovic (M-net)                   | Klaus Winkler (1&1 Internet)            |
| Georg Merdian (Kabel Deutschland)          | Jochen Witt (Netcologne)                |
| Stefan Mohr (QSC)                          |   |

---

\*) Leiter der Themengruppe „Allgemeine Themen und Technik“

\*\*) Leiter der Themengruppe „Geschäftsprozesse“

## Inhaltsverzeichnis

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| Vorwort .....                      | 3  |
| Teilnehmer der Arbeitsgruppe ..... | 6  |
| Inhaltsverzeichnis .....           | 7  |
| Abbildungsverzeichnis .....        | 12   |
| Tabellenverzeichnis .....          | 14   |
| <br>                               |  |
| <b>1</b>                           | <b>Allgemeine NGA Themen ..... 15</b>                            |
| <b>1.1</b>                         | <b>NGA Abgrenzung, Schnittstellen und Begriffe ..... 15</b>      |
| 1.1.1                              | NGA-Ebenen ..... 15  |
| 1.1.1.1                            | Ebene 0 ..... 16   |
| 1.1.1.2                            | Ebene 1 ..... 17   |
| 1.1.1.3                            | Ebene 2 ..... 18   |
| 1.1.1.4                            | Ebene 3 ..... 18   |
| 1.1.1.5                            | Ebene 4 ..... 18   |
| 1.1.2                              | Netzebenen, Produkte und Netztechnologien..... 19                |
| 1.1.3                              | Abstraktes Modell und Topologie realer Netze ..... 19            |
| 1.1.3.1                            | Access-Technologien im abstrakten Netzmodell ..... 20            |
| 1.1.3.1.1                          | Wechselwirkung zwischen Zugangs- und Konzentrationsnetz ..... 21 |
| 1.1.3.2                            | Punkt-zu-Mehrpunkt-Topologien im Zugangsnetz ..... 23            |
| <b>1.2</b>                         | <b>Unterarten der Interoperationsschnittstellen ..... 24</b>     |
| 1.2.1                              | Transportschnittstelle ..... 25                                  |
| 1.2.2                              | Orderschnittstelle ..... 25                                      |
| 1.2.3                              | Diagnoseschnittstelle ..... 26                                   |
| <br>                               |  |
| <b>2</b>                           | <b>Themenbereich Technik ..... 27</b>                            |
| <b>2.1</b>                         | <b>Vorgehensweise..... 27</b>                                    |
| <b>2.2</b>                         | <b>Produkte ..... 28</b>   |

|               |  |           |
|---------------|--|-----------|
| 2.2.1         | Generelle Betrachtungen zu Produktbeschreibung und Schnittstellendefinition .....      | 28        |
| 2.2.2         | Übersicht NGA Produkte .....   | 29        |
| 2.2.2.1       | Produkte der Ebene 0: Leerrohre/Transportmedien Passive Infrastruktur .....            | 29        |
| 2.2.2.2       | Produkte der Ebene 1: Kanäle dedizierter Datenrate .....                               | 30        |
| 2.2.2.3       | Produkte der Ebene 2: L2-Übertragung .....   | 30        |
| 2.2.2.4       | Produkte der Ebene 3: L3-Übertragung .....   | 31        |
| 2.2.2.5       | Produkte der Ebene 4: Applikationen .....  | 31        |
| 2.2.2.5.1     | Over-the-Top-Dienste .....   | 31        |
| <b>2.3</b>    | <b>Überblick Zugangstechnologien .....</b>   | <b>32</b> |
| 2.3.1         | Festnetze .....  | 32        |
| 2.3.1.1       | Festnetz-Architekturen .....   | 33        |
| 2.3.1.1.1     | Fiber-to-the-Home (FTTH) .....   | 33        |
| 2.3.1.1.2     | Fiber-to-the-Building (FTTB) .....   | 34        |
| 2.3.1.1.3     | Fiber-to-the-curb (FTTC) .....   | 35        |
| 2.3.1.1.4     | Radio-to-the-curb (RTTC) .....   | 36        |
| 2.3.1.1.5     | Koaxial-Breitbandkabel (COAX) .....  | 37        |
| 2.3.1.1.5.1   | Hybrid-Fiber-Coax-Architektur (HFC) .....  | 38        |
| 2.3.1.1.6     | Ausblick – Open Lambda Initiative .....  | 39        |
| 2.3.1.2       | Festnetz-Technologien .....  | 42        |
| 2.3.1.2.1     | Kupferanschlussbasierte Technologien .....   | 42        |
| 2.3.1.2.1.1   | ADSL .....   | 44        |
| 2.3.1.2.1.2   | VDSL .....   | 45        |
| 2.3.1.2.2     | Koaxialkabelbasierte Technologien .....  | 45        |
| 2.3.1.2.2.1   | DOCSIS .....   | 46        |
| 2.3.1.2.3     | Glasfaserbasierte Technologien .....   | 47        |
| 2.3.1.2.3.1   | Wellenlängenmultiplex (C-WDM, D-WDM) .....   | 47        |
| 2.3.1.2.3.2   | RF-Overlay .....   | 49        |
| 2.3.1.2.3.3   | Active Ethernet .....  | 49        |
| 2.3.1.2.3.4   | PON-Plattformen .....  | 50        |
| 2.3.1.2.3.4.1 | TDM-PON: GPON, EPON und RFoG .....   | 52        |
| 2.3.1.2.3.4.2 | WDM-PON .....  | 55        |
| 2.3.1.2.3.5   | Weitere PON-Entwicklungen .....  | 57        |
| 2.3.2         | Funkbasierte Technologien .....  | 57        |
| 2.3.2.1       | Breitbandfunktechnologien .....  | 57        |
| 2.3.2.1.1     | WLAN .....   | 60        |
| 2.3.2.1.2     | EDGE .....   | 60        |
| 2.3.2.1.3     | HSPA .....   | 60        |
| 2.3.2.1.4     | LTE .....  | 61        |
| 2.3.2.2       | Satellitenanbindung .....  | 63        |
| 2.3.2.3       | Richtfunk .....  | 63        |
| 2.3.3         | Charakteristische Merkmale und Vergleich der Zugangstechnologien .....                 | 65        |
| 2.3.3.1       | Annahmen für ein „mittelfristig durchschnittliches“ Nutzerprofil .....                 | 65        |
| 2.3.3.2       | Metriken zum Vergleich der Netztechnologien .....                                      | 66        |
| 2.3.3.3       | Vergleichsübersicht .....  | 68        |
| <b>2.4</b>    | <b>Bewertung der möglichen Vorleistungsprodukte bezüglich NGA-Interoperation .....</b> | <b>70</b> |



|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>2.5</b> | <b>Beschreibung der besonders bedeutenden Vorleistungsprodukte.....</b> | <b>71</b> |
| 2.5.1      | Ebene 0-Vorleistungsprodukte .....                                      | 71        |
| 2.5.1.1    | Vorleistungsprodukt Leerrohre .....                                     | 71        |
| 2.5.1.1.1  | Leerrohre im Haupt- und Verteilkabel-Bereich .....                      | 71        |
| 2.5.1.1.2  | Mikro-Rohre im Anschlussbereich .....                                   | 73        |
| 2.5.1.2    | Vorleistungsprodukt Dark Fiber.....                                     | 73        |
| 2.5.1.2.1  | Dark Fiber als FTTC.....  | 74        |
| 2.5.1.2.2  | Dark Fiber als FTTB/FTTH.....   | 74        |
| 2.5.1.2.3  | Vorleistungsprodukt „Reines WDM-PON“ .....                              | 75        |
| 2.5.2      | Vorleistungsprodukt Ethernet-Bitstrom .....                             | 76        |
| <b>2.6</b> | <b>Beschreibung weniger bedeutender Vorleistungsprodukte.....</b>       | <b>77</b> |
| 2.6.1      | Kurzbeschreibung der Ebene 1-Produkte .....                             | 77        |
| 2.6.1.1    | Festverbindungen für Geschäftskunden .....                              | 77        |
| 2.6.1.1.1  | PDH-Verbindungen .....  | 78        |
| 2.6.1.1.2  | SDH-Verbindungen .....  | 78        |
| 2.6.1.1.3  | OTH –Verbindungen .....   | 79        |
| 2.6.1.1.4  | Ethernet (Punkt-zu-Punkt).....  | 79        |
| 2.6.1.1.5  | Fiber Channel.....  | 80        |
| 2.6.1.1.6  | Escon .....   | 80        |
| 2.6.1.2    | Funkfrequenz- und Optische Kanäle.....                                  | 81        |
| 2.6.1.2.1  | Funkfrequenzkanäle.....   | 81        |
| 2.6.1.2.2  | Optische Kanäle .....   | 81        |
| 2.6.2      | Kurzbeschreibung des Ebene 3-Produkts IP Bitstrom .....                 | 82        |
| <b>2.7</b> | <b>NGA-Schnittstellen und Spezifikationen .....</b>                     | <b>83</b> |
| 2.7.1      | Spezifikation von Ebene 0-Vorleistungsprodukten.....                    | 83        |
| 2.7.1.1    | Spezifikationen für Leerrohre .....                                     | 83        |
| 2.7.1.2    | Spezifikationen für Dark Fiber .....                                    | 83        |
| 2.7.2      | Schnittstellen für Ethernet-Bitstrom (Layer-2-Bitstrom).....            | 83        |
| 2.7.2.1    | Zentrale Übergabe-Schnittstelle (A10-NSP) .....                         | 84        |
| 2.7.2.1.1  | Transportleistung des Anbieters .....                                   | 84        |
| 2.7.2.1.2  | U-Schnittstelle und Access.....   | 85        |
| 2.7.2.1.3  | Quality of Service (Dienstgüte) .....                                   | 86        |
| <b>3</b>   | <b>Themenbereich Geschäftsprozesse .....</b>                            | <b>87</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Ausgangslage und Zielsetzung .....</b>                               | <b>87</b> |
| 3.1.1      | Ausgangslage .....  | 87        |
| 3.1.2      | Zielsetzung.....  | 88        |
| <b>3.2</b> | <b>Vorgehensweise.....</b>  | <b>89</b> |

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| 3.2.1      | Die Beteiligten und ihre Rollen .....   | 89         |
| 3.2.2      | Übersicht der zu betrachtenden Vorgänge .....   | 91         |
| 3.2.3      | Der Einfluss der konkreten Produkte auf die Prozessgestaltung /<br>Priorisierung der zu betrachtenden Produkte..... | 92         |
| 3.2.4      | Übersicht potentieller Elemente von Absprachen / Standardisierungen ...   | 93         |
| 3.2.5      | Vorgehensweise und Darstellungsformen .....   | 93         |
| <b>3.3</b> | <b>Bereitstellung „Neuanschluss“ (Anschaltung / Aktivierung) .....</b>  | <b>94</b>  |
| 3.3.1      | Ablaufplan für Grundprozess und wesentliche Ausnahmeprozesse .....  | 94         |
| 3.3.2      | Detaildarstellung der Prozessschritte an der Schnittstelle EKP / NGAB....   | 96         |
| 3.3.2.1    | Verfügbarkeitsabfrage .....   | 96         |
| 3.3.2.2    | Auftragserteilung .....   | 97         |
| 3.3.2.3    | Terminverschiebung (Ausnahmeprozess) .....  | 98         |
| 3.3.2.4    | Durchführung Anschaltung / Aktivierung und Erledigtmeldung .....  | 99         |
| <b>3.4</b> | <b>Beendigung (Kündigung ohne Anschlusswechsel) .....</b>   | <b>100</b> |
| 3.4.1      | Ablaufplan für Grundprozess .....   | 100        |
| 3.4.2      | Detaildarstellung der Prozessschritte an der Schnittstelle EKP / NGAB..   | 100        |
| 3.4.2.1    | Auftragserteilung (Kündigung) .....   | 100        |
| 3.4.2.2    | Terminverschiebung / Abbruch / Storno.....  | 102        |
| 3.4.2.3    | Durchführung Deaktivierung und Erledigtmeldung .....  | 102        |
| <b>3.5</b> | <b>Entstörung.....</b>  | <b>102</b> |
| 3.5.1      | Vorüberlegungen zur Sicherung von Schnelligkeit und Effizienz der<br>Entstörung .....                               | 102        |
| 3.5.1.1    | Proaktive Meldung von Flächenstörungen .....  | 102        |
| 3.5.1.2    | Prüfung und Diagnose der Leitung .....  | 103        |
| 3.5.2      | Ablaufplan für Grundprozess und wesentliche Ausnahmeprozesse .....  | 103        |
| 3.5.3      | Detaildarstellung der Prozessschritte an der Schnittstelle EKP / NGAB..   | 105        |
| 3.5.3.1    | Störungsmeldung / Auftragserteilung .....   | 105        |
| 3.5.3.2    | Terminverschiebung (Ausnahmeprozess) .....  | 107        |
| 3.5.3.3    | Erledigtmeldung nach erfolgter Entstörung .....   | 107        |
| <b>3.6</b> | <b>Anbieterwechsel .....</b>  | <b>108</b> |
| 3.6.1      | Definition (Endkunden-)Anbieterwechsel .....  | 108        |
| 3.6.2      | Abgrenzung der Wechselprozesse zu verwandten Prozessen .....  | 109        |
| 3.6.3      | Anzahl der Beteiligten und daraus resultierender Koordinationsbedarf ...  | 109        |
| 3.6.4      | Zielsetzung und Grundsätze für den Anbieterwechsel.....   | 110        |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| 3.6.5      | Wesentliche Grundprinzipien .....  | 111        |
| 3.6.5.1    | Trennung Vorabstimmung und technische Durchführung.....  | 112        |
| 3.6.5.2    | Prozesssteuerung durch den EKP <sub>auf</sub> .....  | 112        |
| 3.6.5.3    | „Sicherer Hafen“ .....   | 112        |
| 3.6.6      | Weiteres Vorgehen .....  | 112        |
| <b>3.7</b> | <b>Anforderungen für technische Schnittstellen für die<br/>Prozessdurchführung.....</b>          | <b>113</b> |
| 3.7.1      | Orderschnittstelle .....   | 113        |
| 3.7.2      | Diagnoseschnittstelle .....  | 113        |
| 3.7.2.1    | Zielsetzung aus Sicht der EKP.....   | 113        |
| 3.7.2.2    | Grundsätzliches aus Sicht der NGA-Betreiber (NGAB) .....   | 114        |
| 3.7.2.3    | Fehlerbilder und Fehlerursachen .....  | 114        |
| 3.7.2.4    | Anforderungen an die Diagnoseschnittstelle.....  | 115        |
| <b>4</b>   | <b>Weiteres Vorgehen und Ausblick.....</b>   | <b>117</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Allgemeine Themen und Bereich Technik.....</b>  | <b>117</b> |
| <b>4.2</b> | <b>Bereich Geschäftsprozesse.....</b>  | <b>118</b> |
|            | Referenzen .....   | 119        |
|            | Verzeichnis der Abkürzungen und Kurzschreibweisen.....   | 121        |
|            | Begriffsdefinitionen .....   | 127        |
| <b>5</b>   | <b>Anhang .....</b>  | <b>128</b> |
| <b>5.1</b> | <b>Gegenüberstellung NGA-Ebenenmodell - OSI-Referenzmodell -<br/>TCP/IP-Referenzmodell .....</b> | <b>128</b> |
| <b>5.2</b> | <b>Technologie-Vergleichstabelle mit Zahlenwerten .....</b>                                      | <b>131</b> |

## Abbildungsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 1: NGA Abgrenzung – Netzbereiche, Diensteebenen, Schnittstellen und Fokus der Betrachtung .....                  | 15 |
| Abbildung 2: Nutzung der Ebenen am Beispiel IP-VPN .....   | 19 |
| Abbildung 3: Beispiele für NGA-Zugangspunkte der höheren Ebenen im Gesamtnetz .....  | 21 |
| Abbildung 4: Beispiele von Netzszenarien im Zugangs-/Konzentrationsnetz .....  | 23 |
| Abbildung 5: Strukturierung der Zugangsnetz-Topologie .....  | 24 |
| Abbildung 6: Schematische Darstellung der Interoperationsschnittstellen am Beispiel L2-Ethernet-Bitstrom .....             | 25 |
| Abbildung 7: Schema der Vorgehensweise.....  | 28 |
| Abbildung 8: Unterschiedliche Definition von Kunden- und Diensteanbieter-Schnittstelle am Beispiel des IP-VPN.....         | 29 |
| Abbildung 9: FTTH-Architekturen .....  | 33 |
| Abbildung 10: FTTB-Architekturen .....   | 34 |
| Abbildung 11: FTTC-Architektur .....   | 35 |
| Abbildung 12: RTTC-Architektur.....  | 36 |
| Abbildung 13: COAX-Architektur .....   | 37 |
| Abbildung 14: HFC-Architektur.....   | 38 |
| Abbildung 15: Wellenlängenorganisation in einem offenen Optischen Netz .....   | 40 |
| Abbildung 16: OLI-Beispiel – „Converged Metro-Access“ in einer Ring-Topologie .....  | 41 |
| Abbildung 17: Anschlussnetz .....  | 42 |
| Abbildung 18: Abhängigkeit Bandbreite/Reichweite bei DSL .....   | 44 |
| Abbildung 19: VDSL-Architektur.....  | 45 |
| Abbildung 20: WDM für Direktanbindungen .....  | 49 |
| Abbildung 21: Active Ethernet .....  | 50 |
| Abbildung 22: Referenzarchitektur TDM-WDM PON .....  | 51 |
| Abbildung 23: Stand und Entwicklung der PON-Standardisierung.....  | 52 |
| Abbildung 24: Wellenlängenplan für TDM-PONs .....  | 53 |
| Abbildung 25: Zusammenhang zwischen Reichweite, Aufteilungsfaktor und Datenrate bei einem GPON .....                       | 54 |
| Abbildung 26: WDM-PON Varianten .....  | 56 |
| Abbildung 27: Bandbreiten-Entwicklung bei Festnetz- und Funktechnologien .....   | 59 |
| Abbildung 28: Erwarteter Datendurchsatz je Nutzer in Abhängigkeit von der Zahl der aktiven Nutzer in realen Systemen ..... | 62 |
| Abbildung 29: Leerrohre mit installierten „Sub-Ducts“ (Unter-Leerrohren) .....   | 72 |
| Abbildung 30: Mehrfachnutzung von vorhandenen Unter-Leerrohren mit Mikro-Rohren .....                                      | 72 |
| Abbildung 31: Verteilpunkt und Hausübergabepunkt .....   | 75 |
| Abbildung 32: Reines WDM-PON .....   | 76 |

|   |     |
|---|-----|
| Abbildung 33: L2-BSA-Wholesale-Architektur (beispielhaft für kundenseitigen Triple Play Anschluss)..... | 76  |
| Abbildung 34: Erforderliche Funktionen zur Realisierung eines L2-Vorleistungsprodukts .....             | 77  |
| Abbildung 35: Schnittstellen für Ethernet-Bitstrom .....  | 84  |
| Abbildung 36: Beteiligte und Beziehungen .....  | 90  |
| Abbildung 37: Flussdiagramm idealtypischer Ablauf Bereitstellung „Neuanschluss“ ...                     | 94  |
| Abbildung 38: Ausnahmeprozess Bereitstellung „Neuanschluss“ – Terminverschiebung .....                  | 95  |
| Abbildung 39: Ausnahmeprozess Bereitstellung „Neuanschluss“ - Fehlschlag<br>Anschaltung.....            | 95  |
| Abbildung 40: Flussdiagramm Beendigung „Kündigung ohne Anschlusswechsel“ ....                           | 100 |
| Abbildung 41: Flussdiagramm Grundprozess Entstörung .....   | 104 |
| Abbildung 42: Ausnahmeprozess Entstörung - Terminverschiebung.....                                      | 104 |
| Abbildung 43: Ausnahmeprozess Entstörung - Fehlschlag.....  | 105 |
| Abbildung 44: Allgemeine Darstellung eines Schichtenmodells .....                                       | 129 |
| Abbildung 45: Gegenüberstellung der Ebenenmodelle .....   | 130 |

## Tabellenverzeichnis

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| Tabelle 1:  | xDSL-Übersicht .....  | 43  |
| Tabelle 2:  | DOCSIS-Übertragungsraten.....                                       | 46  |
| Tabelle 3:  | GPON und EPON - Vergleich des Physical Layers.....                  | 55  |
| Tabelle 4:  | Typische Konfigurationen für Richtfunkstrecken .....                | 64  |
| Tabelle 5:  | Metriken zum Vergleich der Netztechnologien .....                   | 67  |
| Tabelle 6:  | Charakteristische Merkmale und Bewertung der Netztechnologien ..... | 69  |
| Tabelle 7:  | Optimierung nach Bandbreite am Beispiel FTTB - VDSL/(10)GPON....    | 70  |
| Tabelle 8:  | Beispiele für die Grenzen der Rohrbelegung .....                    | 73  |
| Tabelle 9:  | Beispiel für Grenzen der Faserbelegung .....                        | 73  |
| Tabelle 10: | Zuordnung von Mikro-Rohren und Mikro-Kabel im Anschlussbereich ..   | 73  |
| Tabelle 11: | Wechselkonstellationen.....   | 110 |
| Tabelle 12: | Fehlerbilder.....   | 115 |
| Tabelle 13: | Technologie-Vergleichstabelle mit Zahlenwerten.....                 | 131 |

# 1 Allgemeine NGA Themen

## 1.1 NGA Abgrenzung, Schnittstellen und Begriffe

Abbildung 1 zeigt das Strukturmodell des NGA. In der Betrachtung umfasst NGA die Netzbereiche von Gebäude und Zugang sowie die Diensteebenen von der passiven Infrastruktur bis zu den Applikationen.

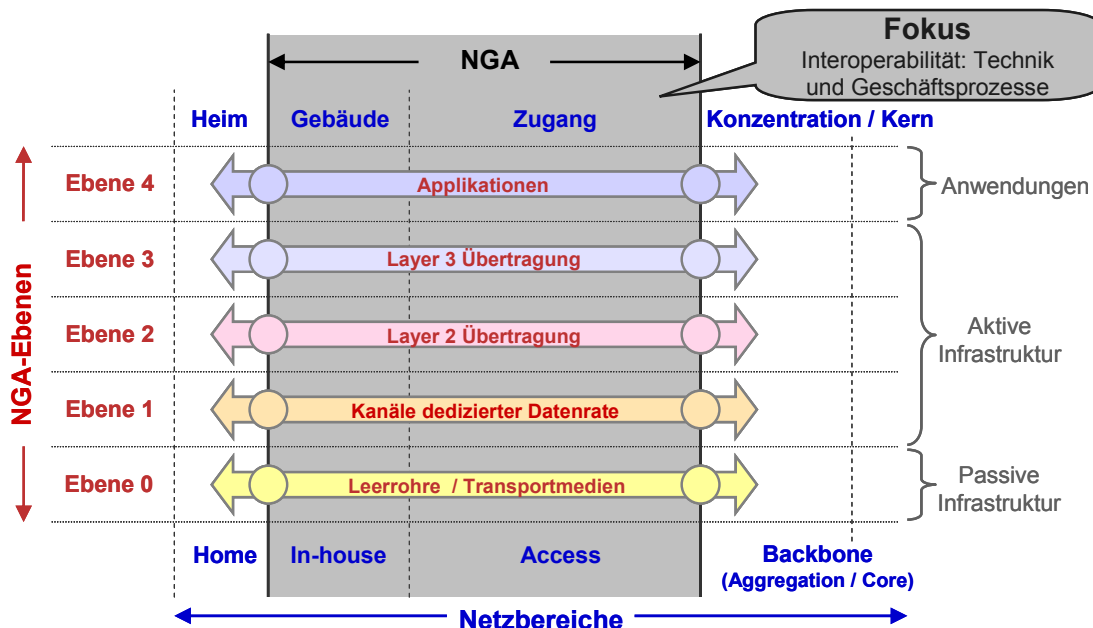


Abbildung 1: NGA Abgrenzung – Netzbereiche, Diensteebenen, Schnittstellen und Fokus der Betrachtung

### 1.1.1 NGA-Ebenen

Die Wahl und Bezeichnung der NGA-Ebenen ist eine Abstraktion der üblichen Schichtenmodelle, um alle NGA Interoperationsbereiche hinreichend genau, aber nicht unnötig komplex darzustellen. Die Dreiteilung auf der rechten Seite des Diagramms entspricht weitgehend der Sprachregelung in der bisherigen NGA- und Open-Access-Diskussion.

Die passive Infrastruktur ist die physikalische Infrastruktur (z.B. Inhouse-Verkabelung, Leerrohre, Übertragungsmedien, Glasfaserkabelbäume). Sie bildet die Verkabelungsbasis des Netzes, stellt physikalische Verbindungswege bereit. Dies schließt die Bereitstellung von Wellenlängenbändern und passive Auskopplung von Wellenlängen und optischer Bänder ein.

Innerhalb der aktiven Infrastruktur findet der Betrieb dieser physikalischen Übertragungswege statt. Dies beinhaltet die Schaltung von Verbindungen mit definierten Übertragungsbedingungen und den Betrieb von aktiven Netzelementen. Es werden optische und elektrische Kanäle inklusive Multiplex-Funktionen ermöglicht.

Die wesentliche Neuerung dieser NGA-Ebenendefinition besteht in der Unterteilung der „Aktiven Infrastruktur“ in drei weitere Ebenen, da sich im Kontext technischer Beschreibung drei Klassen von aktiven Zugängen und damit Vorleistungsprodukte mit grundsätzlich unterschiedlichen Eigenschaften ergeben können. Die Ebenenstruktur ähnelt der des ISO Schichtenmodells, stimmt im strengen Sinne aber nicht damit überein<sup>2</sup>.

In der ursprünglichen dreiteiligen Ebenenstruktur werden die Netzdienste der obersten Ebene als „Dienste“ bezeichnet. Im Allgemeinen und im technischen Sprachgebrauch bezeichnet „Dienste (Services)“ jedoch Netzdienste aller Ebenen. Daher wird im Folgenden für die Dienste der Ebene 4 der Begriff „Anwendungen“<sup>3</sup> anstatt „Dienste“ und für die Gesamtheit der NGA-Dienste von Ebene 0 bis 4 der Begriff „Produkte“ verwendet, was nicht ausschließt, dass bei technischen Beschreibungen der Begriff „Dienste“ weiterhin verwendet wird, wo „Produkt“ missverständlich wäre.

#### 1.1.1.1 Ebene 0

Die Ebene 0 repräsentiert die passive Infrastruktur vom Rohrzug über Glas- und Kupfermedien bis zur Luftschnittstelle, letztere in Form der Klassifizierung von Frequenzbändern. Auch erdverlegte Kabel sind eingeschlossen. Auf der Ebene 0 kann man zwischen Übertragungsmedien (z.B. Kupferkabel, Glasfaser, Luft) und Infrastruktureinrichtungen zur Nutzung von Übertragungsmedien (z.B. Leerrohre, Funkmasten, Technikflächen) unterscheiden. Der Zugang zu Übertragungsmedien beinhaltet in der Regel die Möglichkeit zur Übertragung von Daten/Signalen bis zum Endkunden. Durch den Zugang alleine zu Infrastruktureinrichtungen zur Nutzung von Übertragungsmedien kann aber eine solche Übertragungsmöglichkeit bis zum Endkunden nicht unbedingt erreicht werden.

Elemente der Ebene 0 erscheinen als Vorleistungsprodukte in Geschäftsmodellen, in denen ein Unternehmen oder eine öffentliche Einrichtung die passive Infrastruktur erstellt und betreibt und diese Betreibern von aktiver Infrastruktur anbietet. Solche Geschäftsmodelle müssen nicht zwangsläufig die gesamte passive Infrastruktur umfassen. So kann z.B. eine Kommune als Anreiz zum Breitbandausbau die Rohrzüge bereitstellen und die Einrichtung von Kabeln und passiver Linientechnik dem Netzbetreiber überlassen. Funkfrequenzbänder werden von der Bundesnetzagentur vergeben und können dann als Vorleistungsprodukte erscheinen, wenn der Handel damit freigegeben ist. Das Telekommunikationsgesetz lässt Frequenzhandel prinzipiell zu.

Bei den Übertragungsmedien der Ebene 0 lassen sich zwei wesentliche Architekturen unterscheiden, die Punkt-zu-Punkt- (P2P) und die Punkt-zu-Multipunkt-Architektur (P2MP). Bei der P2P-Architektur besteht zwischen jedem Endpunkt beim Endkunden bis zum ersten Konzentrationspunkt eine 1:1 Beziehung der eingesetzten Medien, bei einer P2MP Verbindung besteht zwischen mehreren Kundenendpunkten über einen dazwischenlegenden Konzentrationspunkt eine n:1 Beziehung zu einer weiterführenden Anbindung, die dann an zentraler Stelle endet. Im NGA-Kontext sind P2MP-

---

<sup>2</sup> Eine Übersicht und Erläuterung der Unterschiede zum OSI-Ebenenmodell sowie ein Vergleich mit dem TCP/IP-Referenzmodell finden sich im Anhang

<sup>3</sup> Anwendungen (applications) ist dabei nicht als „applications“ im Sinne der ITU-T Rec. Y.101 zu verstehen, sondern als generischer Begriff für Produkte oberhalb der Transportebene (Ebene 3)



Architekturen als reine Glasfaservarianten ebenso wie als Kombination von Glasfaser und Kupfer üblich (siehe auch Kapitel 1.1.3.2).

Auf einer P2MP- und P2P-Glasfaserarchitektur ist prinzipiell die gemeinsame Nutzung des optischen Spektrums der einzelnen Fasern durch mehrere Netzbetreiber durch die parallele Nutzung unterschiedlicher Lichtwellenlängen (Farben) möglich<sup>4</sup>. Dabei wird durch die dedizierte Zuweisung einer Wellenlänge (Farbe) pro Endkunde sichergestellt, dass diesem eine hohe Übertragungskapazität bereit gestellt werden kann. Insbesondere in einer P2P Infrastruktur wäre es möglich, dass über den Zugang auf Ebene 0 mehrere Netzbetreiber gleichzeitig einem Kunden Dienste anbieten können.

#### 1.1.1.2 Ebene 1

Die Ebene 1 ist bereits Teil der aktiven Infrastruktur und bildet logisch Punkt-zu-Punkt-Verbindungen (P2P) fester Bandbreite sowohl im optischen als auch im elektrischen Bereich ab (optische und elektrische Kanäle). Ebene 1-Produkte sind in Form von P2P-Festverbindungen fest etabliert. Charakteristisch für Ebene-1-Produkte sind die Trennung der Übertragungskanäle sowie die inhärente Bandbreitengarantie und hohe Datensicherheit.

Im NGA-Kontext sind Ebene-1-Vorleistungsprodukte insbesondere auch in PON-Topologien interessant. xPON-Technologien (z.B. GPON, EPON) nutzen auf Ebene 1 nur wenige Wellenlängen oder optische Bänder, um (häufig unter Nutzung der passiven Punkt-zu-Multipunkt-Infrastruktur (P2MP) der Ebene 0) viele Teilnehmer zu erreichen. Die potenzielle Kapazität der Fasern wird hierbei nicht annähernd ausgeschöpft. Der Zugang zu Übertragungskanälen auf Ebene 1 eröffnet die Möglichkeit, in einem P2MP-Zugangsnetz über dieselbe passive Infrastruktur einzelnen Kunden zusätzlich Festverbindungen sehr hoher Bandbreite und Dienstqualität bereitzustellen. Dieses Geschäftsmodell ist z.B. dann interessant, wenn in einem für Privatkunden erschlossenen Gebiet auch Firmen angesiedelt sind.

Die Entbündelung von Wellenlängen auf Ebene 0 bzw. der Zugang zu optischen Kanälen auf Ebene 1 bietet weiterhin prinzipiell die Option, auf derselben Ebene-0-P2P- oder -P2MP-Infrastruktur mehrere unabhängige xPON-Plattformen durch unterschiedliche Anbieter parallel zu betreiben. Entsprechende Technologien werden entwickelt, haben aber derzeit noch keine Marktreife erreicht.

Auf einer P2MP- und P2P-Glasfaserarchitektur ermöglicht der Einsatz von Wellenlängenmultiplex-(WDM)-Systemen die gemeinsame Nutzung einzelner Fasern durch mehrere Netzbetreiber, indem die Netzbetreiber unterschiedliche aktiv betriebene Wellenlängenkanäle zur parallelen Übertragung von Signalen nutzen. Dies ermöglicht dem Endkunden den Wechsel zwischen den Netzbetreibern. Dabei wird jedem Endkunden eine Wellenlänge (Farbe) dediziert zugewiesen, so dass diesem eine hohe Übertragungskapazität bereitgestellt werden kann.

---

<sup>4</sup> Derzeitige Wellenlängenmultiplex-(WDM)-Systeme ermöglichen die Nutzung von aktiv betriebenen Wellenlängenkanälen und sind daher der Ebene 1 zuzuordnen. Systeme die eine gemeinsame Nutzung der physikalischen Übertragungskapazität (optisches Spektrum) ermöglichen, sind auf dem Markt noch nicht erhältlich, befinden sich aber in der Entwicklung (z.B. Open Lambda Initiative)

#### 1.1.1.3 Ebene 2

Die Ebene 2 fasst OSI-Layer 2-Übertragungstechnologien zusammen<sup>5</sup>, die paketbasiertes „Switching“ unterstützen<sup>6</sup>. Ebene-2-Verbindungen sind auf der Endkundenseite dediziert einem Kunden zugeordnet, werden in P2P und P2MP-Plattformen aber auf Paketebene mit den Verbindungen anderer Kunden aggregiert und an der Zugangs-Schnittstelle dem Diensteanbieter gemeinsam übergeben. Die Separierung der Verbindungen erfolgt im Gegensatz zur Ebene 1 nicht physikalisch, sondern logisch, weshalb man hier auch von virtuellen Verbindungen (Virtual Connections) spricht.

Wichtigste Vertreter der Ebene-2-Produkte sind Ethernet-Bitstrom und auslaufend der ATM-Bitstrom, die sowohl über P2P als auch P2MP-Plattformen erbracht werden können. Innerhalb des Zugangsnetzes lassen sich die einzelnen virtuellen Verbindungen durch den Ethernet-VLAN-Identifizierer unterscheiden. Bei einer hohen Zahl von Diensten – ein Endkunde kann prinzipiell mehrere in Anspruch nehmen – bzw. bei Übergabe an mehrere Diensteanbieter können zur Skalierung und zur verbindungsorientierten Übertragung Protokollerweiterungen erforderlich sein, die in den Schnittstellenbeschreibungen zu berücksichtigen sind.

#### 1.1.1.4 Ebene 3

Die Ebene 3 ist die dritte Ebene der aktiven Infrastruktur und repräsentiert paketvermittelte IP-basierte Technologien, die Ende-zu-Ende-Routing, auch durch überregionale Netze mehrerer Betreiber, erlauben. Hier ist die MPLS-Protokollerweiterung zur verbindungsorientierten Übertragung und zu Netzmanagement-Zwecken ein mögliches Element. Layer-3-Verbindungen setzen notwendig auf Layer 2-Verbindungen auf.

#### 1.1.1.5 Ebene 4

Die Ebene 4 deckt die gesamten Anwendungen ab, die auf der aktiven Infrastruktur aufsetzen. Im Gegensatz zu den NGA-Produkten der anderen Ebenen ist die Ebene 4 auch insofern offen, als hier ständig neue Produkte erscheinen werden. In Bezug auf NGA erfordern die meisten IP-basierten Anwendungen lediglich transparente Durchleitung auf Ebene 3 und benötigen prinzipiell keine Ebene-4-spezifischen Schnittstellendefinitionen<sup>7</sup>. Diese sind durch Standards bzw. durch allgemeine Konventionen abgedeckt.

---

<sup>5</sup> Einzelne Ethernet-P2P-Verbindungen ohne konzentrierenden Switch können bereits der Ebene 1 zugeordnet werden, da sie funktional mit P2P-Mietleitungen gleichzusetzen sind

<sup>6</sup> Layer 2-Netze basieren auf nichthierarchischen Strukturen. Layer-2-Switches leiten ausschließlich Datenpakete auf der Sicherungsschicht weiter, sie besitzen keine Vermittlungs- und Routingfunktionen. Die Weiterleitung erfolgt Hardware-basiert anhand der MAC-Adressen oder des VLAN-Tags

<sup>7</sup> Ausnahmen bilden hier solche Anwendungen, für die Netzbetreiber spezifische Infrastruktur einsetzen und die insofern ein Thema für „Offenen Zugang“ bilden. Als Beispiel sei die TV-Verteilung erwähnt, die derzeit – je nach Netztechnologie und Betreiber – dedizierte Digitalempfänger voraussetzt, so dass ein Anbieterwechsel nicht ohne Weiteres möglich ist

### 1.1.2 Netzebenen, Produkte und Netztechnologien

Eine Produktbeschreibung bezieht sich im Kern auf die höchste Diensteebene, wie z.B. IP-VPN auf Ebene 3. Bei der Realisierung eines solchen Produkts sind aber einige oder alle darunterliegende Ebenen betroffen. Ein triviales Beispiel hierfür ist die IP-Verbindung kollozierter Router durch Ethernet-Kabel. Auch wenn kein Übertragungsnetz involviert ist sind hier dennoch Elemente der Ebenen 3 bis 0 vorhanden, letztere in Form des Kabels. Abbildung 2 illustriert diesen Sachverhalt. Die eigentliche Übertragung erfolgt auf der physikalischen Ebene, die Zwischenebenen bilden virtuelle Kanäle für die jeweils darüberliegende.

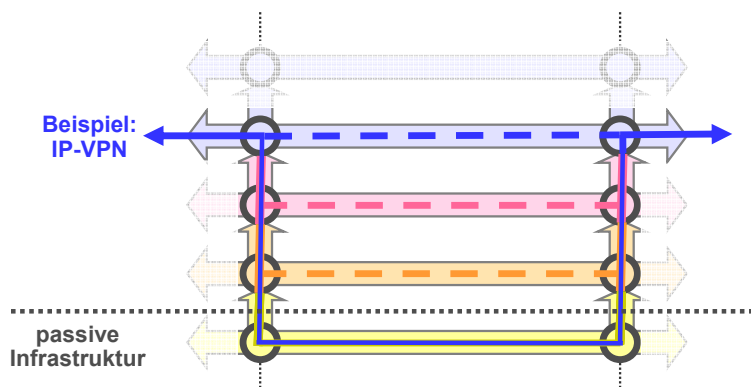


Abbildung 2: Nutzung der Ebenen am Beispiel IP-VPN

Konkrete Zugangsnetztechnologien umfassen entsprechend Funktionen mehrerer Ebenen. Technologiebedingt kann die Kopplung dieser Funktionen inhärent erforderlich sein. In vielen Fällen ist es jedoch möglich, Zugangsnetze vertikal zu strukturieren und einige oder mehrere der unteren Ebenen separat zu betrachten. In Abbildung 2 ist als Beispiel die Trennung zwischen passiver und aktiver Infrastruktur eingezeichnet. Die Möglichkeiten der Separierung sind technologiespezifisch.

Inwieweit bei den NGA-Schnittstellenbeschreibungen neben der höchsten, der eigentlichen Produktebene, auch die darunterliegenden festgelegt werden müssen, wird in Absatz 2.2.1 diskutiert. Dies kann auf der Kunden- und der Diensteanbieterseite unterschiedlich sein.

### 1.1.3 Abstraktes Modell und Topologie realer Netze

Bezüglich der Netzbereiche<sup>8</sup> erstreckt sich der NGA-Fokus auf Zugangs- und Gebäudenetze, Konzentrations- und Kernnetze sind durch das NGA-Mandat nicht abgedeckt. Die abstrakte Darstellung in Abbildung 1 zeigt nicht, dass sich einige Zugangsnetztechnologien in das Konzentrationsnetz ausdehnen und ebenso wenig, dass P2MP-Zugangstopologien innerhalb des Zugangsnetzes strukturiert sein können oder der ers-

<sup>8</sup> Der Begriff „Ebene“ wird oft sowohl zur vertikalen als auch zur horizontalen Strukturierung verwendet. „Ebene“ wird hier im Sinne von „Schicht“ oder „Layer“ verwendet, zur horizontalen Strukturierung der Begriff „Netzbereiche“

te Konzentrationspunkt Bestandteil des Zugangsnetzes sein kann<sup>9</sup>. Die möglichen Zugangspunkte zu Vorleistungsprodukten hängen hier von der Zugangsebene ab.

#### 1.1.3.1 Access-Technologien im abstrakten Netzmodell

Einige Zugangnetze für Vorleistungsprodukte höherer Ebenen enden nicht in den Hauptverteilern, sondern erstrecken sich funktional bis an die Grenze des Kernnetzes. So befinden sich zum Beispiel bei PON-Netzen die optischen Terminierungsknoten (OLT, Optical Line Termination), welche auch die Zugangskonzentration abdecken, im Hvt. Der Zugang auf Ebene 3 erfordert die Nutzung von Funktionen zur Zugangsbeurteilung über den RAS (Remote Access Server), der die Grenze zwischen Konzentrations- und Kernnetz bildet. Ebenso kann der Zugang zum Mobilfunknetz (abgesehen vom Zugang auf Ebene 0) frühestens am MSC (Mobile Switching Center) oder teilweise dem BSC (Base Station Controller) erfolgen, die in zentralen Betriebsstellen angesiedelt sind.

In beiden Fällen werden die peripheren mit den zentralen Knoten entweder durch transparente Durchleitungen durch das Konzentrationsnetz oder – insbesondere bei Mobilfunknetzen – durch dedizierte Backhauling-Netze verbunden. Es gibt hierfür zahlreiche Realisierungsvarianten, deren Detailbetrachtungen im NGA-Rahmen aber nicht relevant sind. In Abbildung 3 sind Beispiele für NGA-Zugangspunkte zu Netzen der höheren Ebenen in einem schematischen Gesamtnetzbild dargestellt. Weiterhin enthalten die meisten Zugangs-Netztechnologien auch Konzentrationsfunktionen, was die klare Trennung zwischen Zugangs- und Konzentrationsnetz erschwert. Dies ist im folgenden Kapitel weiter ausgeführt.

Die Darstellung in Abbildung 1 ist daher insofern eine valide Abstraktion, als die Schnittstellendefinitionen an den Übergabepunkten zwischen den Zugangsnetzbetreibern und den Diensteanbietern relevant sind. Ob sich diese nun innerhalb des Zugangsbereichs, an den geografischen Grenzen des Zugangsnetzes oder an den Standorten befinden, welche die Grenze zwischen Konzentrations- und Kernnetz abbilden (Core Edge), kann dort offen gelassen werden.

Da in einer offenen Netzumgebung die Durchleitung durch das Konzentrationsnetz prinzipiell von einem dritten Anbieter bereitgestellt werden kann, sind die NGA-Schnittstellen sowohl an der Grenze des Zugangsnetzes als auch an den Übergabepunkten des Konzentrationsnetzes eingezeichnet<sup>10</sup>. In beiden Fällen beinhaltet die NGA-Schnittstellendefinition nur die Zugangsnetz-spezifischen Anteile. Erweiterungen der Transportprotokolle als Funktionen des Konzentrationsnetzes – z.B. Ethernet over MPLS – sind in der Definition der NGA-Schnittstelle nicht enthalten. Damit bleibt die Übertragungstechnik zur transparenten Durchleitung durch das Konzentrationsnetz wahlfrei, soweit sie die jeweiligen Diensteanforderungen erfüllt (siehe auch folgendes Kapitel sowie 2.2.1).

---

<sup>9</sup> Z.B. bei FTTC/ VDSL der DSLAM im KVz

<sup>10</sup> Die Erweiterung von Bandbreite oder Flächendeckung kann bei den unterschiedlichen Technologien unterschiedlichen ökonomischen Aufwand erfordern.

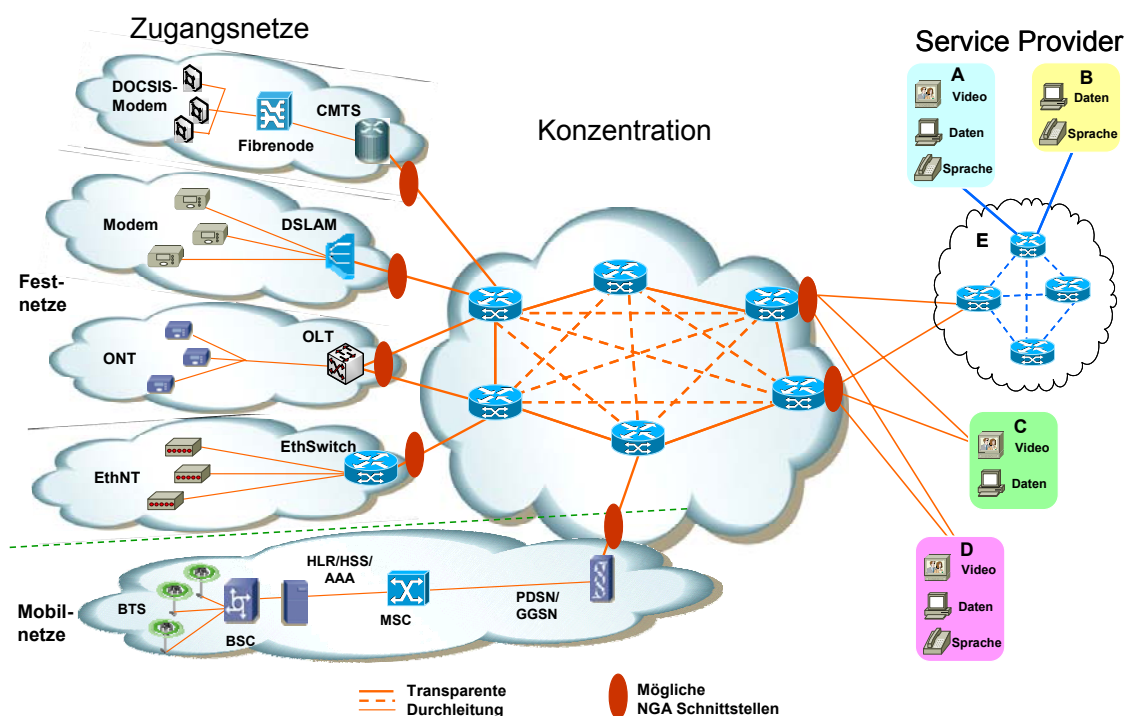


Abbildung 3: Beispiele für NGA-Zugangspunkte der höheren Ebenen im Gesamtnetz

#### 1.1.3.1.1 Wechselwirkung zwischen Zugangs- und Konzentrationsnetz

Das Konzentrationsnetz liegt nicht im Fokus der NGA-Betrachtungen. Die in Abbildung 3 markierten möglichen Positionen der NGA-Schnittstellen im Gesamtnetz machen jedoch deutlich, dass zumindest in einigen Technologie- und Architekturvarianten das Konzentrationsnetz beim NGA-Zugang eine Rolle spielt. Spätestens bei der Bereitstellung von Ebene 2-/3-Multicast-Produkten muss die Gesamtarchitektur übergreifend betrachtet und die Rollen der Netzbereiche klar definiert werden.

Die Bezeichnung „Konzentrationsnetz“ wird zum Einen – wie in Kapitel 1.1 - im organisatorischen Sinn verwendet, zum Anderen aber auch im technischen Sinn als Zusammenfassung der Konzentrationsfunktionen im Gesamtnetz. Das ist insofern verwirrend, als die Datenkonzentration zwischen den Teilnehmeranschlüssen und den Übergabepunkten und den Diensteanbieter in mehreren Stufen erfolgt, und in der Regel eine oder mehrere Konzentrationsstufen auch Bestandteil der Zugangsnetze sind. Aus organisatorischer Sicht sind dagegen die Zugangs- und das Konzentrationsnetzsegmente klar getrennt, was insbesondere dann deutlich wird, wenn diese Segmente von unterschiedlichen Organisationen betrieben werden.

Die möglichen Architekturvarianten im NGA-Kontext lassen sich im Wesentlichen nach zwei Kriterien ordnen:

1. Betreiber von Zugangs- und Konzentrationsnetz
  - a. Ein Betreiber für beide Segmente
  - b. Unterschiedliche Betreiber von Zugangs- und Konzentrationsnetz
2. Multicast-Funktionen im Verantwortungsbereich des Konzentrationsnetzbetreibers
  - a. Erforderlich
  - b. Nicht erforderlich

In Abbildung 4 sind beispielhaft drei Netzszenarien dargestellt, anhand derer sich die Wechselwirkung zwischen Zugangs- und Konzentrationsnetz verdeutlichen lässt. In allen Fällen wird davon ausgegangen, dass der Diensteanbieter nicht der Betreiber des Netzes ist und dass Multicast gefordert ist, welches die Ende-zu-Ende-Betrachtung des Netzdesigns erfordert. Die Multicast-Funktionen werden im Rahmen der L2-Ethernet-Vorleistungsprodukte in den Kapiteln 2.5.2 und 2.7.2 ausführlich beschrieben.

Szenario A) zeigt den Fall, in dem sowohl das Zugangs- als auch das Konzentrationsnetz von einem Betreiber bereitgestellt werden. Hier liegen Planung und Betrieb in einer Hand, so dass Konzentrations- und Multicast-Funktionen – die sich über beide Netzsegmente erstrecken – übergreifend bzw. ergänzend angeordnet werden können. In diesem Beispiel ist neben den im Zugangsnetz üblichen integrierten Konzentrationsfunktionen kein besonderer Konzentrationsknoten vorgesehen, die Zusammenfassung der Verkehre mehrerer Zugangsnetzsegmente kann den Konzentrationsnetzknuten überlassen werden. Prinzipiell können hier auch einige oder alle Konzentrationsnetzknuten mit Multicast-Erweiterungen ausgestattet sein, um die Bandbreiten im Konzentrationsnetz zu optimieren. Diese Architektur schließt nicht aus, dass das Konzentrationsnetz zur Skalierung und zum Verkehrsmanagement mit L2-Protokollerweiterungen wie VLAN-Stacking oder MAC-in-MAC bzw. als IP/MPLS-Netz ausgeführt ist. Die Ebene-2-Verkehrsströme werden transparent durchgeleitet und an der NGA-Schnittstelle zum Diensteanbieter auf Ebene 2 übergeben.

Szenario B) beschreibt den Fall, dass Zugangs- und Konzentrationsnetz von unterschiedlichen Betreibern bereitgestellt werden. Diese Situation findet sich häufig bei lokalen oder regionalen Zugangsnetzbetreibern, die keine flächendeckende Netzinfrastruktur besitzen. Es werden hier in der Regel mehrere Zugangsnetzbereiche durch einen Konzentration-Switch zusammengefasst, um parallele Anbindungen über große Distanzen zum Diensteanbieter zu vermeiden. In diesem Beispiel ist das Konzentrationsnetz wie oben ein L2/L3 Pakettransportnetz, so dass sich durch statistischen Multiplex ebenfalls Bandbreitenvorteile ergeben. Multicast-Funktionen sind auch hier denkbar, allerdings würden dabei Netzplanung und Schnittstellenvereinbarungen für den Konzentrationsnetzbetreiber komplex und mit erheblichem Aufwand verbunden sein. Die NGA-Schnittstelle befindet sich hier an der Grenze des Zugangsnetzes, die Funktion des Konzentrationsnetzes beschränkt sich hier auf die transparente Durchleitung der Ebene-2-Ströme – gegebenenfalls durch IP/MPLS – zum Übergabepunkt des Diensteanbieters.

Die Lösung in Szenario B ist dann ökonomisch, wenn die erforderlichen Bandbreiten zur Durchleitung der aggregierten Zugangsnetz-Datenströme relativ gering sind bzw. mehrere kleinere Zugangsnetze eines Betreibers geografisch getrennt sind und sich die Konzentration

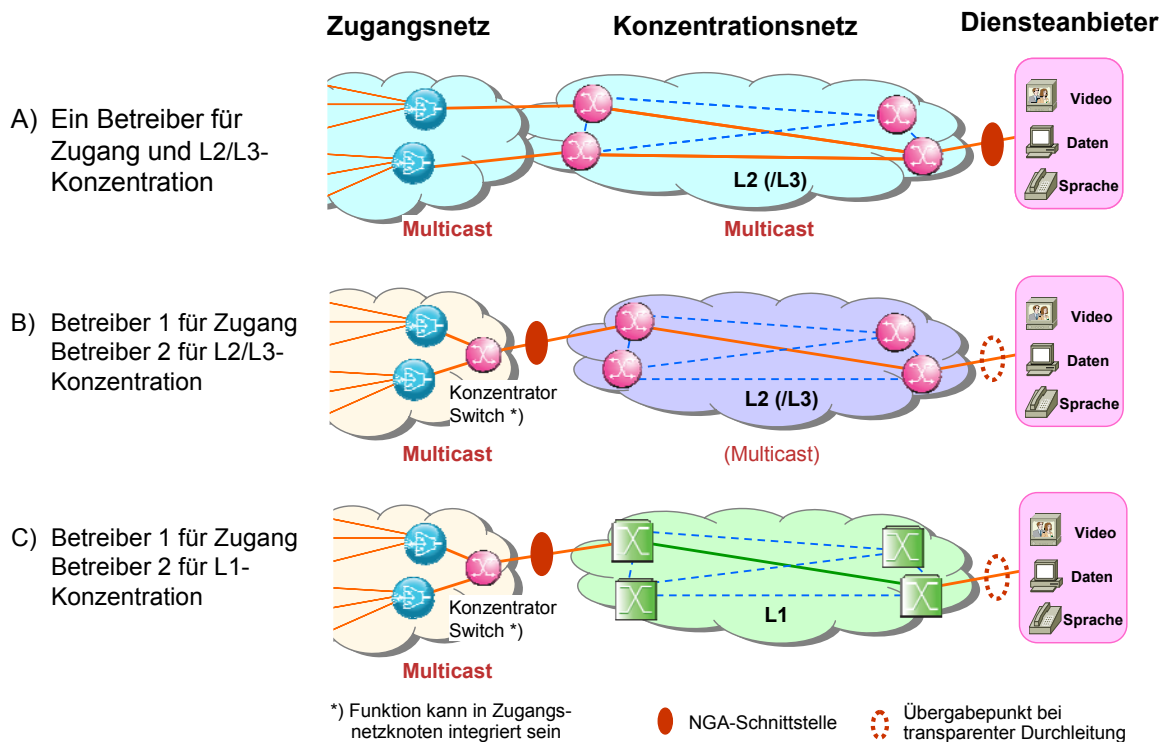


Abbildung 4: Beispiele von Netzszenarien im Zugangs-/Konzentrationsnetz

Sobald die im Zugangsnetz aggregierten Datenströme Kapazitäten von 1Gb/s erreichen oder deutlich darüber liegen wird häufig die Anbindung durch Festverbindungen gewählt, wie es in Szenario C dargestellt ist. Das Konzentrationsnetz kann hier Kanäle fester Bandbreite (z.B. EoOTH oder EoSDH) auf Ebene 1 elektrisch und/oder optisch aggregieren und zum Übergabepunkt des Diensteanbieters transportiert. Ebene-1-Netze greifen nicht auf die Ethernet-Pakete zu, so dass Multicast-Funktionen hier nicht möglich sind. Mit dieser Architektur erhöht sich die Anzahl der Schnittstellen auf Seite des Diensteanbieters, da jedes Zugangsnetzsegment eine eigene Verbindung besitzt. Im Gegenzug sind Planung und Betrieb der transparenten Durchleitung relativ einfach zu gestalten.

### 1.1.3.2 Punkt-zu-Mehrpunkt-Topologien im Zugangsnetz

Im Falle von Punkt-zu-Punkt-Topologien, wie z.B. bei einer dedizierten Faser direkt zum Kunden, ist das Zugangsnetz homogen und entspricht der abstrakten Darstellung in Abbildung 1 bzw. dem untersten Szenario in Abbildung 5. Bei P2MP-Konfigurationen ist das nicht zwangsläufig so, da zur Flächendeckung innerhalb des Zugangsnetzes eine – zum Teil mehrfache – Auffächerung vorliegen kann. Abbildung 5 zeigt beispielhaft Varianten der Strukturierung, wobei die zuvor beschriebene Auffächerung der Glasfaser im zweituntersten Fall dargestellt ist.

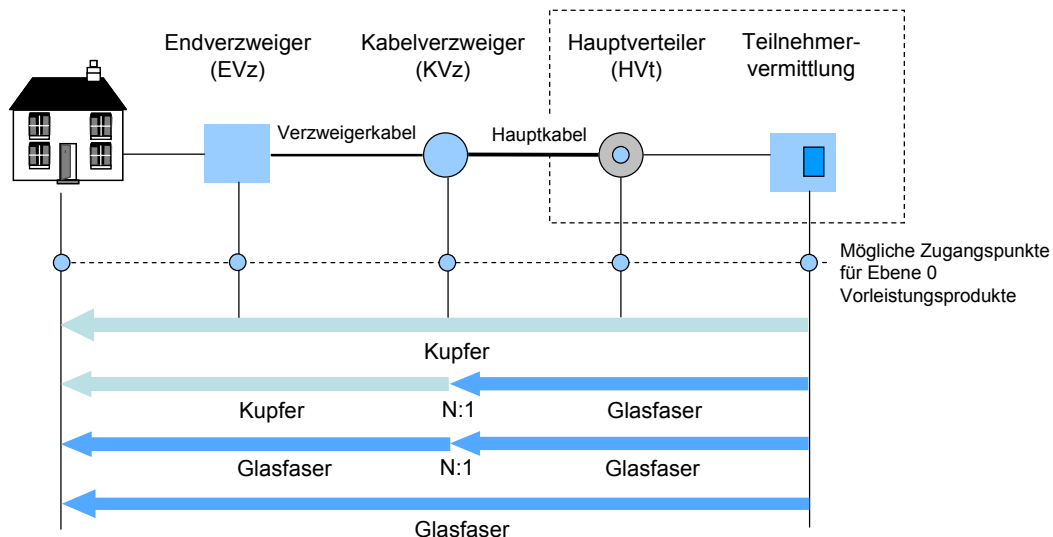


Abbildung 5: Strukturierung der Zugangsnetz-Topologie <sup>11</sup>

In einem weiteren Szenario wechselt im Kabelverzeiger bzw. Schaltverteiler auch das physikalische Medium von Glas zu Kupfer. Auch wenn die aktive Technik sinnvoller Weise jeweils von einem Betreiber bereitgestellt wird, können Vorleistungsprodukte auf Ebene 0 in den Segmenten von verschiedenen Anbietern bereitgestellt werden. Die Struktur der Topologie ist ebenfalls bedeutend im Hinblick auf Netztechnologien und deren Möglichkeit zur Entbündelung der Teilnehmeranschlussleitungen. Die Stelle, an der die einzelne Verbindung zum Kunden aufgegliedert wird (siehe Abbildung 5) bestimmt grundsätzlich, wo entbündelt auf die Leitungsinfrastruktur zugegriffen werden kann.

- So wäre z.B. auf der Ebene 0 (Übertragungsmedium) ein entbündelter Zugang auf die Glasfaser bei FttH im Keller und jedem folgendem optischen Konzentrationsspunkt möglich.
- Bei FttB wäre dagegen lediglich im Keller ein Zugang möglich.
- Bei P2MP Glasfaserarchitekturen ist ein entbündelter Zugang auf die dedizierte Glasfaser nur am dem Kunden nächstgelegenen Auffächerungspunkt möglich,
- bei einer P2P Glasfaserarchitektur typischerweise am HVt. Der Zugang zur Infrastruktur würde je nach Aufbau die Strecken zwischen Gebäude und „KVz“ oder „KVz“ und „HVt“ umfassen.

## 1.2 Unterarten der Interoperationsschnittstellen

Dieses Rahmenwerk beschreibt ein Vorhaben, wie eine NGA-Interoperabilität zwischen Anfragern und Anbietern von NGA Leistungen sichergestellt werden kann. Neben grundsätzlichen Vereinbarungen bei Produkten aller Ebenen sind im Hinblick auf automatisierte Interoperationsabläufe, vor allem bei Massenmarktprodukten der höheren Ebenen, neben den Transportschnittstellen weitere Interoperabilitätsschnittstellen er-

<sup>11</sup> am Beispiel der Struktur klassischer Telefonnetze



forderlich. Abbildung 6 zeigt eine schematische Darstellung der Interoperationsschnittstellen für Produkte höherer Ebene, hier für die Ebene 2. In den nachfolgenden Abschnitten werden diese in aller Kürze erläutert.

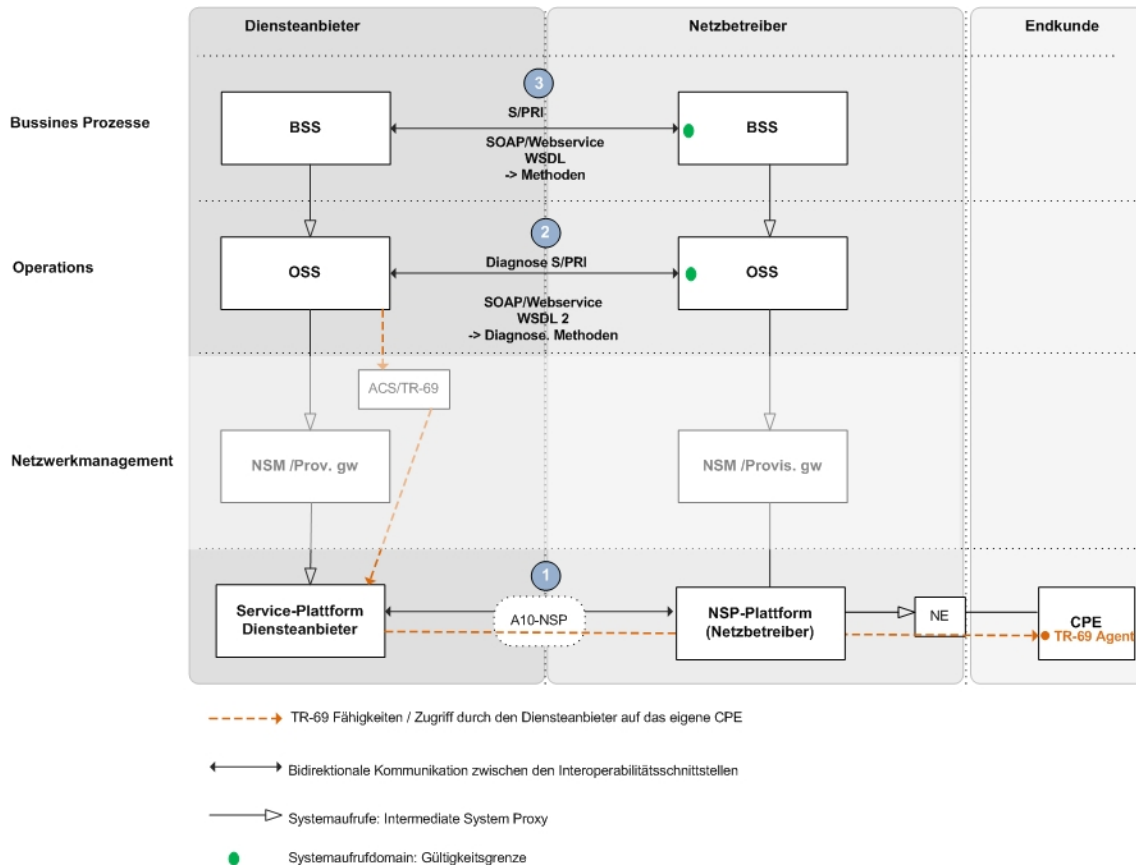


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Interoperationsschnittstellen am Beispiel L2-Ethernet-Bitstrom

### 1.2.1 Transportschnittstelle

Die Transportschnittstelle siehe Abbildung 6 (Ref.1), beschreibt den Point of Interconnection zweier Netze, über welche die Nutzdaten, also die eigentliche Service-Leistung abgewickelt wird. Im Kontext dieses Dokumentes ist der Referenzpunkt die A10-NSP Schnittstelle in der Ausführung als Ethernet Schnittstelle. Die wesentlichen Eigenschaften werden weiterführend an anderer Stelle in diesem Dokument erläutert. Hierunter fallen somit auch die Eigenschaften der physikalischen Schnittstelle als Eigenschaft der Transportschnittstelle.

### 1.2.2 Orderschnittstelle

Im NGA Kontext wird vermehrt in der Kategorie einer automatisierten Prozessverarbeitung gedacht. Die sogenannte Orderschnittstelle, siehe Abbildung 6 (Ref.2), beschreibt die BSS-Anteile (Business Support Systems) einer Prozess- und Service-Landschaft.

Hier werden Geschäftsprozesse über eine abgestimmte und automatisierte Prozessschnittstelle modelliert und abgebildet. Im Kontext dieses Dokumentes erfolgt eine ausführlichere Betrachtung einer solchen Schnittstelle und der angenommenen Geschäftsfälle zwischen einem NGA-Anbieter und -Abnehmer in einem weiterführenden Kapitel.

### 1.2.3 Diagnoseschnittstelle

Diese Schnittstelle dient der Unterstützung betriebsrelevanter Abläufe für Störungseingrenzung und ggf. Störungsbehebung. Im Allgemeinen spricht man an dieser Stelle von den OSS-Schnittstellen (Operation Support Systems). Die hier vorgeschlagene Schnittstelle stellt eine kleine, für den Anwendungsfall relevante Untermenge an OSS-Operationen aus dem Fehlermanagement-Bereich dar. Diese werden im weiteren Verlauf der Ausarbeitung näher beschrieben.

In Abbildung 6 ist eine weitere - virtuelle - Diagnoseschnittstelle als gestrichelte Linie dargestellt, die über die transparente Transportschnittstelle durch das TR-69-Protokoll realisiert wird. Sie erlaubt dem Diensteanbieter direkten Zugriff auf das CPE des Endkunden. Neben Managementfunktionen – z.B. die Konfiguration des CPE – ermöglicht sie prinzipiell auch unabhängige Leistungsüberwachung des kundenspezifischen Netzzugangs durch den Diensteanbieter.

## 2 Themenbereich Technik

### 2.1 Vorgehensweise

Übergeordnetes Ziel der NGA-Initiative ist die Schaffung von Möglichkeiten der effizienten Bereitstellung von Vorleistungsprodukten im Zugang mit hohen Anforderungen an Bandbreite für den Endkunden, nationaler Flächendeckung sowie zeitnaher Verfügbarkeit. Rahmenbedingungen bilden hierbei die verfügbaren Technologien.

Aus technischer Sicht ist die Definition standardisierter Zugangsschnittstellen, welche Diensteanbietern ein weitgehend eigenständiges Angebot an seine Endkunden erlauben, auf allen NGA-Ebenen möglich und im Sinne vielfältiger Kooperationsmodelle prinzipiell wünschenswert. Die Verfügbarkeit solcher Schnittstellen würde zum einen dem Anbieter den Zugang auf jeder Ebene ermöglichen, und zum anderen dem Nutzer von Vorleistungsprodukten erlauben, zwischen Wertschöpfungstiefe, Investitionsrisiko und Abhängigkeit vom Vorleistungsanbieter in mehreren Stufen abzuwägen.

Dieser Vielfalt von Schnittstellen stehen aber einige pragmatische Überlegungen gegenüber. Interoperation setzt standardisierte technische Schnittstellen und entsprechende Geschäftsprozesse voraus. Die Erarbeitung und Standardisierung mehrerer neuer Schnittstellen ist aufwändig und zeitnah nicht zu leisten. Ebenso wird sich im Hinblick auf eine baldige Einführung der Fokus auf die Fähigkeiten der heute verfügbaren Technologien richten. Kooperationsvereinbarungen schließlich sind aufgrund der Marktsituation ohnehin sehr komplex. Wenige, klar definierte Schnittstellen und Prozesse sind offenen Strukturen eher förderlich.

Ziel ist es daher, für alle NGA-Marktteilnehmer einige konsensfähige Interoperationschnittstellen zu definieren und diese in Folge auf weitere Ebenen bzw. auf die Fähigkeiten kommender Technologien zu erweitern.

Derzeit ist eine Vielzahl von Produkten am Markt verfügbar, mehrere in jeder NGA-Ebene, je nach Anbieter in Varianten und unterschiedlichen Bezeichnungen. Diese sollen zunächst in einer Übersicht erfasst und bezüglich Marktrelevanz und zeitnaher Schnittstellendefinition bewertet werden. Dabei ist zu klären, ob klassische Produkte, die an Marktrelevanz verlieren, in der Ausarbeitung berücksichtigt werden sollen.

Ergänzend dazu ist es erforderlich, die Rahmenbedingungen der relevanten Accessnetz-Technologien zu klären. Es ist nicht notwendig, die Technologien im Detail zu beschreiben, sondern vielmehr nach ihren charakteristischen Eigenschaften zu klassifizieren.

Mit diesen Basisdaten lassen sich dann Produkte auf Netztechnologien abbilden und die technischen Schnittstellen definieren. Für die ausgewählten Vorleistungsprodukte werden Schnittstellendefinitionen vorgeschlagen und im Detail beschrieben.

Da die heute verfügbaren Netztechnologien in der Regel nicht alle Anforderungen zugleich erfüllen und neue Technologien in absehbarer Zeit zu erwarten sind, stellt sich auch die Frage nach dem zeitlichen Aspekt der NGA-Umsetzung. Die erfassten Daten lassen prinzipiell qualitative Aussagen bezüglich Migrationsszenarien zu, diese sind jedoch im Mandat der Arbeitsgruppe nicht berücksichtigt und bleiben als Option offen.

Abbildung 7 stellt die Vorgehensweise schematisch dar.

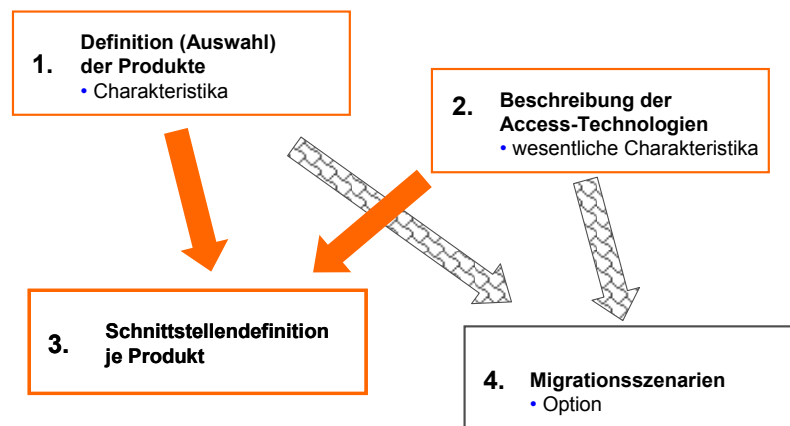


Abbildung 7: Schema der Vorgehensweise

## 2.2 Produkte

### 2.2.1 Generelle Betrachtungen zu Produktbeschreibung und Schnittstellendefinition

Bei der Produktbeschreibung empfiehlt es sich, zwischen den Beschreibungen für die Endkundenseite (Kundenschnittstellen) einerseits und für den Open-Access-Übergang zu den alternativen Diensteanbietern andererseits zu unterscheiden.

In der Regel umfasst die Produktdefinition für den Endkunden die Spezifikation des Anschlusses von Ebene 0 (Kabel/Stecker) bis zur höchsten produktspezifischen Ebene (Übertragungsprotokolle, ggf. bis zu applikationsspezifischen Vereinbarungen). Das verwendete Zugangsnetz kann technologiebedingt intern weitere/andere Ebenen und Transportverfahren/Protokolle verwenden, die nach außen beiderseits nicht sichtbar sind (z.B. für Multiplex).

Wie Abbildung 8 illustriert, ist die Schnittstellen- und Produktdefinition auf der Kunden- und Diensteanbieterseite (Wholesale-Seite) unterschiedlich. Die Definition der Schnittstelle umfasst auf jeden Fall die höchste Ebene des Produkts. Das wird am gezeigten Beispiel eines IP-VPN unmittelbar deutlich. Auf Kundenseite betrifft das Produkt den Einzelkunden, auf der Diensteanbieterseite können mehrere Kundenanschlüsse oder auch Kunden-VPNs gemultiplext und dann durch Ebene 2- oder Ebene 1-Schnittstellen höherer Bandbreite angebunden werden. Im offenen NGA-Modell kann zur Anbindung der Infrastruktur des alternativen Anbieters je nach Bedarf in jeder darunterliegenden Ebene das geeignete Produkt gewählt werden. Es muss lediglich darauf geachtet werden, dass die SLA- und QoS-Anforderung des Produkts der höchsten Ebene in den genutzten tieferen Ebenen respektiert und umgesetzt werden.

Die Definition des Produkts an der Diensteanbieter-Schnittstelle bezieht sich demnach auf die höchste betroffene NGA-Ebene und enthält SLA- und QoS-Anforderungen, die an die unteren Ebenen durchgereicht werden. Je nach verwendeter Zugangstechnologie kann es sinnvoll oder notwendig sein, neben der höchsten auch darunterliegende Ebenen festzuschreiben (z.B. L3 und L2). Im Sinne einer modularen Schnittstellendefinition und im Hinblick auf eine eventuelle Durchleitung durch Konzentrationsnet-

ze sollten jedoch die Übertragungstechnik und damit die entsprechende Festlegung der unteren Ebenen wahlfrei bleiben, soweit sie die Diensteanforderungen erfüllt.

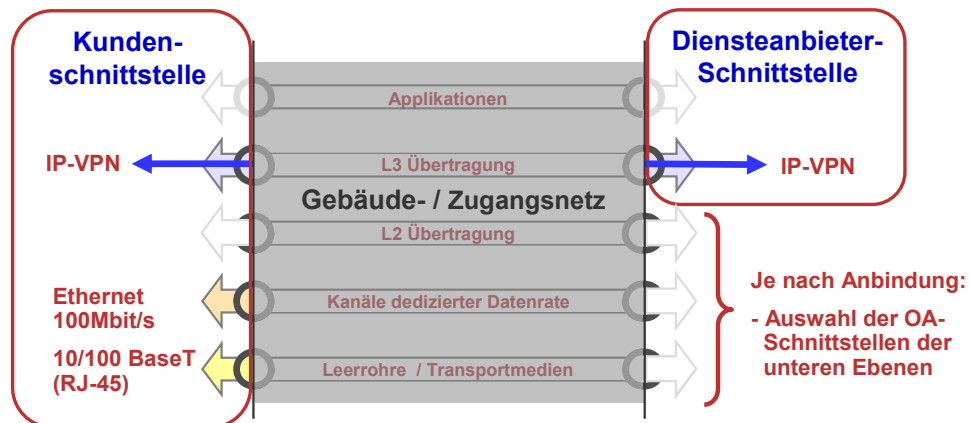


Abbildung 8: Unterschiedliche Definition von Kunden- und Diensteanbieter-Schnittstelle am Beispiel des IP-VPN

Auf Seite der Kundenschnittstelle werden im Massenmarkt überwiegend Ethernet und VDSL2-Schnittstellen zur Anwendung kommen, abhängig von der Zugangstechnologie werden jedoch wie bisher auch andere Schnittstellentypen vertreten sein.

## 2.2.2 Übersicht NGA Produkte

Die folgenden Listen geben den aktuellen Stand der Diskussion über mögliche Produkte im NGA-Bereich wider. Es sind alle Ebenen sowie alle Produkte sowohl des Privats als auch des Geschäftskundenmarktes berücksichtigt, zunächst unbewertet im Hinblick auf die Relevanz für eine Schnittstellenempfehlung. So sind auch Produkte gelistet, die sich auf Technologien beziehen, deren Nutzungsende in wenigen Jahren absehbar ist sowie insbesondere aus dem Geschäftskundenbereich etablierte Produkte, deren Schnittstellen weitgehend standardisiert sind. Bei Produkten, die unter mehreren Bezeichnungen im Markt erscheinen, wurde die aus technischer Sicht treffendste aufgenommen.

### 2.2.2.1 Produkte der Ebene 0: Leerrohre/Transportmedien Passive Infrastruktur

Einrichtungen zur Nutzung von Übertragungsmedien

- Rohrzüge (KKA)
- Funkmasten
- Technikflächen

## Übertragungsmedien

- Kupfer-Doppelader (CU-DA, Inhouse, KVz, HVt)
- Koaxial-Kabel
- Dark Fiber (unterschiedliche Standards, Faserzahl, Outdoor, Inhouse)
- Optische Wellenlängen (Farbe)

### 2.2.2.2 Produkte der Ebene 1: Kanäle dedizierter Datenrate

#### Festverbindungen

- PDH
- SDH
- OTH
- Ethernet (Punkt-zu-Punkt)
- Fiber Channel
- Escon

#### Funkfrequenzkanäle

#### Optische Kanäle

### 2.2.2.3 Produkte der Ebene 2: L2-Übertragung

#### Ethernet-Bitstrom<sup>12</sup>

Transparentes Ethernet IEEE 802.3, Ethernet Virtual Connections (EVC)

#### Protokollerweiterungen

- o VLAN-Stacking
- o PPPoE IA (Intermediate Agent)
- o DHCP Opt. 82
- o Link Aggregation IEEE 802.1ax

---

<sup>12</sup> Grundsätzlich ist auch ein Layer 2-Transportprodukt losgelöst vom Anschluss denkbar. Derzeit sind aber keine entsprechenden Produkte verfügbar.

- Multicast (Snooping, Proxy)

ATM-Bitstrom,  
ATM Permanent Virtual Connections (PVC)

#### 2.2.2.4 Produkte der Ebene 3: L3-Übertragung

IP Bitstream (L3-BSA)<sup>13</sup>

Protokollerweiterungen

- MPLS
- IP/BGP
- Pseudo-Wire 3 (PWE3)
- IP-VPN

#### 2.2.2.5 Produkte der Ebene 4: Applikationen

Produkte der Ebene 4 sind generell keine NGA-Zugangsprodukte. Sie sind in der Liste aufgenommen, da sie auf NGA-Produkte aufsetzen und häufig in diesem Zusammenhang diskutiert werden.

Die gelisteten Dienste können sowohl als „Over-the-Top-Dienste“, d.h. ohne Absprache zwischen Diensteanbieter und Netzbetreiber, als auch als Produkte mit zugesicherter Dienstegüte vom Netzbetreiber transportiert werden.

##### 2.2.2.5.1 Over-the-Top-Dienste

„Over-the-Top-Dienste“ ist der Überbegriff für Applikationen, die über L3/L2-NGA-Zugangsnetze realisiert werden können und keine spezifischen Anforderungen an das Zugangsnetz außer der Übertragung von L3-Verkehr unter Nutzung von Protokollen der Internetprotokollfamilie stellen. Die Liste erfasst nur die wichtigsten Applikationen und bleibt auch insofern unvollständig, als in Zukunft weitere Applikationen zu erwarten sind.

- Sprache, Voice over IP
- Internet-Zugang
- Daten

---

<sup>13</sup> Grundsätzlich ist auch ein Layer 3-Transportprodukt denkbar, dass den Anschluss nicht mit einbezieht. Diese Produkte werden aber kaum mehr nachgefragt (Breitbandzuführungsprodukte).

- VPN
- Interaktive Dienste
- IP-TV
- Gaming
- Conferencing
- Video on Demand (mehrere SLA-Stufen)
- Streaming-Dienste
- Peer-to-Peer-Kommunikationsdienste (z.B. Skype)
- Anbindung von Smart Meters
- ...

## 2.3 Überblick Zugangsnetztechnologien

In diesem Kapitel werden die aktuellen sowie die in absehbarer Zeit verfügbaren Zugangsnetztypen im Überblick dargestellt. Ausführliche Beschreibungen wurden von anderen Gremien bereits verfasst. Neben einer Kurzbeschreibung, die sich im Wesentlichen an die Ausarbeitungen des IT-Gipfels anlehnen (siehe [5]), werden die charakteristischen Merkmale der Technologien tabellarisch zusammengefasst.

Hausverteilnetze werden nicht isoliert betrachtet, da sie mit den genannten Technologien realisiert werden können. Spezifische Lösungen für Heimnetze sind nicht Gegenstand der vorliegenden Betrachtung.

### 2.3.1 Festnetze

Beim NGA-Ausbau stehen Glasfasernetze im Fokus. Daher werden Festnetze in der Regel nach den unterschiedlichen Varianten der Glasfaserarchitekturen kategorisiert, wie z.B. FTTH, FTTB, FTTC. Häufig sind in diesen Architekturen jedoch faser- und kupferbasierte Festnetztechnologien kombiniert. Weiterhin sind nach wie vor reine kupferbasierte Architekturen relevant. Die folgenden Kapitel geben zunächst einen Überblick über die grundsätzlichen Architekturen und benennen die jeweils eingesetzten Technologien, bevor diese im Weiteren beschrieben werden.



### 2.3.1.1 Festnetz-Architekturen

#### 2.3.1.1.1 Fiber-to-the-Home (FTTH)

In einer FTTH-Architektur wird die gesamte Verbindung im Zugangsnetz durch Glasfasern bis zum Endkunden realisiert und erst in der Wohnung durch ein entsprechendes Abschlussgerät terminiert. Reine faserbasierte Architekturen erlauben die höchsten Übertragungsraten, sie sind praktisch nur durch die jeweils verwendete aktive Technik begrenzt.

Bei der in Abbildung 8 als erste dargestellte Punkt-zu-Punkt Architektur (P2P) wird jeder Endkunde durch eine eigene durchgehende Glasfaserstrecke mit dem HVt verbunden und damit ist diese Architektur bezüglich der Übertragungstechnologie universell einsetzbar. Mit entsprechender aktiver Technik sind Ethernet-PHY-Anbindungen – der Regelfall im Privatkundenumfeld –, für Geschäftskunden aber z.B. auch SDH, OTH und Ethernet-over-XX-Verbindungen realisierbar. Hier sind auch xWDM-Verbindungen mit mehreren Wellenlängenkanälen pro Kunde denkbar. Diese Architektur ist weiterhin für RF-Overlay zur Verteilung von TV-Kanälen in einem gesonderten Wellenlängenband geeignet. Den universellen Eigenschaften dieser Architektur steht der relativ höhere Aufwand gegenüber, um dedizierte Fasern von jedem Endkundenanschluss zum HVt zu führen, sowie die Anforderung in großen HVts, mehrere zehn- bis hundert Tausend Faseranschlüsse zu bewältigen.

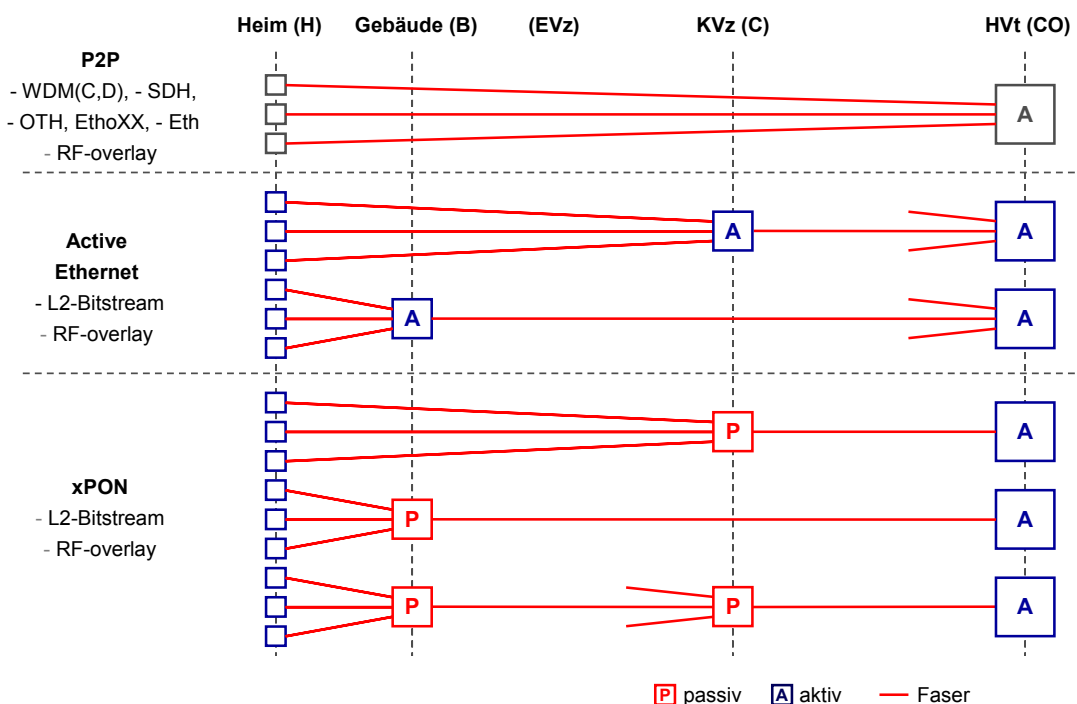


Abbildung 9: FTTH-Architekturen

Die zweite Gruppe stellt die Active-Ethernet-Architekturen dar. Durch die Aufspreizung entweder im KVz oder im Gebäude mit aktiver Technik können hier hohe Bandbreiten und große Entfernungen bei guter Faserökonomie erreicht werden. Insbesondere im Falle der Aufspreizung im KVz kann der operationelle Aufwand für die aktive Technik auf der Strecke zu berücksichtigen sein.

Die dritte Gruppe zeigt schließlich die xPON-Architekturen mit ein- oder zweifacher Aufspreizung durch passive Splitter. Die passive Technik bringt Kostenvorteile bei der Faserinfrastruktur, vergleichbar mit Active Ethernet, benötigt aber kein aktives Equipment im Feld. xPON-Zugangsnetze basieren auf gemeinsam genutzten Medien („Shared Medium“), was prinzipiell die Übertragungsrate einschränkt. Allerdings bestimmt auch hier wie bei den vorherigen Varianten die Leistungsfähigkeit der jeweils verwendeten aktiven Technik den erreichbaren Datendurchsatz. Ebenso wie bei der P2P-kann auch bei der PON-Architektur die TV-Signalverteilung durch RF-Overlay erfolgen.

### 2.3.1.1.2 Fiber-to-the-Building (FTTB)

In FTTB-Netzen kommen auf dem letzten Stück zum Kunden - im Kundengebäude - weiterhin Kupferkabel zum Einsatz. Die aktive Technik (Multi Dwelling Unit, MDU, z.B. Mini-DSLAM) befindet sich in aller Regel im Keller eines Gebäudes bzw. in der Nähe der bestehenden Hausverteilung. Da im Gebäude die Länge der Kupferleitung typischerweise unter 100 m liegt, lassen sich Übertragungsraten bis zu 100/100 Mbit/s (Downstream/Upstream) realisieren. Terminiert wird die Kupferstrecke mit einem VDSL2-Router (z.B. für Geschäftskunden) oder mit VDSL2-IADs. Sofern im Gebäude eine kupferbasierte Ethernetverkabelung vorhanden ist (CAT5 oder besser), kann In-house auch Ethernet zum Einsatz kommen. Zwischen der MDU und der Zentrale (CO) können unterschiedliche Netzstrukturen zum Einsatz kommen.

Im oberen Teil von Abbildung 10 ist ein optisches Anschlussnetz dargestellt, bei dem die MDU dediziert über eine oder zwei LWL-Fasern an einen zentralen Aggregationspunkt angeschaltet werden. Als Übertragungsprotokoll wird Gigabit-Ethernet (xGigE) verwendet.

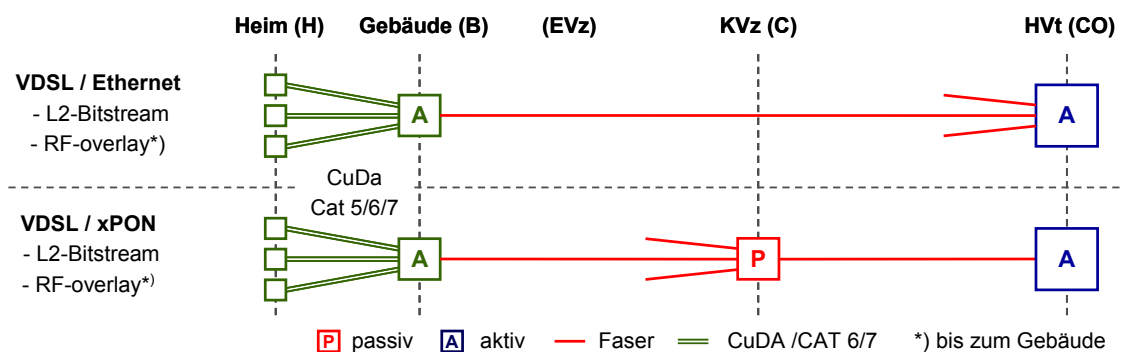


Abbildung 10: FTTB-Architekturen

In einer passiven optischen Netzstruktur (PON) teilen sich durch den Einsatz eines Splitters mehrere MDUs eine Faser, wobei hier ein spezielles Übertragungsprotokoll (vgl. Kapitel 2.3.1.2.3.4) für die logische Trennung auf dem „Shared Medium“ sorgt. Über den Splitter lassen sich Überbuchungsfaktoren einstellen, die heute üblicherweise zwischen 1:8 und 1:64 liegen.

Auf den optischen Schnittstellen lassen sich in beiden Netzstrukturen – je nach Ausführung – Entfernungen über 50 km zwischen Zentrale und MDU überbrücken. Das parallele Bereitstellen von TV über eine RF-Overlay-Funktion (1550 nm) ist prinzipiell in bei-

den Netzformen bis zum Gebäude möglich, wobei diese Option im GPON-Standard schon inkludiert ist.

#### 2.3.1.1.3 Fiber-to-the-curb (FTTC)

FTTC kann in Gebieten mit einer existierenden Telefonnetzinfrastruktur ein effizienter Zwischenschritt beim Breitband-Netzausbau in Richtung hin zu FTTH sein. Bei FTTC wird die Glasfaser bis zu einem geeigneten Verzweigungspunkt im Telefonnetz in der Nähe des Kunden (Curb = Bordsteinkante), in der Regel einem Kabelverzweiger (KVz) geführt. Dort wird das optische Transportnetz abgeschlossen und auf dem letzten Abschnitt vom KVz zum Kunden wird das Breitbandsignal mit einem xDSL-System übertragen. FTTC bietet einige Vorteile gegenüber FTTH:

- **Schnelle Flächenabdeckung**  
Während bei FTTH jede Wohnung individuell an das Glasfasernetz angeschlossen werden muss, versorgt ein KVz im Mittel ca. 200 Kunden. Ein flächendeckender FTTC-Ausbau ist daher in wenigen Jahren möglich.
- **Hohe garantierte Mindestdatenrate**  
Der mit xDSL zu überbrückende Verzweigungskabelabschnitt vom KVz zum Kunden beträgt typischerweise nur einige 100 m. Während beim Standardausbau mit ADSL vom HVt aus die Datenrate von der individuellen Distanz des Kundenstandortes zum HVt abhängt, kann der FTTC- Ausbau so geplant werden, dass eine Mindestdatenrate am fernen Enden garantiert werden kann. In dicht besiedelten Gebieten können in der Regel Datenraten im Bereich von typisch 20 Mbit/s für alle angeschlossenen Nutzer garantiert werden. Nutzer, mit Standort in der Nähe des KVz können dann sogar Spitzen von 50 Mbit/s erhalten. In dünn besiedelten Gebieten können aufgrund der längeren Verzweigungskabel in Einzelfällen nur Datenraten unter 10 Mbit/s erreicht werden.

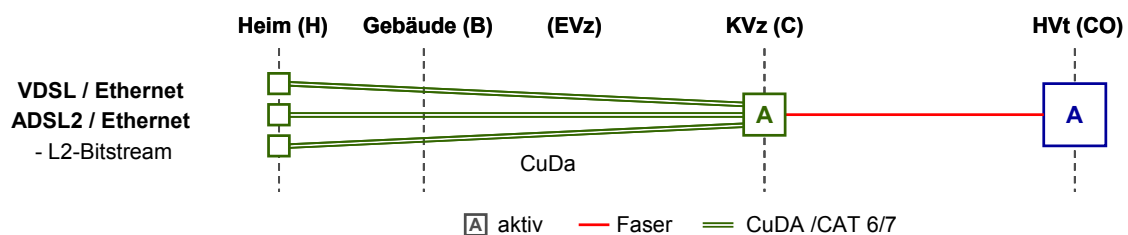


Abbildung 11: FTTC-Architektur

Die FTTC-Architektur wird oft auch als FTTN (Fiber-to-the-Node) bezeichnet. Der Begriff ist allerdings nicht eindeutig definiert und wird daher in diesem Dokument nicht weiter verwendet.

FTTC in Breitbandkabelnetzen wird, wie unten in Abbildung 14 skizziert, durch Fiber Nodes im KVz (Curb bzw. Cabinet) realisiert. Die Anbindung an die Kopfstelle bzw. den Cable- und TV-PoP erfolgt üblicherweise über eine Glasfaser für den Vorwärtsweg und eine Glasfaser für den Rückweg. Die Kopfstelle ist in der Topologie vergleichbar dem Central (CO) in der Abb. 11. Die Zuführung zum Fiber Node erfolgt üblicherweise unter mehrfacher Spreizung des Verteilweges über die 1. Faser. Der Rückweg vom Fiber

Node zum Head End erfolgt üblicherweise zunächst über eine separate 2. Faser mit unterschiedlichen Wellenlängen. Mehrere Rückwege werden nachfolgend mit Wellenlängenmultiplexern zur Übertragung auf einer gemeinsamen Faser zusammengefasst und in der Kopfstelle gleichermaßen wieder entbündelt. Dem Fiber Node nachgeschaltet sind noch mehr oder weniger große Teile des herkömmlichen, coaxialen Breitbandkabelnetzes in öffentlichem Grund (Netzebene 3) oder privatem Grund (Hausverteilanlagen, Netzebene 4). Je nach Bandbreitenbedarf können koaxiale Verstärkerpunkte in der Netzebene 3 wie vorstehend zu Fiber Nodes gewandelt werden. Im FTTC analogen HFC-Ausbau wird jeder koaxiale Verstärkerpunkt bzw. der betreffende KVz (Cabinet) zu FTTC.

Merkmal von FTTC in Breitbandkabelnetzes ist die durchgehende Übertragung des gesamten Frequenzspektrums eines Breitbandkabelnetzes mit allen Kanälen bzw. Signalen sowohl im optischen als auch im coaxialen Bereich (sog. RFOverGlas).

#### 2.3.1.1.4 Radio-to-the-curb (RTTC)

Die RTTC-Architektur gewinnt bei der Breitbanderschließung von Gebieten Bedeutung, in denen zwar eine klassische Telefoninfrastruktur mit Kupfer-Doppeladern vorhanden ist, die Verbindung zwischen HVt und KVz oder darüber hinaus mit Koaxialkabel oder Glasfaser aus ökonomischen oder geographischen Gründen zeitnah nicht realisierbar ist. Hierbei werden die KVz mit VDSL- oder ADSL-DSLAMs ausgerüstet und diese durch Richtfunk mit dem HVt verbunden.

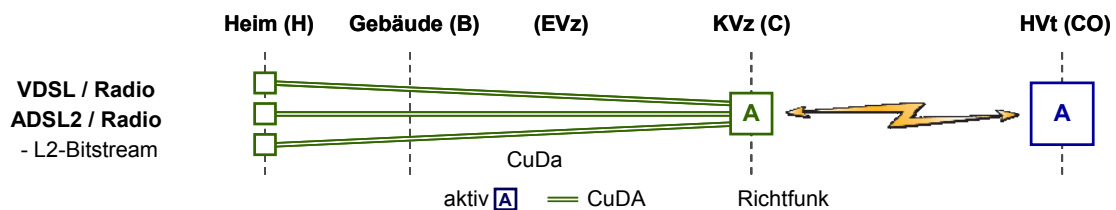


Abbildung 12: RTTC-Architektur

Ebenso wie bei FTTC sind die erreichbaren Übertragungsraten durch die Auslegung der VDSL/ADSL2-Anbindung zwischen KVz und Endkundenanschluss bestimmt. Darüber hinaus kann hier die Richtfunkstrecke ein begrenzender Faktor sein. Es ist zwar möglich, zur Erhöhung der Datenrate mehrere Richtfunkverbindungen parallel einzurichten, was jedoch nicht zuletzt wegen der erforderlichen Funkfrequenzen an ökonomische Grenzen stößt. Die RTTC-Architektur ist eine geeignete Variante zur Versorgung relativ dünn besiedelter Gebiete, stellt im Hinblick auf künftige sehr hohe Datenratenanforderungen für dichter besiedelte Gebiete aber eher eine mittelfristige Übergangslösung dar<sup>14</sup>.

<sup>14</sup> in 2009 wurden Frequenzbänder für die Nutzung durch Richtfunk zugelassen, die eine Übertragungsbandbreite von bis zu 10 Gbit/s erlauben

### 2.3.1.1.5 Koaxial-Breitbandkabel (COAX)

Koaxiale Breitbandkabelnetze bestehen zumeist aus einem übergeordneten primären Verteilnetz (Netzebene 3<sup>15</sup>) und in einem nachgeschalteten sekundären Verteilnetz auf privatem Grund (Netzebene 4, Hausverteilanlagen). Die Netzebene 3 ist in Baumstruktur (P2MP) realisiert, die Netzebene 4 sowohl in Baumstruktur, teilweise auch schon in Sternstruktur. In der Baumstruktur der Netzebene 3 können typischerweise bis zu 20 Hochfrequenz-Verstärker in der flächenhaften Erschließung des gesamten Versorgungsbereiches kaskadiert sein.

Das koaxiale Breitbandkabelnetz ist ein gemeinsam genutztes Medium („Shared Medium“) mit P2MP-Struktur. Vorwärts- und Rückweg werden in getrennten Frequenzbereichen auf demselben Kabel übertragen und sind in Bandbreite bzw. Übertragungskapazität zunächst unsymmetrisch. Im Vorwärtsweg wird der Frequenzbereich zwischen 85 MHz und 862 MHz, im Rückweg der Frequenzbereich bis 65 MHz genutzt. In Verteilrichtung verfügt das Breitbandkabelnetz mit den derzeit gebräuchlichen Übertragungsverfahren über eine äquivalente Übertragungskapazität von rund 4,7 Gbit/s.

Das Koaxial-Breitbandkabel diente in der Vergangenheit zur Einwegübertragung von analogen und digitalen Fernseh- und Radio-Signalen ausgehend von einem Zentralen Punkt. Aufgrund seines Potenzials die Signale bis zu einem bestimmten Grad in Ausbreitungsrichtung hin zum Kunden verstärken zu können wurde es errichtet, um möglichst viele Haushalte zu versorgen und kann hierbei ein enormes Ausbreitungsgebiet erreichen. Durch die mögliche Größe des Ausbreitungsgebietes und der dadurch sehr großen Anzahl von Teilnehmern lässt sich eine bidirektionale Übertragung hin zur Zentrale nur bedingt sinnvoll betreiben, da im Falle des genutzten Datendienstes jedes Endgerät zu einem Summenrauschen beitragen und die Effizienz des Signals immer weiter schmälern würde.

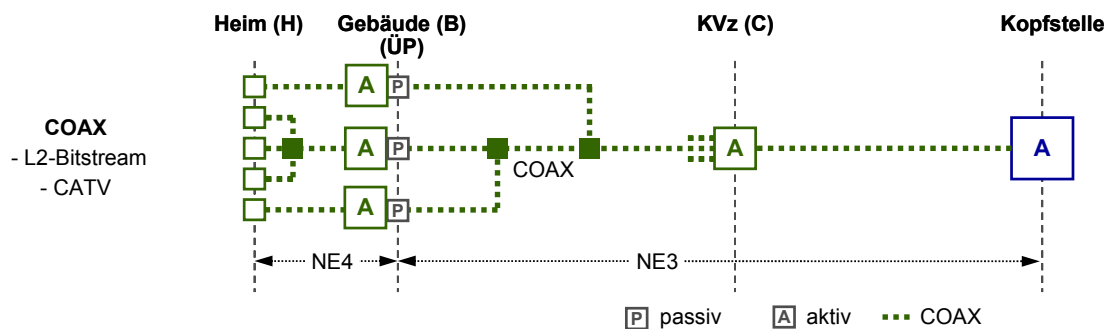


Abbildung 13: COAX-Architektur

Ausgehend von der herkömmlichen Verteilung von Fernseh- und Hörfunkprogrammen bestand zunehmend die Anforderung, Breitbandkabelnetze auch für Hochgeschwindigkeits-Internet, Telefonie und interaktive Dienste rückwegtauglich auszurüsten. Unter anderem aus diesem Grund hat man die Hybrid-Fiber-Coax-Architektur entwickelt und eingeführt. Sie ähnelt in gewisser Weise der FTTC-Architektur und wird nachfolgend erläutert.

<sup>15</sup> Netzebene 3 ist das Verteilnetz auf öffentlichem Grund bis zum Hausübergabepunkt

Reine COAX-Architekturen sind heute kaum mehr in Betrieb, sie wurden durch HFC-Architekturen erweitert (siehe folgendes Kapitel).

#### 2.3.1.1.5.1 Hybrid-Fiber-Coax-Architektur (HFC)

Da das Ausbreitungsgebiet in der reinen COAX-Architektur zu groß sein kann um von der Kundenseite aus noch effizient ein Signal erhalten zu können, wurde mit der HFC-Architektur ein Mittel geschaffen, das Ausbreitungsgebiet physikalisch zu verkleinern und die daraus entstehenden Zellen mittels Glasfaser vom HVt aus zu versorgen.

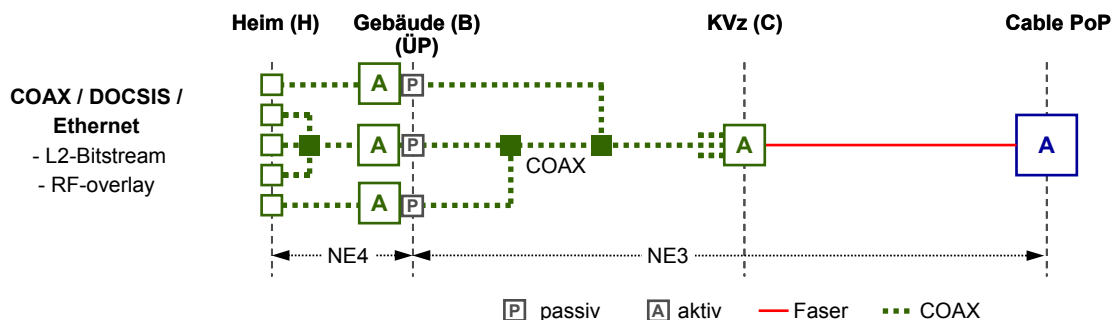


Abbildung 14: HFC-Architektur

Die FTTC-Architektur mit der CuDA ist der Hybrid-Fiber-Coax-Architektur nur bedingt ähnlich. Anders als bei einer CuDA, welche passiv nach dem P2P Prinzip vom KVz in die einzelnen Haushalte gebracht wird, kann das Signal in der HFC-Architektur nach dem KVz bis zu einem bestimmten Grad mehrmals verstärkt werden. Erfolgt die Lieferung des Signals über COAX vom KVz bis zum Gebäude noch passiv, so ist bei einer Liegenschaft mit mehreren Parteien die Verstärkung der Signale in den meisten Umständen unumgänglich. Auch ist hierbei zu beachten, dass das COAX in der Netzebene 4 zwischen Gebäudeeingang und der Wohneinheit (WE) einer dritten Partei gehören kann und somit auch die aktiven Komponenten, welche für die Verstärkung der Signale erforderlich sind.

Auf Grundlage der hier beschriebenen HFC-Architektur können neben der Verteilung des TV-Signals auch Internet- und Sprachdienste mit der DOCSIS-Technologie (siehe 2.3.1.2.2.1) realisiert werden.

Bedarfsorientiert und damit sukzessive oder bei vollständiger Neuerrichtung von NE3 Infrastruktur werden HFC-Netze dahingehend weiterentwickelt, dass die Glasfaser direkt zum Hausübergabepunkt (HÜP) geführt und somit in der NE3 vollständig auf Koax-Kabel verzichtet wird. Dieser Fall entspricht einer FTTB-Struktur, bei der nur noch die Inhouseverkabelung (NE4) als Coax-Kabel ausgeführt ist. Die Erweiterung des Glasfaserabschnitts auch auf den Inhousebereich (NE4) ist jedoch in absehbarer Zeit nicht zu erwarten und im Hinblick auf Zukunftssicherheit auch nicht erforderlich. Unter Verwendung der RFoG (Radio Frequency over Glass)-Technologie ist bei diesen FTTB-analogen Netzen die weitere Nutzung der DOCSIS-Komponenten (Cablemodem, CMTS) möglich.

#### 2.3.1.1.6 Ausblick – Open Lambda Initiative

Sowohl in Standardisierungsaktivitäten als auch in Initiativen von Herstellerfirmen und Netzbetreibern zeichnet sich das Interesse ab, im NGA-Kontext das Spektrum der Faserinfrastruktur durch Wellenlängenmultiplex (WDM) für mehrere aktive Netze zu öffnen. Durch den Einsatz von WDM in PON-Infrastrukturen können mehr Wellenlängen auf einer Glasfaser verwendet werden. Klassische PON-Infrastrukturen nutzen jeweils einzelne Wellenlängen als Up- und Downstream-Kanäle. Mit WDM können durch die Nutzung zusätzlicher Wellenlängen weitere Kanäle eingerichtet werden, wodurch der parallele Betrieb unterschiedlicher PON-Installationen auf derselben Glasfaserinfrastruktur möglich ist. Ein Beispiel ist die Festlegung von optischen Wellenlängen bei 10GPON für mehrere Implementierungen auf einer Faser – primär um die Koexistenz mit früheren PON-Generationen zu ermöglichen.

Durch den Einsatz von WDM ist es prinzipiell möglich, den parallelen Betrieb unterschiedlicher Technologien von verschiedenen Anbietern zu ermöglichen. Die Herausforderung besteht darin, eine Zugangsnetzarchitektur zu entwickeln, die das Nebeneinander unterschiedlicher Technologien ermöglicht und gleichzeitig einen Migrationspfad für zukünftige Innovationen bietet. 2010 wurde die Open-Lambda-Initiative (OLI) ins Leben gerufen, um Rahmenbedingungen für eine offene Netzarchitektur zu entwickeln, die den Anforderungen von zukünftigen optischen Zugangsnetzen gerecht wird (siehe [9]).

Kernelement von OLI ist eine offene Architektur, die das Spektrum der Glasfaser dynamisch aufteilt und somit eine Implementierung unterschiedlicher Technologien auf derselben Glasfaser ermöglicht. Hierzu müssen auch Regeln für die Verwaltung des verfügbaren Spektrums beschreiben werden, die einen störungsfreien parallelen Betrieb erlauben. Die Verwaltung und Zuteilung des verfügbaren Spektrums muss durch eine neutrale Instanz auf Grundlage eines entsprechenden Regelwerks erfolgen.

Alle verfügbaren Wellenlängen des Glasfasersystems – des Optical Distribution Network (ODN) - werden in einem Wavelength Pool dargestellt, einer elektronischen Datenbank für Wellenlängen. Dies kann eine einfache Tabelle, welche die Kanalzuordnung und Management-Informationen beschreibt, wie z. B. die freien, belegten Kanäle, reservierte und Notfall-Kanäle, Modulationsschemata, Datenraten von Dienstleistungsarten und Kanal-Kollisionserkennung-Informationen. Benötigt ein Betreiber Wellenlängen für die Bereitstellung eines Dienstes, werden sie dem Wavelength Pool entnommen oder im umgekehrten Fall wieder zurück gegeben. Die eigentliche Zuweisung der Wellenlängen oder Bänder erfolgt außerhalb des Pools in einem sogenannten Wavelength Hotel.

Das Grundprinzip ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

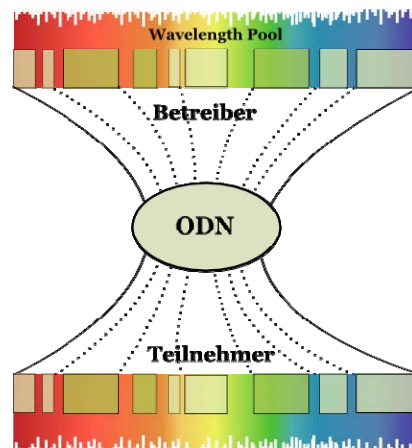


Abbildung 15: Wellenlängenorganisation in einem offenen Optischen Netz

Im Hinblick auf neue Technologien, bei denen hunderte von Wellenlängen auf einer Faser zu erwarten sind (z.B. bei WDM-PON, Kapitel 2.3.1.2.3.5) sowie auf den Betrieb von Systemen unterschiedlicher Netzbetreiber auf einer Faserstruktur muss man von einer automatisierten Zuordnung und Überwachung der Wellenlängen ausgehen. Die in solch einem Netzverbund beteiligten Systeme müssen mit entsprechenden Funktionen ausgestattet werden, was eine Standardisierung der Verfahren voraussetzt.

Bezogen auf das NGA Ebenenmodell ermöglicht die Organisation des Wellenlängenmultiplex zusammen mit der zugehörigen aktiven optischen Technik die Entbündelung der Netze auf Ebene 1.

Die Netzarchitektur des OLI-Konzeptes geht über die hier betrachteten Netzsegmente hinaus, es umfasst den „Metro-Access“-Bereich mit Ausdehnungen und optischen Übertragungsdistanzen bis zu einigen zehn Kilometern. Es ist topologieunabhängig und lässt somit PON-, Maschen-, Ring- und Punkt-zu-Punkt sowie deren Kombinationen zu.



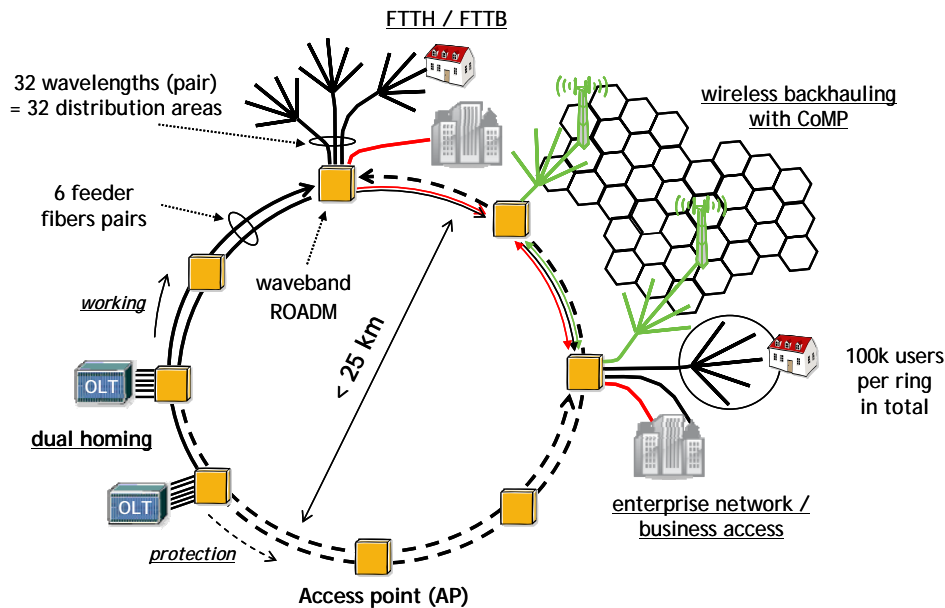


Abbildung 16: OLI-Beispiel – „Converged Metro-Access“ in einer Ring-Topologie<sup>16</sup>

Abbildung 16 zeigt als Beispiel einen Metro-Ring mit mehreren Waveband ROADMs (Reconfigurable Optical Add Drop Multiplexer, beinhalten u.a. auch optische Verstärker), über den unterschiedliche Wellenlängenverbindungen geführt werden:

- Direktverbindungen zwischen Geschäftskundenlokationen (rot gekennzeichnet)
- Range extended PONs mit zentralisierten OLTs (schwarz gekennzeichnet)
- S1-Schnittstellenverbindung zwischen LTE Subnetzen sowie LTE X2-Backhauling (grün gekennzeichnet)

Die OLI-Vision sieht eine dynamische Zuordnung, Überwachung und Verwaltung der Wellenlängen vor, was entsprechende Anforderungen an die beteiligten Netzknoten stellt. Weiterhin werden alternative Wellenlängenraster diskutiert, zum Einen zwischen C- und D-WDM, zum Anderen auch darüber hinaus in den Ultra-DWDM-Bereich.

Die OLI wird Rahmen für Netzlösungen vorgeben, welche Aspekte bezüglich Wellenlängenmultiplex berücksichtigt werden und welche Funktionalitäten enthalten sein müssen. Spezifische neue Technologievarianten sollen nicht erarbeitet werden, sie bleiben den einzelnen Herstellern überlassen und werden in der Folge jeweils Themen der Standardisierung sein. OLI adressiert daher mittel- bis langfristige Netzlösungen. Weniger elaborierte Varianten des Konzepts z.B. mit statischer Wellenlängenzuordnung und C- bzw. D-WDM-Technik sind jedoch kurzfristig realisierbar (siehe auch [9], [10], [11]).

<sup>16</sup> Quelle: Open Lambda Initiative

### 2.3.1.2 Festnetz-Technologien

#### 2.3.1.2.1 Kupferanschlussbasierte Technologien

Die kupferbasierte Teilnehmeranschlussleitung verläuft als dedizierte Leitung von der Teilnehmeranschlusseinrichtung (TAE) des Endkunden über Endverzweiger und Kabelverzweiger (KVz) bis zum Hauptverteiler (HVt). Dort endet der dedizierte Teil der Leitung und wird in die konzentrierenden Einrichtungen des PSTN/ISDN bzw. des Breitbandnetzes (DSLAM) überführt.

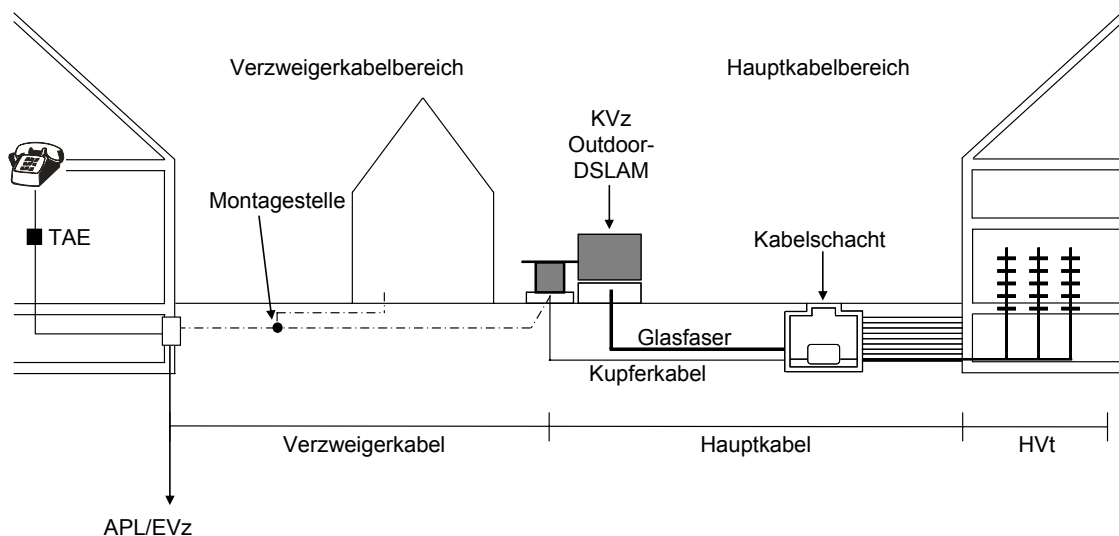


Abbildung 17: Anschlussnetz

Die kupferbasierte Teilnehmeranschlussleitung bildet die Grundlage für das Angebot digitaler Teilnehmeranschlussleitungen (Digital Subscriber Line, DSL), bei der eine Datenübertragung mit hohen Übertragungsraten durch den Einsatz unterschiedlicher DSL-Standards möglich ist. Diese Standards werden mit dem Begriff xDSL zusammengefasst. Man unterscheidet folgende Techniken:

- ADSL = Asymmetric DSL
- HDSL = High Bitrate DSL
- SDSL = Symmetrical DSL
- VDSL = Very high Bitrate DSL

Alle diese Systeme setzen zur digitalen Datenübertragung auf die vorhandene Kupferverkabelung auf. Ausgangspunkt ist die unvollkommene Auslastung der Bandbreite (höhere Frequenzen), die herkömmliche Kupferdoppeladern zur Verfügung stellen. Anstatt die im Sprachverkehr üblichen Frequenzen bis 4 kHz zu belegen, können bei xDSL-Systemen Bereiche von mindestens 200 kHz bis 30 MHz verwendet werden.

ADSL und VDSL gehören zu den asymmetrischen Übertragungsverfahren für die Teilnehmeranschlussleitung (TAL). Sie stellen die am weitesten verbreitete DSL-Technik im privaten Bereich dar. Asymmetrische Verfahren wie ADSL oder VDSL haben unterschiedlich hohe Datenraten in beide Richtungen des Datenstroms.

Ein gleichzeitiger Betrieb von Sprach- und Breibandverkehr auf einer Leitung wird durch den so genannten Splitter ermöglicht. Dieser teilt die Leitung in zwei Frequenzbänder auf und muss entsprechend in der Vermittlungsstelle sowie beim Teilnehmer installiert werden.

| Technologie | Beschreibung                   | ISDN/<br>PSTN<br>parallel | Max. theor.<br>Reichweite<br>*1 (km) | Bitrate *1<br>max. theor.<br>(MBit/s) | Bitrate *2<br>Upstream | Bitrate *2<br>Downstream | Referenz<br>(Standards) |
|-------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|
| ADSL        | Asymmetric DSL                 | ja                        | 4,4                                  | 8,2                                   | 640 kBit/s             | 8 MBit/s                 | TS 101 388<br>G.992.1   |
| ADSL2       | Asymmetric DSL                 | ja                        | 5,5                                  | 8,2                                   | 800 kBit/s             | 8 MBit/s                 | G.992.3                 |
| ADSL2+      | Asymmetric DSL                 | ja                        | 5,5                                  | 16                                    | 1 Mbit/s               | 16 MBit/s                | G.992.5                 |
| HDSL        | High Bitrate DSL               | nein                      | 2,0                                  | 2,3                                   | 2,3 Mbit/s             | 2,3 Mbit/s               | TS 101 135<br>G.991.1   |
| S(H)DSL     | Symmetrical (high bitrate) DSL | nein                      | 2,5 (ohne Repeater)                  | 2,3                                   | 2,3 Mbit/s             | 2,3 Mbit/s               | TS 101 524<br>G.991.2   |
| VDSL(1)     | Very high bitrate DSL          | ja                        | 1,5                                  | 52                                    | 52 Mbit/s              | 52 Mbit/s                | TS 101 270 x<br>G.993.1 |
| VDSL2       | Very high bitrate DSL          | ja                        | 1,5                                  | 100                                   | 100 Mbit/s             | 100 Mbit/s               | TS 101 270 x<br>G.993.2 |

\*1 Diese Werte sind von einander abhängig wie oben beschrieben. Es können nicht gleichzeitig beide Maximalwerte erreicht werden. Der maximalen Reichweite entspricht die niedrigste Übertragungsrate bzw. der höchste Übertragungsrate die kürzeste Reichweite

\*2 Die Werte umfassen beide Abschnitte („letzte Meile“ und „Zubringer“) und werden somit auch schon durch die „Überbuchung“ beeinflusst.

Tabelle 1: xDSL-Übersicht

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die verschiedenen DSL-Arten, die in den folgenden Kapiteln näher beschrieben werden, und fasst deren charakteristische Parameter zusammen.

Abbildung 18 zeigt die Abhängigkeit der erreichbaren Downstream-Datenrate von der Länge der Anschlussleitung (Typ ETSI PE04 mit 0.4 mm Aderndurchmesser). Es handelt sich hier um Messungen. Es ist zu beachten, dass die Absolutwerte insbesondere von der Dämpfung und dem Rauschen in der Kupfer-Doppelader abhängen. Das relative Verhalten der verschiedenen DSL-Varianten bleibt aber auch für andere Parameterwahl ähnlich.

ADSL2+ erreicht bei kurzen Leitungslängen Maximalwerte von rund 20 Mbit/s. Bei Längen über etwa 1,5km fallen die Bandbreiten jedoch stark ab, so dass bei 3 km nur noch knapp 1 Mbit/s erreicht werden. Bei kurzen Leitungslängen liefert VDSL weit höhere Datenraten. Für Leitungslängen unter 500m ist hier das Profil 17a, oberhalb das

Profil 8b besonders geeignet. Ab etwa 1,5km ist die mit VDSL erreichbare Datenrate jedoch nicht mehr höher als bei ADSL2+, die beiden DSL-Varianten sind hier in etwa deckungsgleich (zumindest für das Profil 8b). Am wenigsten entfernungsabhängig ist SDSL. Während bei kurzen Leitungslängen selbst mit SDSL.bis nur moderate 5,7 Mbit/s erreicht werden, fällt die Datenrate nur relativ langsam mit der Entfernung ab. Ab einer Leitungslänge von knapp 3 km liegt die mit SDSL erreichbare Rate deutlich oberhalb aller anderen DSL-Varianten.

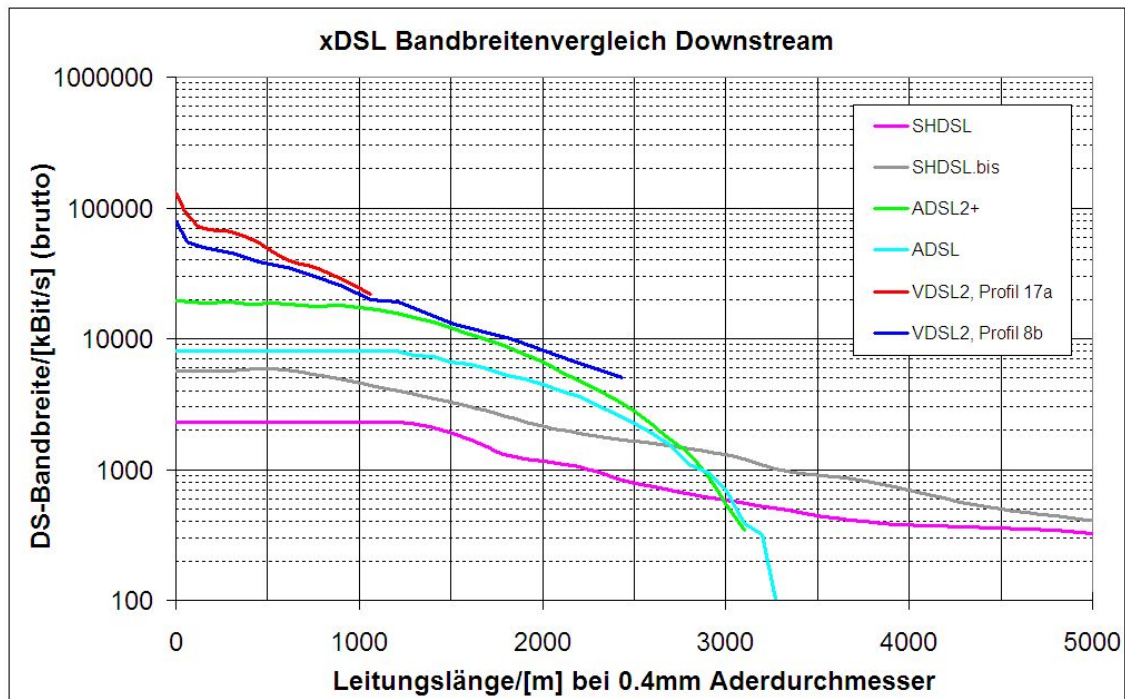


Abbildung 18: Abhängigkeit Bandbreite/Reichweite bei DSL

#### 2.3.1.2.1.1 ADSL

ADSL-Anschlüsse basieren auf einer asymmetrischen Datenübertragungstechnologie, die zumeist einen höheren Downstream als Upstream ermöglichen. Man unterscheidet zwischen den Verfahren ADSL, ADSL2 und ADSL2+

Bei ADSL sind in Abhängigkeit von der Dämpfung bzw. der Eigenschaften der Kupferdoppelader zwischen Hauptverteiler und dem Standort des Endkunden sowie des genutzten Verfahrens (ADSL, ADSL2, ADSL2+) Bandbreiten von bis zu 1 Mbit/s Upstream und bis zu 16 Mbit/s Downstream erreichbar. ADSL2+ ist als eine stetige Weiterentwicklung der kupferbasierten Anschlusstechnik von ADSL über ADSL2 zu ADSL2+ zu verstehen.

Durch die Möglichkeit, ADSL2+ Leitungen zu bündeln (Bonding), ist die angebotene Bandbreite weiter nach oben skalierbar.

Aufgrund der begrenzten Übertragungsraten sind die ADSL-Varianten für NGA nur in Ausnahmefällen relevant.

#### 2.3.1.2.1.2 VDSL

VDSL ist ein Übertragungsverfahren, das die Kupferdoppelader der Teilnehmeranschlussleitung im Anschlussnetz nutzt. Durch die ITU wurden zwei verschiedene Standards VDSL (ITU-T G.993.1) und VDSL2 (ITU-T G.993.2) verabschiedet. Gegenüber anderen DSL-Varianten (wie z.B. ADSL) ermöglicht beispielsweise VDSL2 über die Kupferdoppelader die Bereitstellung von Übertragungsraten bis zu 100 Mbit/s (symmetrisch). Dies wird durch die Nutzung des Frequenzbereiches bis 30 MHz ermöglicht. Die VDSL2 Technik ist abwärtskompatibel mit ADSL 2+.

VDSL-Produkte unterscheiden sich von ADSL- und SDSL-Produkten durch eine Modulation in einem sehr viel größeren Frequenzspektrum, wodurch sehr hohe Bandbreiten (bis 55 Mbit/s) möglich werden. VDSL2 –12 MHz long reach (Very-high-data-rate DSL 2) kann unter günstigen Bedingungen downstream hohe Bandbreiten bis 55 Mbit/s erlauben. Die VDSL2–30MHz short reach-Variante ermöglicht sogar 100 Megabit/s als Bandbreite.

Neben der Leitungslänge sind der Leitungsdurchmesser sowie die Schirmung in den Kabelsträngen ein limitierender Faktor. Bedingt durch die Eigenschaften der kupferbasierten Teilnehmeranschlussleitung können die hohen Übertragungsraten dem Endkunden nur über eine wenige hundert Meter lange Distanz angeboten werden. Je länger die Leitung ist, desto niedriger ist die obere Grenzfrequenz für die Übertragung. In Folge wird notwendigerweise der Digital Subscriber Line Access Multiplexer (DSLAM) vom Hauptverteiler zum Kabelverzweiger verlagert (Outdoor-DSLAM). Der Outdoor-DSLAM kann über eine Glasfaseranbindung mit dem Konzentratornetz verbunden sein.

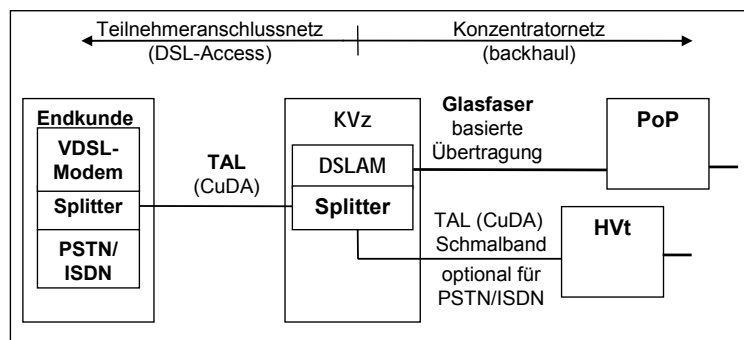


Abbildung 19: VDSL-Architektur

Die VDSL-Architektur ist in Abbildung 19 gezeigt. Die Installation von Splitttern beim Endkunden und im KVZ kann entfallen, sofern auf Schmalbandtelefonie verzichtet und stattdessen z.B. VoIP eingesetzt wird.

#### 2.3.1.2.2 Koaxialkabelbasierte Technologien

Koaxialkabelbasierte Technologien als Bestandteil von Breitbandkabelnetze nutzen derzeit den Frequenzbereich bis 862 MHz als Shared Medium überwiegend in baumähnlichen Netzstrukturen. Eine Ausweitung auf rund 1 GHz ist denkbar.

Den Beschränkungen des Shared Medium steht eine von Anbeginn außerordentlich große Bandbreite von 800 MHz und eine äquivalente Übertragungskapazität von nahezu 5 Gbit/s gegenüber, die unter Verwendung des DOCSIS-Standards in vorteilhafter

Weise genutzt und durch eine immer tiefer gehende Segmentierung des Netzes unter Einbringung von Glasfasern bzw. durch FTTC sowie FTTB erhalten werden kann.

Eine nochmalige, spätere Ausweitung koaxialer Netzstrukturen auf rund 2.5 GHz stellt grundsätzlich kein Problem dar, sofern die Netze zwischenzeitlich mit FTTB ausreichend entwickelt sind und die koaxiale Verteilung sich somit auf die Hausverteilanlagen (Netzebene 4) beschränkt. Die erforderliche Technik bis 2,5 GHz ist von Satellitenempfangsanlagen bereits eingehend bekannt und erprobt. Im Wesentlichen müssen nur die derzeit verwendeten Endgeräte in den maßgeblichen Normen und Standards rechtzeitig angepasst und ins Feld gebracht werden.

Aktuell und auf absehbare Zeit besteht jedoch noch nicht die Notwendigkeit für eine derartige Leistungssteigerung.

#### 2.3.1.2.2.1 DOCSIS

DOCSIS wurde für die bidirektionale Datenübertragung in COAX- und HFC-Architekturen geschaffen. Für die europäischen Gegebenheiten gibt es die Erweiterung EuroDOCSIS, welche sich aber im Wesentlichen auf die Anpassung der europäischen Kanalaraster in Empfangsrichtung im Breitbandkabelnetz beschränkt. DOCSIS gehört zu den Schicht 2-Protokollen. Es stellt aufgrund seines Mechanismus und der darunter liegenden COAX- und HFC-Architektur ein „Shared Medium“ dar und ist der P2MP-Architektur zuzuordnen. Dies bedeutet dass sich alle Kunden in einer Zelle bzw. einem Netzsegment den verfügbaren, maximalen Datendurchsatz teilen müssen. DOCSIS stellt dem Kunden einen vollwertigen Ethernetanschluss über ein Kabelmodem zur Verfügung. Der mögliche Datendurchsatz wird durch das Scheduling der CMTS und der verfügbaren Anzahl von Empfangs- und Sendekanälen bestimmt:

| EuroDOCSIS |                       |                       |
|------------|-----------------------|-----------------------|
| Version    | Downstream            | Upstream              |
| 1.x        | 55.62 (50) Mbit/s     | 10.24 (9) Mbit/s      |
| 2.0        | 55.62 (50) Mbit/s     | 30.72 (27) Mbit/s     |
| 3.0        | M * 55.62 (50) Mbit/s | N * 30.72 (27) Mbit/s |

Tabelle 2: DOCSIS-Übertragungsraten

Dabei schreibt DOCSIS 3.0 vor, dass die Kabelmodems mindestens bis zu vier Kanäle in beide Richtungen unterstützen müssen. Ob diese dann aber auch genutzt werden liegt alleine beim Betreiber. Demnach sind downstream mindestens bis zu ca. 200 Mbit/s und upstream bis zu ca. 100Mbit/s möglich. Aufgrund der variierenden Größe der Zellen bzw. der Netzsegmente und der dadurch versorgten Anzahl von Kunden, die sich darin befinden, variiert der Überbuchungsfaktor sehr stark und bedarf einer kontinuierlichen Überwachung der Ressourcen.

Die Gegenstelle der Kabelmodems stellt das Cable Modem Termination System (CMTS) dar und ist in der Carrier Grade Klasse nur als Layer 3 Router verfügbar, welcher über das so genannte Network Side Interface (NSI) den IP-Verkehr des Kunden an das Backbone des Betreibers weitergibt.

Obgleich die Kabelmodems zwischen dem Breitbandkabelnetz und den Kunden selbst als Bridge-Device auftreten, müssen sie sich beim Verbindungsaufbau zuerst am CMTS registrieren. Diese Registrierung erfolgt nach Ablauf von Layer 2 Funktionen wie Ranging mittels DHCP und TFTP. Die Festlegung der Geschwindigkeit für den Kunden erfolgt durch das Kabelmodem nach Auswertung der vom Netz bereit gestellten Konfigurationsdateien. Dieser Umstand muss beim Design des Provisioning Systems und besonders bei der Auswahl der Endgeräte beachtet werden.

DOCSIS ist, bedingt durch die Verwendung in einer COAX- oder HFC-Architektur, in welcher ein Teil der Signalübertragung durch COAX-Leitungen läuft, elektromagnetischen Störeinflüssen ausgesetzt und bedarf einer aktiven sowie proaktiven Überwachung des Übertragungsweges, insbesondere des Rückwegs. Mit der Anschaltung jeder aktiven Liegenschaft steigt die Gefahr, dass der Signalpfad vom Kunden in den CMTS-Standort (CablePoP) verunreinigt wird. Das kann dazu führen, dass eine Störung von nur einem Teilnehmeranschluss alle Kunden in der jeweiligen Zelle bzw. dem Abschlussegment negativ beeinflusst. Daher ist es unabdingbar, für möglichst sorgfältig installierte Liegenschaften – insbesondere in den NE4 Hausverteilnetzen - in der Zelle zu sorgen, um einen Dienst via DOCSIS in hoher Qualität anbieten zu können.

Ein Layer-2 Ethernet Bitstrom Produkt ist in DOCSIS basierten Netzen zwar prinzipiell denkbar, in der heute typisch verwendeten Netzkonfiguration jedoch weder vorgesehen noch ohne weiteres realisierbar. Das CMTS terminiert dabei im DOCSIS Protokoll und stellt die IP-Schnittstelle bereit. Damit ist eine Ethernet Layer 2 Übergabe entsprechend der Eigenschaften der A10 NSP Schnittstelle derzeit nicht realisierbar und ist auch kein Bestandteil des derzeitigen DOCSIS Standards. QinQ Mechanismen sind im derzeitigen DOCSIS Standard ebenfalls nicht vorgesehen.

Die Bereitstellung eines Layer 2 Ethernet Bitstroms entsprechend der definierten A10 NSP Schnittstelle erfordert daher in DOCSIS Netzen umfangreiche Anpassungen des Standards und der erforderlichen Software. Insbesondere auch die Installation weiterer, nur für diesen Zweck erforderlicher Hardware ist notwendig. Darüber hinaus könnten Layer 2 QoS Anforderungen nur durch statische Zuweisung von Kapazitäten im DOCSIS Netz erfüllt werden. Eine derartige statische Zuweisung von Kapazitäten würde jedoch die derzeitige Effizienz im Hinblick auf die Belegung und Nutzung der verfügbaren Kapazität im Kabelnetz erheblich beeinträchtigen.

### 2.3.1.2.3 Glasfaserbasierte Technologien

#### 2.3.1.2.3.1 Wellenlängenmultiplex (C-WDM, D-WDM)

Beim Wellenlängenmultiplex (WDM, Wavelength Division Multiplex) werden mehrere optische Signale unterschiedlicher Wellenlänge bzw. Farbe durch Laser erzeugt, mit einem optischen Multiplexer zusammengefasst und auf einer Faser gemeinsam übertragen. Auf der Empfängerseite werden die Signale durch passive optische Filter wieder getrennt und in opto-elektrischen Empfängern ausgewertet.

Je nach Anforderungen an Kanalzahl, Übertragungsdistanz und Bandbreite der optischen Kanäle kommen unterschiedliche Verfahren zum Einsatz. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen C-WDM (Coarse WDM) und D-WDM (Dense WDM).

- C-WDM-Systeme haben optische Kanalabstände von 2,5 THz und erlauben die Realisierung kostengünstiger WDM-Systeme mit bis zu 40 Kanälen und Reich-

weiten im Bereich von 50 km. Typisch sind hier Übertragungsraten von 1 bis 10 Gbit/s pro Kanal

- Für D-WDM-Systeme sind Kanalabstände von 12,5 bis 100GHz standardisiert. Sie erlauben bis zu 160 Kanäle pro Faser bei entsprechend hohen Anforderungen an die opto-elektrischen Komponenten. In Kombination mit komplexen Modulationsverfahren sind derzeit Übertragungsstrecken mit 80 mal 100 Gbit/s-Kanälen über Distanzen von einigen hundert Kilometern möglich, was einer Übertragungsrate von 8 Tbit/s pro Faser entspricht.

Der Aufwand für Wellenlängenmultiplex wird dort getrieben, wo der Bedarf an Übertragung mehrerer Wellenlängen bei gleichzeitigem Mangel an parallelen Glasfasern bzw. hohen Faserkosten besteht. In Weitbereichs-Transportnetzen sind die Bedingungen für den Einsatz von DWDM-Systemen in der Regel erfüllt.

Im Zugangnetz sind die Anforderungen an Anzahl von WDM-Kanälen pro Faser, Bandbreite pro Kanal sowie an Übertragungsdistanzen geringer. Gleichzeitig ist der Kostendruck bei der Anbindung von Endkundensystemen sehr hoch. Hier kommen daher eher CWDM-Systeme zum Einsatz.

Eine WDM-Direktanbindung ist für Standorte von Geschäftskunden relevant, die mehrere separate Festverbindungen hoher Bandbreite z.B. zu anderen Standorten, Cloud- oder Data-Center benötigen. Mit der absehbaren Zunahme solcher Dienste wird entsprechend die Bedeutung der WDM-Anbindungen wachsen. Diese Konfiguration ist eine Variante der FTTH-Architektur (siehe 2.3.1.1.1), bei der über eine Faser mehrere auf Ebene 1 separierte Verbindungen laufen.

Der Einsatz von WDM empfiehlt sich weiterhin für Wellenlängen-Festverbindungen in einer Baumstruktur, insbesondere bei großen Distanzen zwischen den Endkunden und dem HVt. Architekturell stellt diese Lösung eine Mischform von FTTH und FTTC dar. Hierbei wird zwischen HVt und KVz ein WDM-System eingesetzt, um einerseits Fasern einzusparen und um andererseits Entfernungen von einigen 10km zu überbrücken. Im KVz werden die Wellenlängen separiert und über dedizierte Fasern an die einzelnen Kunden weitergeleitet, wie in Abbildung 20 dargestellt.

Das WDM-Prinzip ist grundsätzlich offen bezüglich der Art der Kundenschnittstellen, da die Wellenlängen terminierenden Komponenten, die Transponder, für unterschiedliche Kundenschnittstellenformate ausgelegt werden können. So sind z.B. CWDM- und DWDM-Transponder für 10G SDH (STM64), für 10G OTH (ODU2) und 10G Ethernet LAN verfügbar bis hin zu Transpondern, die sich für unterschiedliche Schnittstellenformate der gleichen Bandbreitenklasse konfigurieren lassen.



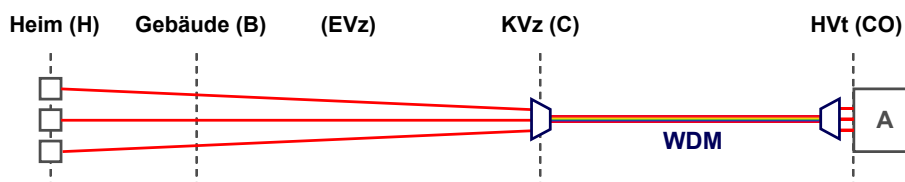


Abbildung 20: WDM für Direktanbindungen

Es ist daher auch möglich, über eine WDM-Anbindung, also eine Faser, unterschiedliche Festverbindungsprodukte sowohl bezüglich des Schnittstellentyps als auch der Bandbreite zu führen.

#### 2.3.1.2.3.2 RF-Overlay

Das Prinzip der Einwegübertragung von analogen und digitalen Fernseh- und Radio-Signalen ausgehend von einem zentralen Punkt ist im Rahmen der Koaxial-Breitbandkabel beschrieben. Hierbei werden den Endkunden alle Kanäle als Broadcast parallel zur Verfügung gestellt, die Auswahl des jeweils gewünschten Kanals erfolgt im Endkundengerät.

In einer Reihe von Glasfaserarchitekturen kann dieses Prinzip als sogenanntes „RF-Overlay“ (auch: Video-Overlay) zur Anwendung kommen (siehe auch Kapitel 2.3.3). Hierbei wird ein dediziertes Wellenlängenband für den Broadcast solcher Kanäle verwendet, wie es z.B. für TDM-PONs standardisiert ist (vgl. Tabelle 3).

Der wesentliche Vorteil des RF-Overlay liegt darin, dass die „shared“ Bitstrom-Ressourcen der Ebenen 2 und 3 entlastet werden und komplett für die kundenspezifischen Bitstrom-Dienste zur Verfügung stehen. Pro Kundenschluss kann entsprechend mehr Bandbreite bereitgestellt werden.

Dieser Vorteil relativiert sich allerdings, sobald VoD- und TV-Streaming-Dienste den dominierenden Verkehrsanteil stellen und die Bitstrom-Bandbreiten entsprechend dimensioniert werden müssen. Broadcast-TV-Programme werden jeweils alternativ zu den genannten Diensten konsumiert, so dass sich ein zusätzlicher, separierter Übertragungskanal erübrigt.

#### 2.3.1.2.3.3 Active Ethernet

Der Begriff „Active Ethernet“ wird im NGA-Kontext nicht einheitlich verwendet. Im Folgenden werden darunter Architekturen verstanden, in denen die Verbindung durchgängig bis zum Endkunden über Ethernet-Knoten geführt werden.

Prinzipiell kann der Begriff „Active Ethernet“ für alle FTTH-Architekturvarianten angewendet werden, in der die Endkunden über Punkt-zu-Punkt-Anbindungen mit Ethernet-Switchen<sup>17</sup> verbunden sind, also auch für die P2P-Architektur in Kapitel 2.3.1.1.1, Abbildung 9, sofern diese mit Ethernet realisiert ist. In der Regel wird mit „Active Ethernet“ jedoch die Variante verknüpft, in der die Aggregation der Endkundenanbindungen in üblicherweise (bzw. mindesten) zwei aktiven Stufen erfolgt. Die erste Aggregationsstufe kann sich im Gebäude oder im KVz befinden (siehe Abbildung 21).

<sup>17</sup> Active Ethernet kann auch mit Routern realisiert werden

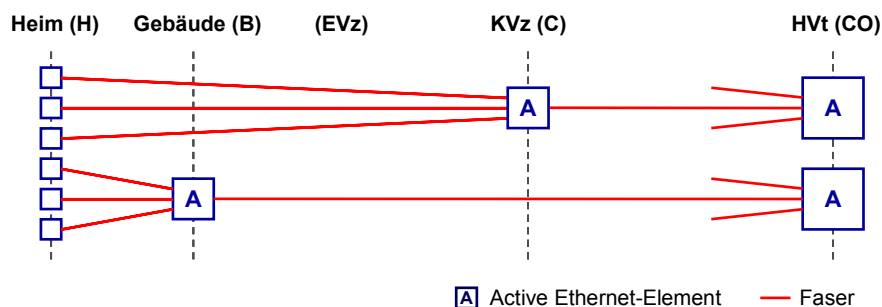


Abbildung 21: Active Ethernet

Active Ethernet bietet eine Reihe von Vorteilen. Zum einen steht die Übertragungskapazität der Glasfaserstrecke zwischen Heim und erstem Ethernet-Switch dem Endkunden exklusiv zur Verfügung. Am Kundenanschluss können dedizierte Übertragungsraten zur Verfügung gestellt werden, z.B. auch symmetrisch, die über die Ethernet-Switches flexibel einstellbar und administrierbar sind. Die Bandbreite ist prinzipiell nur durch die eingesetzte aktive Technik begrenzt und kann daher auch sehr hohe Übertragungsraten für zukünftige hochbitratige Dienste unterstützen.

Zum anderen ermöglicht diese Architektur die Überbrückung großer Distanzen zwischen Heimanschluss und HVt, was z.B. im Rahmen einer Standortkonsolidierung von Bedeutung sein kann. Durch die Aggregation in einem KVz verdoppelt sich prinzipiell die Reichweite, da zwei optische Strecken in Serie involviert sind.

Schließlich bietet Active Ethernet die gleiche günstige Faserökonomie wie passive Optische Netze. Die mehrstufige Aggregation reduziert den Aufwand für die Faserstrecken sowie die Anzahl der anzubindenden Fasern in HVt.

Den unstrittigen Vorteilen bezüglich Flexibilität, Bandbreiten- und Reichweitengrenzen stehen jedoch die Kosten für deren volle Ausnutzung gegenüber. Sehr hohe Bandbreiten erfordern entsprechend leistungsfähige Switches, große Reichweiten leistungsfähige optische Schnittstellen nicht nur in den Aggregationsknoten. Grundsätzlich fordern die dezentralen aktiven Knoten operationellen Aufwand für Stromversorgung, Temperaturüberwachung/ Klima, Wartung und Administration der einzelnen Kundenanschlüsse.

Im NGA-Kontext sind Ethernet-Switches zur Realisierung von Active Ethernet ausreichend, sofern sie die Anforderungen zur Bereitstellung der Layer-2-Bitstromprodukte erfüllen (siehe Kapitel 2.5.2). Aus betrieblicher Sicht kann es jedoch sinnvoll sein, z.B. zur Skalierung in größeren Zugangsnetzsegmenten bzw. für Netz-Schutzmechanismen Switch-Router einzusetzen.

#### 2.3.1.2.3.4 PON-Plattformen

PON-Plattformen sind grundsätzlich für alle FTTx-Architekturen geeignet. PON-Netztopologien in Einfach- oder Doppelsternstruktur sind die häufigste Ausbauvariante, wobei die Verzweigungselemente vom Typ 1:n (n=Anzahl der Verzweigungen) üblicherweise an zentralen Standorten in der Nähe der anzuschließenden Kunden untergebracht werden, um so auch die Infrastrukturkosten zu optimieren. Als Verzweigungselement werden optische Leistungskoppler eingesetzt. PON benötigt im Gegensatz zu Active Ethernet keine aktiven Verteiler im Feld und somit dort auch keine Stromversorgung. Der Leistungsbedarf ist bei PON-Plattformen grundsätzlich insgesamt geringer.

Bei einem PON sind die Netzabschlüsse auf der Kundenseite, die Optical Network Units (ONUs), über das Glasfasernetz in Baum- oder Sternnetzstruktur mit der Kopfstation, dem OLT (Optical Line Termination), verbunden. Der OLT ist das zentrale Element, steuert und überwacht den Betriebsablauf und weist die Datenkanäle mit den gewünschten Übertragungskapazitäten den ONUs individuell zu. Während aktive Ethernet-Architekturen  $2(n+1)$ ,  $n$ =Aufteilungsfaktor, aktive opto-elektrische Umsetzer (Transceiver) benötigen erfordert das PON daher nur halb so viele Komponenten  $(n+1)$ .

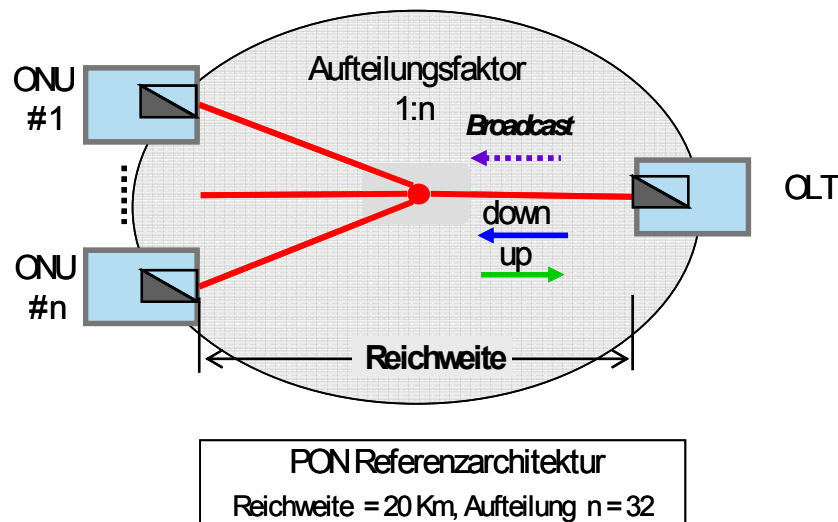


Abbildung 22: Referenzarchitektur TDM-WDM PON

Während ursprünglich unter „PON“ ausschließlich die Technikplattform mit logischer Kanaluweisung verstanden wurde, hat sich im Laufe der Zeit diese Bedeutung gewandelt. Inzwischen werden darunter allgemein die Techniken verstanden, die auf einer P2MP-Glasfaser-Netzstruktur betrieben werden können.

Unterscheidet man daher nach der Art und Weise, wie die einzelnen ONUs auf die Datenkanäle des OLTs zugreifen können, so lassen sich derzeit zwei grundsätzlich unterschiedliche Lösungsansätze für PON-Architekturen darstellen:

#### I. TDMA-(WDM-)PON

Die optische Downstream-Übertragung geschieht auf einer Wellenlänge, die von allen ONUs empfangen wird. Jede ONU separiert aus dem empfangenen Datenstrom den für sie bestimmten Anteil heraus<sup>18</sup>. Für die Upstream-Übertragung der individuellen Datenkanäle wird auf einer weiteren Wellenlänge ein TDM-Verfahren verwendet, bei dem jedem ONT ein Zeitschlitz für die Kommunikation zugewiesen wird.

#### II. WDMA-(WDM-)PON

Beim WDMA-PON ist hingegen jede ONU über ein eigenes optisches Wellenlängenpaar mit dem OLT verbunden.

Der in Klammern gesetzte WDM-Term weist darauf hin, dass die ONU in beiden Fällen über nur eine Glasfaser angeschlossen wird. Hin- und Rückkanal werden jeweils auf

<sup>18</sup> Ein Sonderfall stellt IP Multicast-Verkehr in Downstream-Richtung dar, der im gesamten PON in einem speziellen Kanal nur einmal übertragen wird und allen ONUs zur Verfügung steht.

unterschiedlichen optischen Wellenlängen realisiert. Im Weiteren werden die Kurzbezeichnungen TDM-PON und WDM-PON verwendet.

#### 2.3.1.2.3.4.1 TDM-PON: GPON, EPON und RFoG

Das TDM-PON war die erste standardisierte Zugangstechnik für FTTH-Anwendungen, entwickelt von der „Full Services Network Initiative“ (FSAN) und der ITU. Die bekanntesten Produkte sind das Breitband- (B-) und das Gigabit- (G-) PON. Die jüngste Entwicklung, das PON der nächsten Generation XG-PON mit einer Kapazität von 10 Gigabit/s, befindet sich bei mehreren Herstellern in der Produkteinführung. Von IEEE wurde parallel das EPON- (Ethernet-PON-) mit den beiden Varianten 1G und 10G standardisiert.

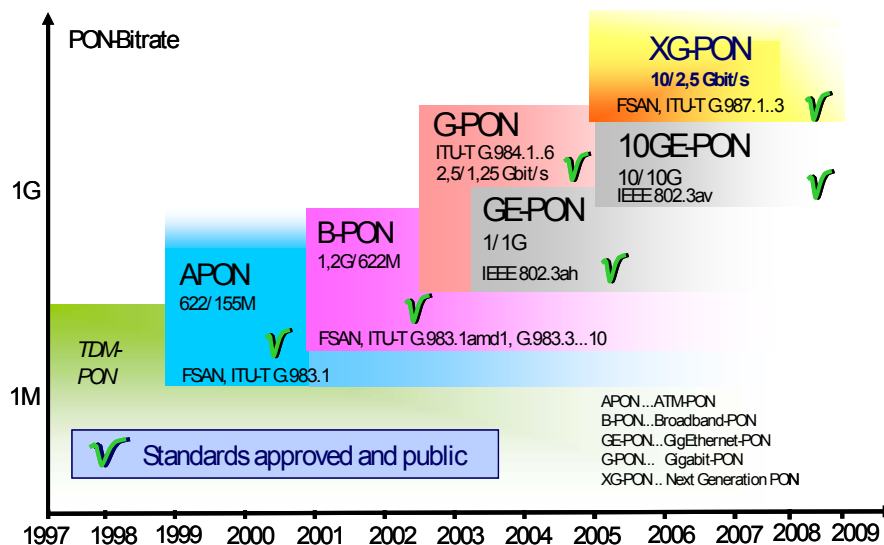


Abbildung 23: Stand und Entwicklung der PON-Standardisierung

Wie Abbildung 23 zeigt, folgt die PON-Standardisierung der technischen Entwicklung zu immer höheren Kapazitäten. Das XG-PON, im Folgenden hier auch als 10GPON bezeichnet, ist der voll kompatible Nachfolger des GPON.

Um spätere Systemwechsel auf der gleichen Glasfaserarchitektur ohne Systemabschaltung zu ermöglichen, wurde ein abgestimmter Wellenlängenplan entwickelt, der auch den Parallelbetrieb beider Systeme ermöglicht (siehe Abbildung 24).

#### Erläuterung zum Wellenlängenplan:

Für GPON wie auch EPON sind jeweils 3 Wellenlängenbänder im optischen Übertragungsfenster der Glasfaser definiert, in denen sich die optischen Wellenlängen für die Übertragung der Signale aufhalten müssen:

- Band 1 (1300 nm) für die Übertragung der Daten-Signale von den ONT's zum OLT (Upstream),
- Band 2 (1490 nm) für die Übertragung der Daten-Signale vom OLT zu den ONT's (Downstream),

- Band 3 (1550 nm) für die Verteilung analoger TV-Signale vom OLT zu den ONT's (Broadcast).

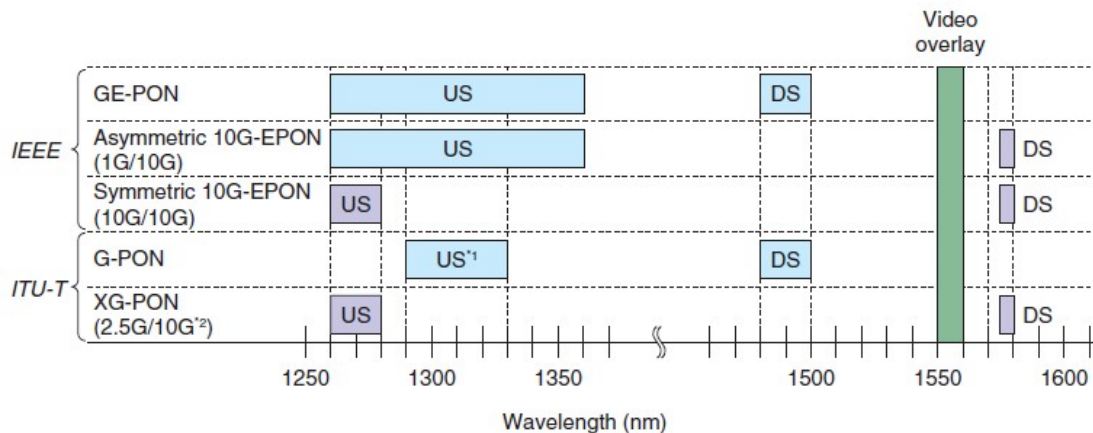


Abbildung 24: Wellenlängenplan für TDM-PONs

In einem PON-System sind ONT's die Netzelemente, die für jeden FTTH-Anschluss anfallen. Um hier die Kosten minimal zu halten, wurde das Band 1 dem ONT zugewiesen. Das sehr breite Übertragungsband (40 nm /100 nm für GPON/EPON) erlaubt die Verwendung preiswerter Lasersender, deren optisches Spektrum auch ohne aufwändige Temperaturstabilisierungen immer innerhalb des Bandes liegt. Im Gegensatz dazu erfordert der Lasersender des OLT wegen des nur 20 nm breiten Bandes einen aufwändigeren DFB-Laser sowie eine anspruchsvolle Temperaturstabilisierung. Allerdings lässt sich hier der höhere Aufwand vertreten, da nur 1 Lasersender für jedes PON erforderlich ist. Da mit dem TV-Broadcastsignal in DS-Richtung gleichzeitig zwei unabhängige optische Wellen übertragen werden, muss in jedem ONT des PON's ein optisches Filter für die notwendige Selektion der Wellenlängen vorhanden sein, falls der Parallelbetrieb vorgesehen ist. Die höchsten Anforderungen an die Selektionseigenschaften des Filters stellt hier das analoge TV-Signal.

Abbildung 24 ist zu entnehmen, dass die Wellenlängen für die 10G-PON-Systeme der nächsten Generation so gewählt worden sind, dass Parallelbetrieb beider Generationen auf der gleichen Faserinfrastruktur möglich ist. Während dies bei den ITU-Systemen GPON und XG-PON uneingeschränkt zutrifft, muss bei den IEEE-Systemen sichergestellt sein, dass sich die Wellenlängen für die ONT-Lasersender nicht in dem unteren Band (1250-1290 nm) befinden. In jedem Fall müssen vorab bereits ONT's der GPON/EPON-Systeme mit den notwendigen Selektionsfiltern für den Parallelbetrieb ausgerüstet sein.

Basisparameter für die Flächenversorgung durch TDM-PON sind jeweils das verfügbare Leistungsbudget und die Gesamtkapazität. Das Standarddesign bezieht sich auf eine Reichweite von 20 km bei einem Aufteilungsfaktor von 1:32. Die Flexibilität für den Anwender liegt nun u.a. darin, dass Reichweite und Aufteilungsfaktor im Rahmen des verfügbaren Leistungsbudgets gegeneinander abgewogen werden

können. Eine Erhöhung der Reichweite bedingt eine Reduzierung des Splittingfaktors und vice versa, was Abbildung 25 am Beispiel „GPON“ verdeutlicht.

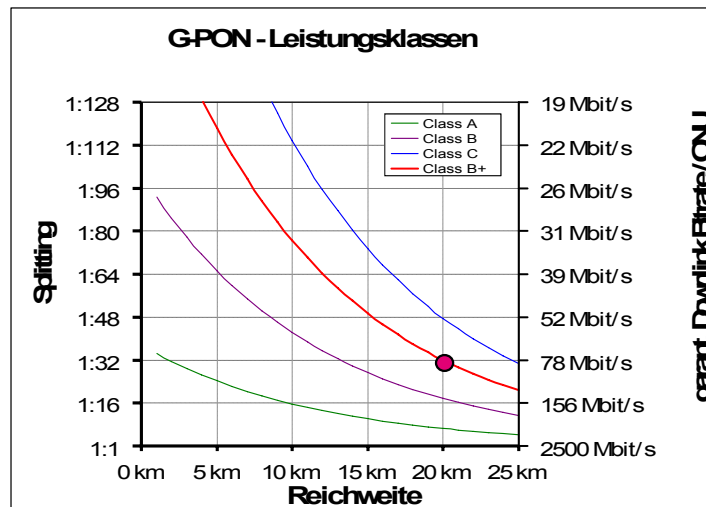


Abbildung 25: Zusammenhang zwischen Reichweite, Aufteilungsfaktor und Datenrate bei einem GPON

## GPON

Das GPON (Gigabit-PON) ist als diensteneutrale Zugangsnetz-Transportplattform ausgelegt. Die Spitzendatenraten betragen 2,5 Gbit/s (downstream) und 1,25 Gbit/s (upstream). Es ist auf dem Markt verfügbar und wird weltweit eingesetzt.

Der GPON-Standard erlaubt Reichweiten bis zu 60 km. Die höheren Reichweiten lassen sich durch Reduzierung des Aufteilungsfaktors (siehe Abbildung 25), leistungsfähigere Optik oder durch den Einsatz zusätzlicher aktiver Netzelemente, wie beispielsweise Verstärker oder Regeneratoren in Form einer „Extender Box“, realisieren. Mit der Extender Box kann das derzeitige GPON auf bis zu 60 km verlängert werden. Maximal können 128 ONUs angeschaltet werden.

Das GPON erlaubt dynamische Bandbreitenzuweisung. Nicht genutzte Kapazität kann bei Bedarf jedem anderen Kanal zugewiesen werden. Jede ONU kann unabhängig im Rahmen der verfügbaren PON-Kapazität konfiguriert werden. Die garantierbare Datenrate ist abhängig von der Anzahl der gleichzeitig aktiven Netzabschlüsse.

Bei einem GPON mit 32 Teilnehmern kann jeder ONU eine Datenrate von 78 Mbit/s im Downstream und 39 Mbit/s garantiert werden. Versteht man unter dem „Gleichzeitigkeitsfaktor“ die Anzahl der Anschlussleitungen in einem Zugangsnetzsystem, die zum gleichen Zeitpunkt aktiv Daten übertragen, so ist dieses der garantierte Verkehr für den 100%-Fall. In der Realität dürfte diese Konstellation aber der Ausnahmefall sein. Einerseits zeigt die Erfahrung, dass, es doch geraume Zeit dauern wird, bis alle ONUs eines PON vermarktet sind. Andererseits bewegt sich selbst bei „always on“ (Endgeräte sind ununterbrochen aktiv) der Gleichzeitigkeitsfaktor derzeit eher im unteren Prozentbereich.

## EPON

IEEE hat den EPON-Standard passend für symmetrischen Ethernet-Datenverkehr entwickelt. Die Funktionsweise ist dem GPON sehr ähnlich. Die Anforderungen an die physikalische Übertragung sind aufgrund der geringeren Datenrate etwas entspannter (siehe Tabelle 3) und der Umfang der für den Betrieb von Telekommunikationsnetzen verfügbaren OAM-Funktionen ist sehr begrenzt.

|                               |              | EPON              | GPON           |
|-------------------------------|--------------|-------------------|----------------|
| Downstream Datenrate (Mbit/s) |              | 1000              | 2488           |
| Upstream Datenrate (Mbit/s)   |              | 1000              | 1244 oder 2488 |
| Payload Kapselung             |              | Native Ethernet   | GEM            |
| Bandbreiten-Effizienz         |              | 72%               | 92%            |
| TDM-Untestützung              |              | Circuit emulation | native         |
| Upstream Burst-mode Empfänger | Laser on/off | 512 ns            | 13 ns          |
|                               | AGC          | < 400 ns          | 44 ns          |

Tabelle 3: GPON und EPON - Vergleich des Physical Layers

## RFoG

Die Abkürzung RFoG steht für Radio Frequency over Glass und beschreibt eine Möglichkeit, DOCSIS-Signale auf einer PON-Infrastruktur zu nutzen. Dabei wird der Downstream als RF-Overlay mit der Wellenlänge 1550 nm ausgeführt, der Rückkanal kann auf 1310 nm oder 1610 nm betrieben werden. Bei einem Betrieb des Rückkanals auf 1610 nm ist der gleichzeitige Betrieb von RFoG mit einer der oben genannten PON-Technologien auf einer gemeinsamen passiven Infrastruktur möglich.

Der Rückkanal bei der RFoG-Technologie kann entweder amplitudenmoduliert (AM) oder frequenzmoduliert (FM) ausgeführt sein. Die Mehrheit der Hersteller verwendet die AM-Technologie. FM-Systeme werden teilweise auch als D-PON (DOCSIS-PON) bezeichnet.

RFoG ist in der SCTE 174 2010 (Society of Cable Telecommunications Engineers) standardisiert.

### 2.3.1.2.3.4.2 WDM-PON

Wie erwähnt, sind WDM-PONs keine PONs im ursprünglichen Sinn, sondern reine P2P-Ethernet-Verbindungen, die auf jeweils einer individuellen Wellenlänge im Wellenlängen-multiplex (xWDM) über ein gemeinsames P2MP-Glasfasernetz übertragen werden. Für die individuellen optischen P2P Verbindungen ist daher auch wieder die doppelte Anzahl opto-elektrischer Umsetzern (2n) erforderlich. Jede ONU kann nur auf die Daten „ihrer“ Wellenlänge zugreifen. Freie Kapazitäten in einem Kanal können daher auch nicht von anderen Kanälen genutzt werden.



Zur Separierung der Wellenlängen kommen zwei technologisch unterschiedliche Ansätze zur Anwendung:

- WDM Typ1  
Hierbei wird das passive, wellenlängentransparente Verzweigungselement (Sternkoppler) durch einen passiven optischen Kammfilter (AWG = Arrayed Waveguide Grating) ersetzt.
- WDM Typ 2  
Jede ONU selektiert die für sie bestimmte Wellenlänge selbst. Dies geschieht entweder mittels eines abstimmbaren Filters oder durch Abstimmung eines lokalen Lasers.

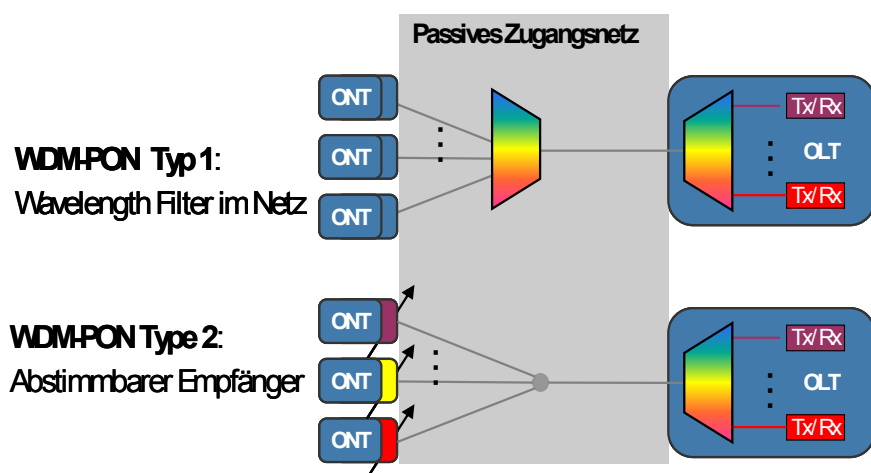


Abbildung 26: WDM-PON Varianten

WDM-PONs vom Typ 1 sind seit einigen Jahren kommerziell als proprietäre Lösungen verfügbar (typisch: 32 Wellenlängen, für 100Mbit/s oder 1 Gbit/s je Kanal), haben sich aber u.a. wegen der hohen Kosten bisher nicht durchgesetzt.

Während bei WDM-PONs vom Typ 1 kein Parallelbetrieb mit anderen Systemen möglich ist, erlauben WDM-PONs vom Typ 2 prinzipiell die Koexistenz von TDM- und WDM-PONs auf dem gleichen Glasfasernetz. Voraussetzung hierfür ist, dass die WDM-Kanäle in den noch unbelegten Wellenlängenbereichen untergebracht werden können (siehe Abbildung 24).



#### 2.3.1.2.3.5 Weitere PON-Entwicklungen

Neben den oben genannten Aktivitäten zur Markteinführung der TDM-PON der nächsten Generation (10GPON) befinden sich derzeit auch WDM-PONs vom Typ 2 im Stadium der Laborphase und im Vorfeld der Standardisierung (vgl. z.B. [19], im Folgenden als NG-PON bezeichnet). Hier werden mehrere Ziele gleichzeitig verfolgt, die sich mit den Plänen der Open Lambda Initiative decken (siehe auch Kapitel 2.3.1.1.6):

- Reichweiten im Bereich von bis zu 100 km
- Hohe Spreizfaktoren bis zu 1000 durch UDWDM Wellenlängenraster (Ultra Dense WDM)
- Koexistenz von WDM-PON, TDM-PON und xWDM Systemen unterschiedlicher Betreiber auf einer Glasfaserinfrastruktur durch aktives Wellenlängenmanagement

Die notwendige Selektivität zur Kanalwahl lässt sich in einem derart leistungsfähigen WDM-PON vermutlich nur mit kohärenten optischen Empfängern und abstimmbaren Lasern erreichen und wird damit deutlich komplexere Technologie als beim TDM-PON erfordern. Der Markterfolg und die Verfügbarkeit werden u.a. davon abhängen ob es gelingt, diese Technologie entsprechend preiswert bereitzustellen.

### 2.3.2 Funkbasierte Technologien

Funkbasierte Technologien werden hier in der Rolle als NGA-Netze betrachtet, welche die Breitbandversorgung vorantreiben sollen und insofern als Ersatz für Festnetzlösungen dienen. In diesem Kontext können sich andere Anforderungen an Datenraten und Übertragungsqualitäten ergeben als in der typischen Anwendung als Mobilnetz, ebenso stellt sich die Frage, inwieweit Funknetztechnologien offene Ebene 2-Schnittstellen bereitstellen können.

#### 2.3.2.1 Breitbandfunktechnologien

Breitbandfunktechnologien ermöglichen im Gegensatz zu den drahtgebundenen Übertragungsverfahren sowohl eine mobile oder portable als auch eine ortsfeste Nutzung von Endgeräten für Datendienste. Dabei werden Systeme mit verschiedenen Reichweiten eingesetzt. Zur Realisierung einer „Pikomobilität“ z.B. im Heim- oder Bürobereich finden WLAN-Technologien Anwendung oder Geräte nach dem DECT-Standard (z.B. drahtlose Telefone).

Im Bereich zellularer Mobilfunknetze sind Mikro- oder Makrozellen im Einsatz, um Mobilfunkkunden im städtischen oder ländlichen Umfeld mit dem Festnetz zu verbinden. Der zellulare Mobilfunk ermöglicht die Weitergabe der breitbandigen Verbindung von Zelle zu Zelle, sodass der Kunde ohne Unterbrechung der Kommunikation volle Mobilität nutzen kann (sog. „Handover“).

Ein entscheidender Faktor für die Wirtschaftlichkeit von Mobilfunknetzen ist die Zellgröße, das Gebiet, das von einem Sendemast aus versorgt werden kann. Je größer die

Zelle, umso geringer der Aufwand für die Infrastruktur (Technik für die Basisstation, Sendemast und die Netzanbindung).

Terrestrische Funknetze haben die wesentliche Eigenschaft, dass die Empfangsleistung innerhalb der Funkzelle sehr stark ortsabhängig ist und in Abhängigkeit von der Entfernung zum Sendemast abfällt. Zielgröße für die Dimensionierung ist die Reichweite, bei der am Zellenrand noch die spezifizierten Anforderungen erfüllt werden, d.h. dass die geforderte Verkehrslast mit hinreichender Güte übertragen werden kann.

Im idealen Fall, bei der Ausbreitung im freien Raum, steigt die Dämpfung des Funkfeldes proportional mit dem Quadrat der Entfernung zum Sendemast und auch proportional dem Quadrat der von dem Funksystem zu nutzenden Sendefrequenz. Optimale Empfangsbedingungen findet man nur in der Nähe des Sendemastes. Je niedriger die eingesetzte Frequenz, desto höher ist die erzielbare Reichweite.

Ein weiteres Thema ist die Indoor-Coverage, die sich mit dem Abstand zum Senderstandort und steigender Frequenz gleichfalls verschlechtert.

Der Nachteil niedriger Frequenzbereiche ist die geringere zur Verfügung stehende Kanalbandbreite, welche die erzielbare Datenübertragungsrate bestimmt. Besonders vorteilhaft für die Abdeckung großer Flächen ist z.B. der Frequenzbereich unterhalb 1 GHz. Hohe Kanalbandbreiten und damit verbunden höhere Datenkapazitäten bieten dagegen die höheren Frequenzen oberhalb 1 GHz. Leider sind die hier erzielbaren Reichweiten erheblich geringer, sodass die lückenlose Abdeckung großer Flächen kaum wirtschaftlich möglich ist.

Die Reichweiten und Bandbreiten sind im realen Fall aber noch von weiteren zahlreichen weiteren Parametern, wie Sendeleistung, Signal-Rauschabstand, Modulationsverfahren (spektrale Effizienz), Interferenzen, Nachbarzellen, Antennenhöhe, Gelände-topographie und der Nutzerstandortverteilung („Atmung der Zelle“) usw. abhängig.

Die Einsetzbarkeit von funkgestützten Systemen zur Breitbandübertragung im privaten, gewerblichen oder im infrastrukturellen Bereich ist abhängig von den einsetzbaren und von der nationalen Regulierungsbehörde (in Deutschland ist dies die Bundesnetzagentur, BNetzA) in Abstimmung mit der CEPT (Verband der für die Telekommunikation in Europa zuständigen nationalen Verwaltungen) zur Verfügung gestellten Frequenzen.

Wie Abbildung 27 zeigt, sind in der historischen Entwicklung die netzgebundenen Technologien den Funklösungen im Breitbandpotential immer um etwa 1 Größenordnung überlegen.

Die im Folgenden angegebenen Übertragungsraten (z.B. 300 Mbit/s für eine LTE- Sektorzelle mit 2 x 20 MHz Kanalbandbreite) sind als maximale Ressource für den physikalischen Daten-Durchsatz zu verstehen, welche ein Sektor einer Basisstation allen Nutzern in dieser Zelle zur Verfügung stellt (siehe auch Abbildung 28). Hierbei handelt es sich um den idealen Wert, der in Antennennähe erreicht werden kann, wenn nur 1 Nutzer aktiv ist. Im realen Fall ist immer mit geringeren Raten zu rechnen, bedingt durch

- den Leistungsabfall über die Reichweite,
- die Anzahl der gleichzeitig aktiven Nutzer,
- den Protokoll-Overhead.

Während Surfen im Internet sehr kurze burstartige Datenimpulse von nur wenigen kbit/s erzeugt, erfordern Downloads im Sekundenbereich Datengeschwindigkeiten mit mehreren Mbit/s. Im Extremfall kann im Gegensatz dazu ein Video-Download von mehreren Minuten mit 2 Mbit/s zu Buche schlagen, ein HDTV-Video mit einer noch höheren Datenrate.

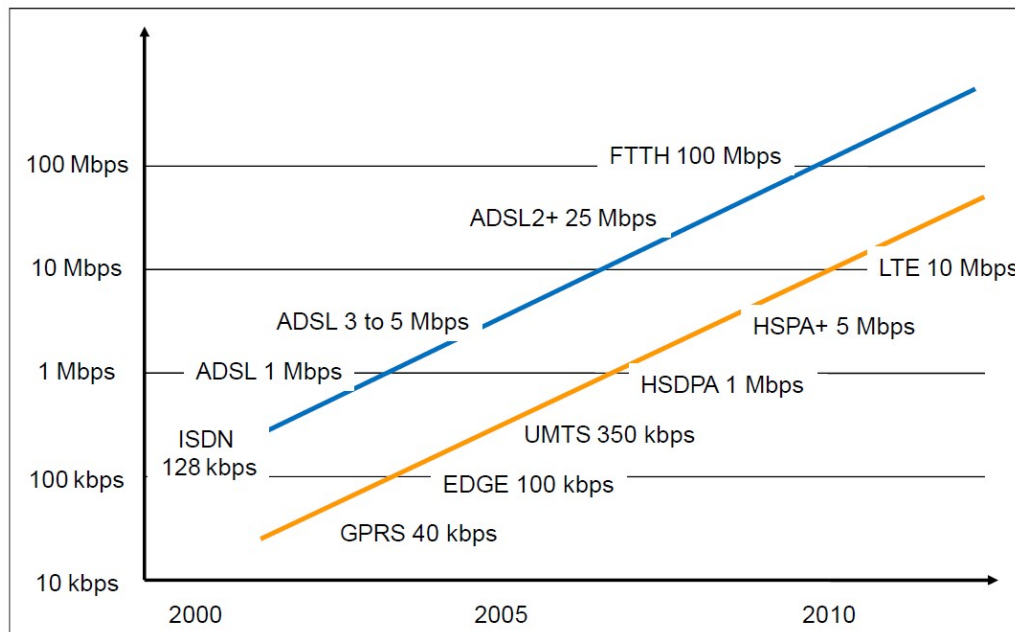


Abbildung 27: Bandbreiten-Entwicklung bei Festnetz- und Funktechnologien <sup>19</sup>

Der Mix dieser Datenübertragungsvarianten führt in der Summe dazu, dass eine hohe Zahl von Nutzern sich die Ressourcen einer Zelle dynamisch teilen können und dabei auch dem Einzelnen eine hohe Datenrate zur Verfügung steht. Problematisch hingegen kann die Nutzung von Streaming-Signalen in Funknetzen sein, da hier kontinuierlich mit der notwendigen Datenrate gesendet wird und keine statistischen Gewinne mehr möglich sind.

<sup>19</sup> Quelle: RYSAVY

#### 2.3.2.1.1 WLAN

WLAN-Systeme ermöglichen die portable Verlängerung des drahtgebundenen Breitbandanschlusses innerhalb einer Wohnung, eines Büros oder als Hotspot. Dabei werden in den international harmonisierten Frequenzbereichen 2.400 oder 5.400 MHz Breitbandssysteme nach dem Standard IEEE 802.11 mit Übertragungsdatenraten bis zu 300 Mbit/s betrieben. Um das Störpotenzial für Nachbaranwendungen zu begrenzen, sind die Strahlungsleistungen (das ist die Senderleistung plus Gewinn der Sendeanenne) in den genannten Frequenzbereichen auf 0,1 Watt (2.400 MHz) bzw. 1 Watt (5.400 MHz) limitiert. Diese Anwendung ist anmelde- und gebührenfrei, d.h. dass eine Planung des Frequenzeinsatzes nicht stattfindet. Störungen sind jedoch auf Grund der geringen Leistung und Reichweite unwahrscheinlich und müssen gegebenenfalls von den Anwendern hingenommen werden.

Mitunter werden WLAN-Systeme unter Verwendung von Richtantennen auch zur Breitbandversorgung über größere Distanzen eingesetzt. Dabei ist jedoch zu bedenken, dass keine Erhöhung der Strahlungsleistung durch Richtantennen zulässig ist und von der BNetzA unterbunden werden kann. Eine Nutzung des Frequenzbereiches 2.400 MHz mit Richtantennen und einem Strahlungsleistungslimit von nur 0,1 Watt ist dabei legal kaum möglich. Ferner ist der Frequenzbereich mit 2.400 MHz inzwischen extrem stark belegt und damit sind Störungen wahrscheinlich.

Im Gegensatz dazu kann der Bereich 5.400 MHz sehr gut mit Richtantennen unter Beachtung des Strahlungsleistungslimits von 1 Watt genutzt werden. Unter Sichtbedingungen (beide Antennen haben direkte Sichtverbindung) und günstigen topografischen Verhältnissen kann diese WLAN-Variante bis zu 15 km Reichweite überbrücken. Da in diesem Frequenzbereich aufgrund der geringen Belegung und der hohen zur Verfügung stehenden Frequenzbandbreite wenige Störungen zu befürchten sind, dürfte diese Technologie eine interessante Option für unterversorgte Gebiete werden.

#### 2.3.2.1.2 EDGE

EDGE steht für „Enhanced Data Rates for GSM Evolution“ und ist die in Deutschland inzwischen flächendeckend verfügbare Technologie zur Übertragung höherer Datenraten nach dem GSM-Standard. Basis ist das GSM-Netz verschiedener Mobilfunkbetreiber. EDGE ermöglicht gegenwärtig Übertragungsgeschwindigkeiten von bis zu 118 kbit/s im Uplink bzw. 236 kbit/s im Downlink. Weiterentwicklungen bis hin zu Geschwindigkeiten von bis zu 320 kbit/s im Uplink bzw. 1 Mbit/s im Downlink sind in Vorbereitung.

Aufgrund der umfassenden Verfügbarkeit der GSM-Netze und der Endgeräte in Europa wird EDGE noch viele Jahre Bedeutung für die Versorgung mit Telekommunikationsdiensten haben, wobei die Bandbreite zwar für mobiles Internet ausreichend ist, breitbandige Anwendungen wie IPTV jedoch nicht möglich sind.

#### 2.3.2.1.3 HSPA

High Speed Packet Access (HSPA) ist die Weiterentwicklung des (3G) UMTS-Standards (Universal Mobile Telecommunication Service), der gegenwärtig in Deutschland im Frequenzbereich um 2 GHz betrieben wird. Während UMTS Datenraten von 64 kbit/s im Uplink bzw. 384 kbit/s im Downlink ermöglicht, gestattet HSPA in den gegen-

wärtig in Deutschland ausgebauten Stufen Datenraten von 1,8 Mbit/s (Uplink) und 3,6 Mbit/s (Downlink) oder 3,6 Mbit/s (Uplink) und 7,2 Mbit/s (Downlink). Weiterentwicklungen (HSPA+) bis hin zu Geschwindigkeiten von 21 Mbit/s (Downlink) sind verfügbar, 42 Mbit/s (Downlink) sind in Vorbereitung.

HSPA ist derzeit im Markt verfügbar und für den kurzfristigen Aufbau des Breitbandfunks geeignet.

#### 2.3.2.1.4 LTE

LTE ist der weltweite Mobilfunkstandard der nächsten Zukunft. Durch Einsatz des neuen OFDM Übertragungsverfahrens ist ein Leistungs- und Effizienzgewinn möglich, der sich in erhöhter spektraler Effizienz ausdrückt. In Kombination mit variablen Funkkanälen von 1,4 bis 20 MHz und Mehrantennen-Technologie ergeben sich verbesserte Uplink- und Downlink-Datenraten und damit verringerte Kosten pro übertragenes Bit. Bei Verwendung der maximalen Kanalbandbreiten sind mit LTE Zellendatenraten von bis zu 75 Mbit/s im Uplink bzw. 300 Mbit/s im Downlink möglich. Zusätzlich wurden die Latenzen im Netz erheblich reduziert.

Zur Weiterentwicklung des LTE-Standards arbeiten Entwickler bereits heute an noch effizienteren Übertragungsverfahren. Durch eine Bündelung mehrerer LTE-Kanäle erhöhen sich die Zellendatenraten auf bis zu 500 Mbit/s im Uplink bzw. 1 Gbit/s im Downlink. Die Kooperation benachbarter Basisstationen bzw. eine Verstärkung des Funksignals durch Relaisstationen ermöglicht eine weiter verbesserte Netzabdeckung mit hoher Datenrate.

Der Stand der Technik ist Abbildung 28 zu entnehmen. Dargestellt ist der Datendurchsatz je Nutzer in Abhängigkeit von Standort und der Anzahl der aktiven Nutzer.

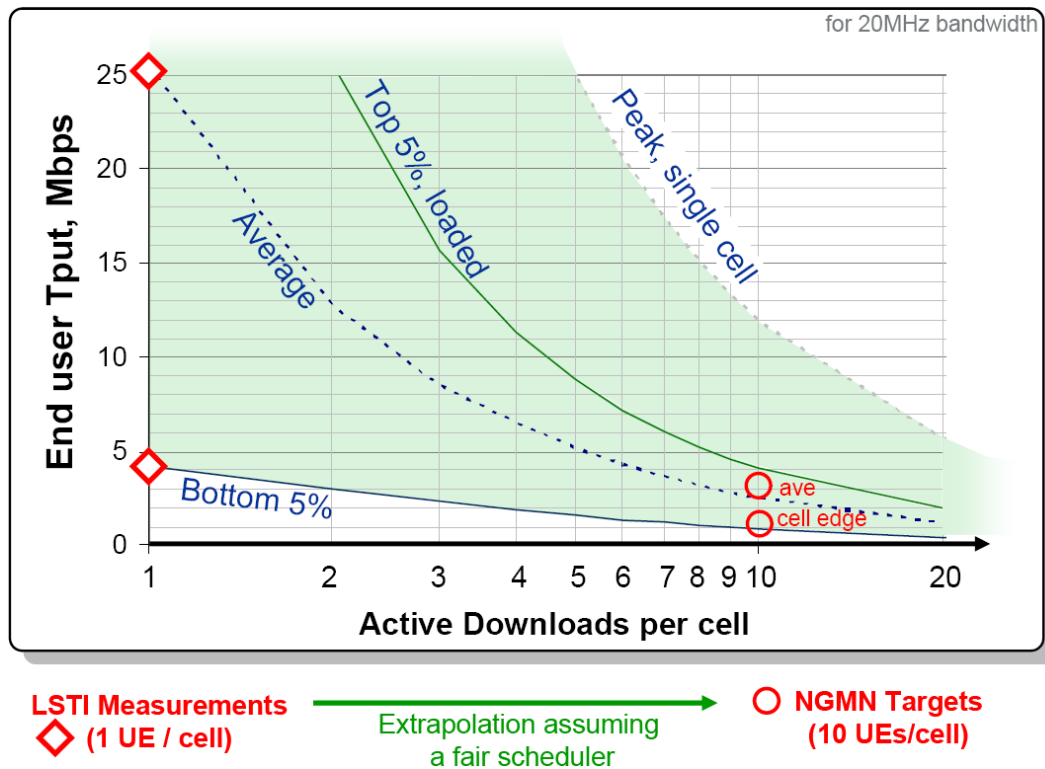


Abbildung 28: Erwarteter Datendurchsatz je Nutzer in Abhängigkeit von der Zahl der aktiven Nutzer in realen Systemen <sup>20</sup>

Diese Darstellung beruht auf Simulationen für unterschiedliche HF-Bedingungen (Signalstärken, Interferenzbedingungen, Abstand von der Basisstation (BS)), wobei die Spitzenwerte nur für optimale Bedingungen zutreffen (Einzelzelle, Nutzer direkt an der BS). Dargestellt ist die Wahrscheinlichkeit, mit welchem Datendurchsatz ein Teilnehmer in einer LTE-Zelle in realen Netzen rechnen kann, wenn mehrere Nutzer gleichzeitig aktiv sind. So kann in einem LTE-System mit einem theoretischen Spitzendurchsatz von 150 Mbit/s ein Nutzer real nur im Mittel mit einem Datendurchsatz von ca. 4 Mbit/s rechnen, wenn gleichzeitig 10 Nutzer Daten herunterladen.

LTE eröffnet sowohl in den Frequenzbereichen oberhalb 1.000 MHz erheblich gesteigerte Datenkapazitäten und -geschwindigkeiten als auch in den Frequenzbereichen der Digitalen Dividende (790–862 MHz) und im 900-MHz-Bereich neue Möglichkeiten für Breitbanddienste in der Fläche. Wie bereits erwähnt, hat aber die Nutzung der Frequenzen im Gigabit-Bereich auch einen starken Einfluss auf die Größe der Versorgungszelle und damit auch auf die Kosten der Netzinfrastruktur. LTE-Systeme mit Sendefrequenzen bei 2,6 GHz benötigen mehr als 10 Basisstationen, um die gleiche Flächenabdeckung wie bei der Nutzung der Sendefrequenzen der „Digitalen Dividende“ (800 MHz) zu erzielen.

<sup>20</sup> Quelle : LSTI [12]

### 2.3.2.2 Satellitenanbindung

Seit einigen Jahren sind auch Breitbandanwendungen im Up- und Downlink über geostationäre Satelliten möglich. Die gegenwärtig verfügbaren Satellitendienste bieten dabei eine sehr ökonomische Abdeckung sehr großer Flächen (z.B. ganz Europa) bei Downlink-Datenraten von aktuell bis zu 10 Mbit/s bei begrenzter Teilnehmerzahl. In der Regel sind die Anwendungen für satellitengestütztes Breitband ortsfest, wobei mittlerweile auch mobile Lösungen, beispielsweise für Wohnmobile und Schiffe möglich sind. Die Endgerätetechnik ist so konzipiert, dass satellitengestützte Breitbandssysteme auch vom Kunden direkt installiert werden können.

Ein aktuelles Beispiel für diese Technologie ist der kürzlich von EUTELSAT gestartete und derzeit leistungsfähigste Breitbandsatellit KA-SAT. Dieser Satellit sendet im 30 GHz-Band und verfügt über eine Kapazität von 70 Gbit/s, die auf 82 Spot-Beams europaweit verteilt werden. Der typische Durchmesser der Versorgungsfläche (Footprint) eines Spot-Beams beträgt ca. 250 Km auf der Erdoberfläche. Das Breitbandkommunikationssystem besteht aus dem Bodensegment (einer oder mehreren Kopfstationen), dem Satelliten als Raumsegment und der Empfangsanlage beim Nutzer. Zur Nutzer-Empfangsanlage gehört eine Parabolantenne mit ca. 80 cm Durchmesser, die Sende- und Empfangseinheit (Transceiver) sowie das Satellitenmodem. Damit sollen Spitzen-Datenraten von 10 Mbit/s (Downlink) und 4 Mbit/s (Uplink) möglich sein. Allerdings ist bei der trotz Spot-Beam-Abdeckung immer noch sehr großen Versorgungsfläche mit einer relativ hohen zu versorgenden Kundenzahl der Nutzer zu rechnen, so dass diese Werte wohl nur außerhalb der Spitzennutzungszeiten erreicht werden können. Übliches Geschäftsmodell bei der Breitbandnutzung via Satellit ist daher auch die Einführung von Kapazitätsschranken durch Begrenzung des Datenvolumens, über das der Nutzer z.B. je Tag verfügen kann.

Ein wesentlicher Unterschied zu den terrestrischen Funksystemen ist bei satellitengestützter Breitbandkommunikation der Laufzeiteinfluss. Während bei terrestrischen Funksystemen mit Laufzeiten im 20 ms-Bereich zu rechnen ist, beträgt die typische Laufzeit bei geostationären Satelliten für eine Verbindungsstrecke vom Nutzer bis zur Kopfstation, wo sich das Gateway befindet, ca. 250 ms, d.h., dass z.B. die Reaktionszeit bei interaktiven Aktionen wie Internetabrufen ca. 500 ms beträgt. Latenzzeit-sensitive Anwendungen wie Gaming usw. sind damit bei satellitengestützter Breitbandverteilung nur bedingt möglich. Schon Sprach- oder Videokonferenzen erfordern ein hohes Maß an Disziplin, damit sich die Teilnehmer aufgrund der Übertragungsverzögerungen nicht regelmäßig ins Wort fallen. Das Hauptanwendungsgebiet für die Breitbandverteilung über Satellit dürfte daher eher die günstige Versorgung der „weißen Flächen“ als der großflächige Einsatz auch über dicht besiedelte Gebiete sein.

### 2.3.2.3 Richtfunk

Der Richtfunk bietet eine Alternative für die Fälle, in denen eine Anbindung über drahtgebundene Technologien nicht realisierbar ist. Richtfunk wird hauptsächlich unter folgenden Randbedingungen eingesetzt:

- Technik: verfügbare Kupferkabel lassen die geforderten Übertragungsraten nicht zu
- Ökonomie: die Verlegung oder Anmietung eines Kabelübertragungsweges ist kommerziell nicht tragbar

- Topographie: topographische oder politischen Gründe machen die Verlegung eines Kabels unmöglich
- Zeitliche Aspekte: eine Verbindung soll schnell realisiert werden und die kurzfristige Verlegung eines Kabels ist nicht möglich bzw. es wird nur eine temporäre Anbindung benötigt

Beim Richtfunk wird die Übertragung mittels Mikrowellen und stark bündelnden Antennen realisiert. Zur Übertragung stehen lizenzierte Frequenzbänder im Bereich zwischen 4 GHz und 80 GHz zur Verfügung. Die Auswahl des Frequenzbereichs richtet sich nach der zu überbrückenden Entfernung und der benötigten Übertragungsrate. Generell gilt auch hier die Regel wie bei anderen Funksystemen: mit zunehmender Frequenz nimmt die erreichbare Übertragungsrate zu, bei gleichzeitig abnehmender Reichweite.

Die ökonomisch erreichbaren Entfernungen liegen zwischen 1 und 50 km, es sind Datenraten bis zu 1,2 Gbit/s realisierbar. Dabei ist zu beachten, dass hohe Reichweiten in der Regel aufwändige Antennenlösungen erfordern, die sich in den Systemkosten niederschlagen. Generell muss zur Übertragung Sichtverbindung zwischen den Endstellen gewährleistet sein.

Beispiele für typische Konfigurationen sind

| Frequenzband | Übertragungsrate | Reichweite |
|--------------|------------------|------------|
| 6-38 GHz     | 800 Mbit/s       | 50 km      |
| 80 GHz       | 1,2 Gbit/s       | 3 km       |

Tabelle 4: Typische Konfigurationen für Richtfunkstrecken

Während in der Vergangenheit die Übertragung von PDH- und SDH-Signalen im Vordergrund stand, konzentrieren sich die heutigen Anforderungen hauptsächlich auf die effiziente Paketdatenübertragung. Hierzu wurden in den letzten Jahren flexible und hierfür optimierte Systeme entwickelt, die eine sehr kosteneffiziente Implementierung von Richtfunknetzen ermöglichen. Die wesentlichen Merkmale der neuen paketorientierten Richtfunksysteme sind:

- flexible Konfigurierbarkeit zur simultanen Übertragung von PDH, SDH und Ethernet Signalen
- einheitliche Bauweise und softwaremäßige Konfigurierbarkeit für alle Bandbreiten und Modulationsarten
- adaptive Modulation mit Priorisierungsmöglichkeiten der Datenströme zur optimalen Ausnutzung des Funkkanals bei gleichzeitiger Sicherstellung der QoS (Quality of Service)

Richtfunksysteme der neuen Generation werden in großen Stückzahlen zur Anbindung von Basisstationen in Mobilfunk- und Sicherheitsnetzen, zur Anbindung von Outdoor-DSLAMs in FTTC-Zugangsnetzen, aber auch zur Vernetzung von Standorten gewerblicher und öffentlicher Nutzer eingesetzt.



### 2.3.3 Charakteristische Merkmale und Vergleich der Zugangstechnologien

Die verwirrende Vielfalt von Zugangsnetztechnologien mit ihren unterschiedlichen Ausprägungen und teilweise grundsätzlich differierenden Eigenschaften macht den Vergleich im Hinblick auf den Einsatz als NGA-Netze schwierig. Idealerweise sollten alle Technologien sehr hohe Übertragungsraten für gleichzeitig sehr viele Endkunden bei großer Flächenabdeckung ökonomisch bereitstellen. Tatsächlich erfüllt keine der verfügbaren Technologien alle drei Anforderungen gleichzeitig optimal, es ist also notwendig, für den jeweiligen Einsatzbereich die optimale Lösung zu bestimmen. So unterscheidet sich beispielsweise das Ausmaß des Glasfaserausbaus regional erheblich. Bei FTTC reicht sie bis zum Verteiler am Straßenrand, bei FTTB bis in den Keller der Gebäude, bei FTTH bis in die Wohnung. Bei den Funkanschlusstechniken endet die Glasfaser typischerweise am netzseitigen Ende der Funkstrecken.

Der objektive Vergleich und die Bewertung sind auch insofern problematisch, als sich die meisten Technologien durch Konfiguration in unterschiedliche Richtung optimieren lassen – z.B. für sehr hohe Bandbreiten für die Nutzer, aber zu Lasten der ökonomischen Flächendeckung bzw. umgekehrt.

Zum Vergleich der Technologien in Kapitel 2.3.3.3 sind daher neben den jeweils theoretisch erreichbaren Maximalwerten auch solche für den Fall eines Szenarios mit einer mittelfristig relevanten Netzkonfiguration angegeben.

#### 2.3.3.1 Annahmen für ein „mittelfristig durchschnittliches“ Nutzerprofil

Aus den heute üblichen Netzdimensionierungen lässt sich eine für den angestrebten Vergleich typische Konfiguration empirisch kaum ableiten. Sie orientieren sich oft an aktuellen Bandbreitenanforderungen bzw. nehmen zugunsten von kostengünstiger zeitnaher Umsetzung eine Breitbandversorgung in Kauf, die nur elementare Dienstleistungen bietet.

Hier wurde daher der Weg gewählt, ein mittelfristig durchschnittliches Nutzerprofil für NGA-Anwendungen anzunehmen und daraus die technologie- und architekturenspezifischen Leistungswerte abzuleiten (siehe folgendes Kapitel). Die Annahmen berücksichtigen die bereits einsetzende Entwicklung, dass qualitativ hochwertige Video-Anwendungen die Anforderungen wesentlich bestimmen werden.

Annahmen:

- Bandbreitenanforderung pro Kundenanschluss ca. 25 Mbit/s (Downlink):  
Gleichzeitig 2 HDTV-Kanäle (1 TV-Broadcast und 1 VoD-Stream) plus statistisch verteilter ISP-Verkehr). Symmetrische Bandbreiten (Uplink/Downlink) sind nicht gefordert
- Nutzungsprofil:  
In der Hauptverkehrsstunde nutzen ca. 50% der Nutzer die angenommene Bandbreite gleichzeitig

Die hier gewählten Annahmen liegen um den Faktor hundert über den derzeitigen Werten. Sie gehen davon aus, dass mittelfristig Videostream-Dienste einen erheblichen Verkehrsanteil bilden werden. Aufgrund der Gleichzeitigkeit und der spezifischen Ei-

genschaften solcher Dienste fällt der Vorteil des statistischen Multiplexens für die heute üblichen IP-Verkehrsflüsse weitgehend weg, so dass sich eine Sprungfunktion im Verkehrsaufkommen ergibt.

Ob bzw. wann solche Szenarien eintreten ist umstritten, da die umgelegten Kosten für den Netzausbau eine deutliche Rückwirkung auf die Nachfrage haben können. Jeder Netzbetreiber muss entsprechend seinen Erwartungen bzw. seiner Strategie die Netzdimensionierung planen. Für die kurzfristige Erschließung weißer Flecken z.B. wird eine entsprechende Dimensionierung kommerziell kaum tragbar sein. Für ein mittelfristiges Vergleichsszenario erscheinen die Annahmen jedoch als plausibel.

### 2.3.3.2 Metriken zum Vergleich der Netztechnologien

Zugunsten der Übersichtlichkeit – aber auch aufgrund der prinzipbedingten Unschärfe der Bewertung (Verkehrsannahmen, Technologieausprägung unterschiedlicher Hersteller, geografisch unterschiedliche Nutzerdichte) – wurde auf konkrete Zahlenwerte in der Vergleichstabelle (Tabelle 6) verzichtet. Vielmehr wurden Metriken in sechs Stufen von „überragend“ (+++) bis „ungeeignet“ (--) eingesetzt<sup>21</sup>.

Die Vergleichskriterien sind im Folgenden beschrieben, die den jeweiligen Metriken zugrunde liegenden Wertebereiche sind in Tabelle 5 angegeben.

- Spreizung maximal (Max.)  
Anzahl der maximal möglichen Endkunden(-Anschlüsse) pro Faser-/Kabelbaum bzw. Funkzelle, ohne Rücksicht auf die in diesem Fall verbleibende Übertragungsrate pro Endkunde.  
*Anm.:* bei P2P-Anbindungen ist die Spreizung 1, Flächenabdeckung wird durch Parallelisierung erreicht und daher in der Tabelle nicht bewertet.
- Spreizung bei mittelfristigem Szenario (Szen.)  
Anzahl der Endkunden(-Anschlüsse) pro Zugangsbaum bzw. Funkzelle, wenn die „mittelfristigen“ Kundenanforderungen zugrunde gelegt werden (s.o.).  
*Anm. 1:* bei Architekturen, in denen unterschiedliche Technologien verbaut sind (z.B. FTTC), wird die jeweils datenratenlimitierende Technologie als Kriterium herangezogen.  
*Anm. 2:* Bei RF-Overlay-fähigen Technologien wird angenommen, dass der TV-Broadcast-Kanal im Overlay verteilt wird und sich die Datenratenanforderung im L2/L3 Bitstrom-Kanal entsprechend reduziert.
- Datenrate maximal (Max.)  
Maximale Datenrate pro Endkunde/Anschluss (in der Regel bei Spreizung 1)
- Datenrate bei mittelfristigem Szenario (Szen.)  
Datenrate pro Endkunde/Anschluss in Bezug auf die Szenario-Anforderung.  
*Anm. 1:* Mit der gewählten Skala sind die „mittelfristigen“ Anforderungen ab der Stufe „neutral“ (o) oder darüber erfüllt.  
*Anm. 2:* Bei einigen Technologien (z.B. GPON) ist die Spreizung technologie-

---

<sup>21</sup> Im Anhang ist die gleiche Tabelle mit den zugrundeliegenden Zahlenwerten sowie Erklärungen zu weiteren Annahmen aufgenommen

bedingt und nicht durch die Datenratenanforderung begrenzt, so dass die resultierende Datenrate über der Anforderung liegen kann.

- Latenzzeit  
Reaktionszeit von Abfragen durch das Zugangsnetz in Hin- und Rückrichtung (Ping). Kritischer Parameter bei bidirektionalen Echtzeitanwendungen (z.B. Telefonie, Gaming).  
*Anm.:* bei terrestrischen Netzen ist die Latenzzeit im Wesentlichen technologiebedingt, bei Satellitennetzen dominieren die Signallaufzeiten zwischen Erde und Satellit.
- Reichweite  
Typische erreichbare Entfernung zwischen Zentralstandort (HVT) und Kundenanschluss.  
*Anm. 1:* Bei einigen Technologien kann durch zusätzlichen Aufwand die Reichweite erhöht werden (z.B. „Range Extender“ bei GPON).  
*Anm. 2:* Bei terrestrischen Funknetzen hängt das Reichweite-Bandbreite-Produkt von den Ausbreitungsbedingungen ab, daher sind hier Wertebereiche angegeben
- Zeitliche Verfügbarkeit  
Zu erwartende Marktreife der Technologie zwischen „aktuell in Betrieb“ (+++) und „nach 2014“ (--)

| Metrik                         | +++     | ++   | +        | o        | -       | --    |
|--------------------------------|---------|------|----------|----------|---------|-------|
| <b>Spreizung (max./typ.)</b>   | ≥256    | ≥128 | ≥64      | ≥32      | ≥16     | <16   |
| <b>Datenrate (bit/s)/Kunde</b> | ≥10G    | ≥1G  | ≥100M    | ≥25M     | ≥6M     | <6M   |
| <b>Latenzzeit (ms)</b>         | ≤0,1    | ≤1   | ≤10      | ≤100     | ≤200    | >200  |
| <b>Reichweite (km)</b>         | ≥100    | ≥30  | ≥10      | ≥3       | ≥1      | <1    |
| <b>Zeitl. verfügbar</b>        | Betrieb | 2011 | ca. 2012 | ca. 2013 | ca.2014 | >2014 |

Tabelle 5: Metriken zum Vergleich der Netztechnologien

Neben den quantifizierenden Vergleichskriterien sind in der Vergleichstabelle noch zwei qualitative Kriterien aufgenommen:

- Class-of-Service-Mechanismen (CoS)  
Die Technologie unterstützt CoS-Mechanismen zur unterschiedlichen Behandlung von Datenströmen (✓) bzw. unterstützt diese nicht ( ).
- RF-Overlay-Option  
Die Technologie unterstützt inhärent RF-Overlay für TV-Broadcast in einem separaten Frequenz-/Wellenlängenband oder lässt diesen prinzipiell zu (✓) bzw. schließt diese aus ( ).

### 2.3.3.3 Vergleichsübersicht

In Tabelle 6 fällt auf, dass alle Festnetztechnologien mit Ausnahme der ADSL-basierten die gewählten Szenario-Bandbreitenanforderungen bei zumindest guten Spreizungsfaktoren erfüllen können ( $\geq 64$ ). Bei den FTTH-Punkt-zu-Punkt-Lösungen ist der Spreizungsfaktor prinzipbedingt 1 und daher nicht generell bewertbar, in der Praxis wird durch Parallelisierung aber ebenfalls eine hohe Anzahl von Kunden an einen HVT angebunden. Die Grenze ist durch Aufwand an Fasern und Kapazität der aktiven Knoten gegeben. Bei diesen Lösungen nutzt jeder Kundenanschluss eine Glasfaser-Anschlussleitung exklusiv und kann sie den individuellen Bedürfnissen entsprechend unbeeinflusst nutzen.

Bei den Funknetzen erfüllen lediglich WLAN und LTE die Szenario-Bandbreitenanforderungen, dann allerdings nur bei sehr wenigen Kunden pro Funkzelle ( $<16$ ). Im Hinblick auf flächendeckende Versorgung als Ersatz für Festnetze wäre der Aufwand extrem hoch, LTE ist hier mit reduzierten nutzbaren Bandbreiten als Übergangslösung mit der Perspektive der späteren Nutzung für Mobile Anwendungen realistisch.

Für zeitkritische Anwendungen sind ebenfalls alle Festnetze sowie LTE geeignet, die Latenzzeiten liegen deutlich unter 100 ms. Die Satellitenanbindung ist für solche Anwendungen nicht geeignet, aufgrund der Signallaufzeiten zwischen Erde und Satellit ergeben sich Verzögerungen bis in den Bereich einer Sekunde.

Die Satellitenanbindung ist auch insofern eine Lösung für spezielle Situationen, als mit der aktuellen Technologie pro Zelle (Spot Beam) zwar etwa 100 Kunden mit 10 Mbit/s versorgt werden können, sich die Fläche eines Spot Beams aber auf etwa 60.000 km<sup>2</sup> erstreckt und sich somit eher für die Versorgung schwer zugänglicher und extrem dünn besiedelter Gebiete anbietet.

Als annähernd ideal erscheinen in der Bewertung die NG-PON-Lösung. Die zugrundeliegenden Annahmen beruhen allerdings auf Technologien im Entwicklungsstadium. Die kommerzielle Verfügbarkeit ist erst in einigen Jahren zu erwarten.

| Architektur                | Spreizung |       | Datenrate (▼/▲)     |       | Latenz | Reich-<br>weite | CoS             | RF-ovl.<br>Option | Zeitl.<br>ver-<br>fügbar |
|----------------------------|-----------|-------|---------------------|-------|--------|-----------------|-----------------|-------------------|--------------------------|
|                            | Max.      | Szen. | Max.                | Szen. |        |                 |                 |                   |                          |
| <b>FESTNETZE</b>           |           |       |                     |       |        |                 |                 |                   |                          |
| <b>FTTH</b>                |           |       |                     |       |        |                 |                 |                   |                          |
| • Punkt-zu-Punkt L1        | n.a.      | n.a.  | +++                 | +++   | ++     | ++(+)           | ✓               | ✓                 | +++                      |
| • Punkt-zu-Punkt L2        | n.a.      | n.a.  | +++                 | ++    | ++     | ++(+)           | ✓               | ✓                 | +++                      |
| • Active Ethernet          | +++       | +++   | +++                 | o     | +      | ++(+)           | ✓               | ✓                 | +++                      |
| • GPON                     | +         | +     | ++                  | o     | +      | +               | ✓               | ✓                 | +++                      |
| • 10GPON                   | ++        | ++    | +++ / ++            | + / o | +      | +               | ✓               | ✓                 | +                        |
| • NG-PON                   | +++       | ++    | ++                  | ++    | +      | ++              | ✓               | ✓                 | -                        |
| <b>FTTB</b>                |           |       |                     |       |        |                 |                 | <sup>22</sup>     |                          |
| • VDSL/Ethernet            | +++       | +     | +                   | o     | +      | ++(+)           | ✓               | (✓)               | +++                      |
| • VDSL/GPON                | +++       | +++   | +                   | o/-   | o      | +               | ✓               | (✓)               | +++                      |
| • VDSL/10GPON              | +++       | +++   | +                   | o/-   | o      | +               | ✓               | (✓)               | +++                      |
| <b>FTTC</b>                |           |       |                     |       |        |                 | ✓               |                   |                          |
| • VDSL/Ethernet            | +++       | +++   | + / o               | o     | +      | ++(+)           | ✓               |                   | +++                      |
| • ADSL2/Ethernet           | +++       | +     | - / -               | - / - | +      | ++(+)           | ✓               |                   | +++                      |
| • COAX/Ethernet (Docsis 2) | +++       | --    | o / o               | o / - | o      | ++(+)           | ✓ <sup>23</sup> | ✓                 | +++                      |
| • COAX/Ethernet (Docsis 3) | +++       | +     | +                   | o / - | o      | ++(+)           | ✓ <sup>24</sup> | ✓                 | ++                       |
| <b>RTTC</b>                |           |       |                     |       |        |                 |                 |                   |                          |
| • VDSL/Radio               | +++       | +     | + / o               | o     | o      | ++              | ✓               |                   | +++                      |
| • ADSL2/Radio              | +++       | +     | - / -               | - / - | o      | ++              | ✓               |                   | +++                      |
| <b>Funknetze</b>           |           |       |                     |       |        |                 |                 |                   |                          |
| • WLAN                     | +         | --    | +                   | o     | -      | --              |                 |                   | +++                      |
| • EDGE                     | +++       | --    | --                  | --    | --     | - bis ++        |                 |                   | +++                      |
| • HSPA                     | +++       | --    | --                  | --    | -      | -- bis +        | ✓               |                   | +++                      |
| • LTE                      | +++       | --    | +                   | o     | o      | -- bis +        | ✓               |                   | ++                       |
| • Satellitenanbindung      | +++       | +     | - / - <sup>25</sup> | - / - | --     | +++             | ✓ <sup>26</sup> | ✓                 | +++                      |

Tabelle 6: Charakteristische Merkmale und Bewertung der Netztechnologien

Auf eine Kostenmetrik im Vergleich der Technologien wurde verzichtet, da zum einen die jeweiligen Netzlösungen für dedizierte Anwendungsbereiche optimiert werden können und zum anderen ohne komplexe Berechnungsmodelle kaum eine sinnvolle Bewertung möglich ist.

In der obigen Vergleichstabelle wurde aus der Vorgabe der geforderten Nutzerbandbreite der resultierende Spreizungsfaktor abgeleitet. Ergänzend dazu wird in Tabelle 7 für zwei FTTB-Architekturen (VDSL/GPON bzw. VDSL/10GPON) gezeigt, wie im umgekehrten Fall die Übertragungsrate je Anschluss zu Lasten des Spreizungsfaktors optimiert werden kann (rot unterlegt). In der Tabelle sind anstatt der Metriken Zahlenwerte angegeben.

<sup>22</sup> RF-Overlay bis zum Gebäude, nicht E2E

<sup>23</sup> L3 QoS-Mechanismen

<sup>24</sup> L3 QoS-Mechanismen

<sup>25</sup> pro Beam (pro ca. 60.000 km<sup>2</sup>)

<sup>26</sup> L3 QoS-Mechanismen

| Architektur<br>FTTB     | Spreizung |       | Datenrate (▼/▲) |        | Limitierung bei 'Szen.'                               |
|-------------------------|-----------|-------|-----------------|--------|---|
|                         | Max.      | Szen. | Max.            | Szen.  |   |
| • VDSL/GPON (s.o.)      | >1000     | 154   | 100M            | 13M    | GPON-Bandbreite, bis zu 64 DSLAMs, (13M + RF-Ovl.)    |
| • VDSL/GPON (DR-opt.)   | >1000     | 50    | 100M            | 100M   | Spreizung bei Nutzung der max. VDSL-Bandbreite        |
| • VDSL/10GPON (s.o.)    | >1000     | 1540  | 100M            | 13M/6M | 10GPON-Bandbreite, bis zu 128 DSLAMs, (13M + RF-Ovl.) |
| • VDSL/10GPON (DR-opt.) | >1000     | 100   | 100M            | 100M   | Spreizung bei Nutzung der max. VDSL-Bandbreite        |

Tabelle 7: Optimierung nach Bandbreite am Beispiel FTTB - VDSL/(10)GPON

## 2.4 Bewertung der möglichen Vorleistungsprodukte bezüglich NGA-Interoperation

Zum aktuellen Stand werden unter Berücksichtigung des Ziels der kurzfristigen Umsetzbarkeit von NGA-Interoperationsmodellen die Produkte der Ebenen 0 und 2 als am meisten relevant betrachtet.

Aufgrund der hohen Investitionskosten ist die passive Infrastruktur ein zentrales Thema, sowohl im Hinblick auf Entbündelung von Segmenten innerhalb der Access-Topologie als auch bezüglich der Bereitstellung von solcher Infrastruktur für Betreiber der aktiven Infrastruktur. Als Vorleistungsprodukte der Ebene 0 werden

- Leerrohre
- Dark Fiber/Kupfer

derzeit als bedeutsam angesehen. Im Rahmen von Strukturförderung investieren z.B. Gemeinden oder Städte in eine Faserinfrastruktur und bieten diese potenziellen Zugangsnetzbetreibern an.

Die Nutzung der Ebene 0 setzt voraus, dass ein Zugangsnetzbetreiber in aktive Infrastruktur investiert, also die Netztechnologie bereitstellt und betreibt. Der Zugangsnetzbetreiber kann seinerseits den Diensteanbietern auf den Ebenen 1 bis 3 Vorleistungsprodukte anbieten. Diese Entscheidung ist von seinem Geschäftsmodell abhängig: Nachfrage, Kosten, Abwägung von Wertschöpfungstiefe gegen Investitionsrisiko, Randbedingungen bezüglich horizontaler und vertikaler Integration usw.

Im Rahmen des offenen NGA kristallisiert sich auf den höheren Ebenen der Zugang durch

- Ethernet-Bitstrom auf Ebene 2

als Vorleistungsprodukt mit der größten Akzeptanz von Netzbetreibern und Diensteanbietern heraus. Er bietet einen guten Kompromiss zwischen Flexibilität, Leistungsfähigkeit und Komplexität der Technik und Schnittstellen. Die neueren Zugangsnetztechnologien zur P2MP-Übertragung unterstützen Ethernet. Gleichzeitig bildet Ethernet die Basis zur Bereitstellung von Ebene 3-Produkten. Weiterhin sind bereits standardisierte

technische Schnittstellenspezifikationen verfügbar, so dass die kurzfristige Definition einer umfassenden NGA-Interoperationsschnittstelle als realistisch erscheint.

Die genannten Produkte sollen detailliert beschrieben und entsprechende Interoperationsschnittstellen bzw. -Spezifikationen vorgeschlagen werden.

Ebene 3-Vorleistungsprodukte, also IP-Bistream mit den verschiedenen Protokollerweiterungen, sind ebenfalls sehr relevant für NGA-Interoperation. Während die Ebenen 0 bis 2 im Wesentlichen die eigentliche Verbindung zwischen Diensteanbieter und Kunden bereitstellen, unterstützen die Ebene 3-Vorleistungsprodukte applikationsnahe Kontroll- und Steuerungsfunktionen. Aufgrund der vielfältigen Varianten und Möglichkeiten in der Ebene 3 sind die Einigung auf wenige Schnittstellenvarianten sowie deren Definitionen aufwändig. Die Produkte sollen beschrieben werden, die Ausarbeitung von NGA-Schnittstellendefinitionen ist hier nicht vorgesehen.

Ebene 1-Produkte sind in Form von Festverbindungen für Geschäftskunden im Markt etabliert, hierfür liegen standardisierte und erprobte Schnittstellendefinitionen vor. Ebene 1-Vorleistungsprodukte in Form von optischen Kanälen können in kommenden Netztechnologien in Bezug auf die gemeinsame Nutzung der einzelnen Faser eine wichtige Rolle spielen, da sie mit ihrer Eigenschaft der Trennung von Übertragungskanälen einen guten Kompromiss ermöglichen zwischen extrem kostenaufwändiger Parallelisierung der passiven Infrastruktur und dem Zugang auf Paketstromebene (Kanal). Die entsprechenden Netztechnologien sind derzeit jedoch noch nicht marktreif. Produkte zur passiven Entbündelung optischer Kanäle auf Ebene 0 stehen noch nicht zur Verfügung.

## **2.5 Beschreibung der besonders bedeutenden Vorleistungsprodukte**

### **2.5.1 Ebene 0-Vorleistungsprodukte**

Bei den Ebene 0 Vorleistungsprodukten soll zwischen Leerrohren und unbeleuchteten Glasfasern unterschieden werden. Der Ausgestaltung der Ebene 0 Vorleistungsprodukte liegt die in Abbildung 5 dargestellte Netztopologie zugrunde.

#### **2.5.1.1 Vorleistungsprodukt Leerrohre**

Beim Vorleistungsprodukt „Leerrohr“ wird von vorhandenen konventionellen Kabelanlagen zwischen Hauptverteiler und Endverzweiger und Leerrohranlagen ausgegangen, die im Rahmen der Breitbandprogramme des Bundes, der Länder, bei FTTx-Projekten von Netzbetreibern und bei zukünftigen FTTB/FTTH Projekten entstehen werden.

##### **2.5.1.1.1 Leerrohre im Haupt- und Verteilkabel-Bereich**

Im Hauptkabel- (HK) und Verteilkabelbereich (VK) sind Leerrohre mit den Durchmessern 125/110/100/90 mm üblich. Diese Leerrohre sollen einzeln oder unterteilt in sog. „Unter-Leerrohre“ (Sub-Ducts) zur Verfügung stehen. Als Sub-Ducts sind Leerrohre mit den Abmessungen 50/43, 40/33, 32/26 und 25/20 (Außen-/Innendurchmesser in mm) üblich. Wie eine Aufteilung aussehen kann ist in Abbildung 29 dargestellt.

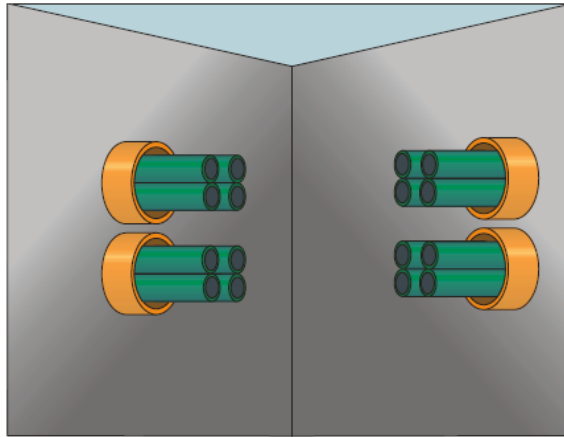


Abbildung 29: Leerrohre mit installierten „Sub-Ducts“ (Unter-Leerrohren) <sup>27</sup>

Die Sub-Ducts werden üblicherweise weiter unterteilt mit sog. Mikro-Leerrohren (Micro-Ducts, Mikro-Rohre). Wie eine Unterteilung in Micro-Leerrohre aussehen kann ist in Abbildung 30 dargestellt.

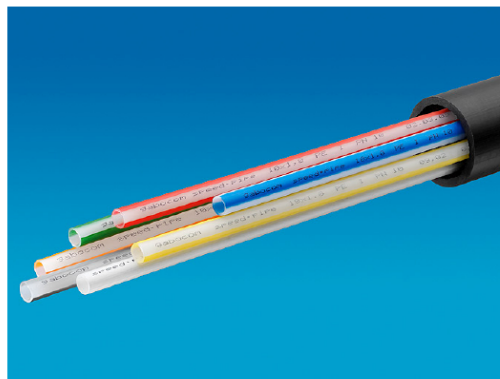


Abbildung 30: Mehrfachnutzung von vorhandenen Unter-Leerrohren mit Mikro-Rohren <sup>28</sup>

Nachfolgende Tabellen (Tabelle 8 und Tabelle 9) sollen ein „Gefühl“ vermitteln wie Unter-Leerrohre belegt und mit wie vielen Fasern die einzelnen Mikro-Leerrohre belegt werden können. Dabei wird davon ausgegangen, dass nicht einzelne Fasern in Mikro-Rohre eingezogen, sondern zum Einblasen geeignete Mini- und Mikro-Kabel verwendet werden.

<sup>27</sup> Quelle: CLC/TR 50510

<sup>28</sup> Quelle: NGA Feedernetz-Handbuch



| Sub-Duct | Mikro-Rohr |       |
|----------|------------|-------|
| D in mm  | 10/8       | 7/5,5 |
| 50       | 7          | 18    |
| 40       | 5          | 10    |
| 32       | 3          | 8     |

Tabelle 8: Beispiele für die Grenzen der Rohrbelegung

| Mikro-Rohr | Mikro-Kabel |        |
|------------|-------------|--------|
|            | Faserzahl   | D (mm) |
| 10/8       | 96          | 6,4    |
| 7/5,5      | 24 - 72     | 5,4    |
| 7/5,5      | 24          | 4,0    |

Tabelle 9: Beispiel für Grenzen der Faserbelegung

#### 2.5.1.1.2 Mikro-Rohre im Anschlussbereich

Im Netzbereich zwischen dem letzten Verteilpunkt und dem Hausübergabepunkt (HÜP) in Gebäuden sind heute üblicherweise keine Leerrohre verfügbar. Im Rahmen der derzeit laufenden Förderprojekte und zukünftigen FTTx-Projekten werden jedoch in diesem Netzabschnitt häufig auch Mikro-Rohre zur Verfügung stehen. Als Vorleistungsprodukt im Anschlussbereich sollen diese Mikro-Rohre betrachtet werden. Ein Überblick über die Rohrtypen und deren Kapazität ist in Tabelle 10 dargestellt.

| Mikro-Rohr | Mikro-Kabel |        |
|------------|-------------|--------|
|            | Faserzahl   | D (mm) |
| 7/5,5      | 24 - 72     | 5,4    |
| 7/5,5      | 24          | 4,0    |
| 5/3,5      | 12          | 2,5    |
| 5/3,5      | 4           | 2,4    |

Tabelle 10: Zuordnung von Mikro-Rohren und Mikro-Kabel im Anschlussbereich

#### 2.5.1.2 Vorleistungsprodukt Dark Fiber

Bei den Dark Fiber Vorleistungsprodukten soll zwischen den Anwendungen FTTC und FTTB/FTTH unterschieden werden. Außerdem wird für FTTB/FTTH die zu erwartende WDM-PON Technologie behandelt.

#### 2.5.1.2.1 Dark Fiber als FTTC

Für die Zuführung von Glaserkabeln zum Kupferdoppelader- oder Koaxialkabelnetz im Rahmen von FTTC Anwendungen ist von Punkt-zu-Punkt Verbindungen zwischen dem Hauptverteiler und dem Kabelverzweiger auszugehen. Es sollen einzelne Fasern und ganze Faserbündel (Kabel) in Betracht gezogen werden. Der zu verwendende Glasfasertyp ist in Kapitel 2.7.1.2 beschrieben.

#### 2.5.1.2.2 Dark Fiber als FTTB/FTTH

Im Rahmen dieser Anwendung ist von Punkt-zu-Punkt (PTP) und Punkt-zu-Multipunkt (PTMP) Verbindungen auszugehen. Es sollen einzelne Fasern und ganze Faserbündel (Kabel) in Betracht gezogen werden. Die zu verwendenden Glasfasertypen sind in Kapitel 2.7.1.2 beschrieben.

Die Dark Fiber Vorleistungsprodukte sollen auch die Glasfasereinrichtungen im Hauptverteiler (HVt), im Kabelverzweiger (KVz) und in den Endverzweigern (EVz bzw. Fiber Flexibility Points, FFP) sowie den Hausübergabepunkten (HÜP) und im Falle von FTTH die Glasfasereinrichtungen der Hausverkabelung entsprechend VDE-AR-E 2800-901 (siehe [4]) enthalten. Die FFPs sind passiv und können im Falle von PON-Netzen Splitter enthalten.

Das Fibermanagement an HVt und FFP ist in Dokumenten des FTTH Councils (FTTH Handbook, siehe [7]) und bei VDE (VDE Feedernetz Handbuch) beschrieben. Das "FTTH Handbook" wurde ursprünglich veröffentlicht, um eine unabhängige Informationsquelle über verfügbare Optionen des Einsatzes von Glasfasern bereitzustellen. Der Themenbereich wurde inzwischen erweitert und schließt technische Optionen zur Beleuchtung der Fasern ein. Er umfasst passive optische Netze und Active Ethernet sowie CPE.

Das Feedernetz Handbuch beschreibt, wie die Strukturen neuer Glasfasernetze aussehen können, welche Komponenten sie enthalten und gibt Hinweise auf planerische Grundlagen und deren Realisierung.

Zum Gebäudeanschluss (FTTB) und Wohnungsanschluss (FTTH) an Lichtwellenleiter-netze sind die zu berücksichtigenden Details in der VDE Anwendungsregel VDE-AR-E 2800 beschrieben (siehe [4]). Die VDE-Anwendungsregel behandelt den Anschluss eines einzelnen Gebäudes oder eines Standorts mit mehreren Gebäuden an externe optische Glasfasernetze zur Breitbandkommunikation. Eigenschaften und Elemente der optischen Gebäude- oder Standortinfrastruktur werden derart festgelegt, dass sie von mehreren Netzbetreibern und unabhängig vom verwendeten Übertragungssystem genutzt werden können.

Um einen Eindruck über die Ausführung eines Verteilpunktes und eines Hausübergabepunktes zu gewinnen, sind diese Elemente nachfolgend dargestellt.



29



30

Abbildung 31: Verteilpunkt und Hausübergabepunkt

#### 2.5.1.2.3 Vorleistungsprodukt „Reines WDM-PON“

Über die Anwendungen hinaus, die in Kapitel 2.5.1.2.2 beschrieben sind, soll die Möglichkeit gegeben sein, einzelne Wellenlängenpaare eines reinen passiven WDM-PONs als Vorleistungsprodukt der Ebene 0 zukünftig anbieten zu können. Diese Technologie befindet sich noch im Forschungs-/Entwicklungsbereich; es können derzeit noch keine interoperablen Spezifikationen für die passiven Multiplex-/Selektionselemente im Zusammenhang mit der aktiven Technik empfohlen werden.

Bei WDM-PONs werden in einem PTMP-Lichtwellenleiternetz über einen gemeinsamen Zubringer-Lichtwellenleiter mehrere Wellenlängenpaare übertragen, für Hin- und Rückrichtung je ein Paar pro optischen Netzabschluss (ONU), siehe Abbildung 32. Das Multiplexen und Demultiplexen der Wellenlängenkanäle im Netz kann mittels passiver Wellenlängenmultiplexer/Demultiplexer erfolgen. Alternativ können natürlich alle Wellenlängen über einen nicht wellenlängenselektiven Leistungsteiler, wie er beim TDM-PON verwendet wird, an alle ONTs verteilt werden. Die Selektion erfolgt dann mittels eines passiven zusätzlichen Filters am optischen Netzabschluss.

<sup>29</sup> Quelle: Sichert

<sup>30</sup> Quelle: Tyco

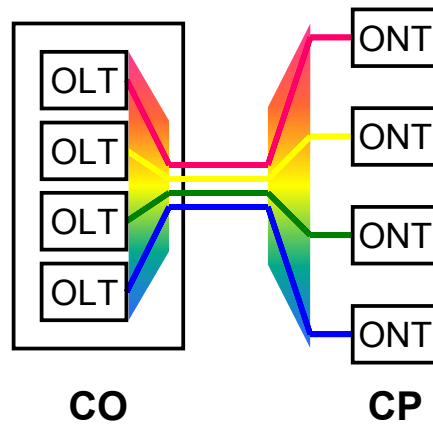


Abbildung 32: Reines WDM-PON <sup>31</sup>

## 2.5.2 Vorleistungsprodukt Ethernet-Bitstrom

Die Einrichtungen zur Bereitstellung des Vorleistungsprodukt auf Ebene 2 lassen sich in drei Segmente separieren: den Zugangsbereich (vom NID – Network Interface Device - beim Endkunden bis zum Uplink in Richtung Konzentrator-Netz), den Transportbereich (Transport und Aggregation im Konzentrator-Netz) und die Übergabeschnittstelle an den Diensteanbieter (A10-NSP).

Es ist häufig der Fall, dass die in Abbildung 33 grau hinterlegten Bestandteile, also UNI, Zugangs- und Konzentrationsnetz, durch denselben Anbieter erbracht und dem Diensteanbieter als Bitsrom-Zugang auf Layer 2 angeboten werden. Insbesondere für kleinere Zugangsnetzbetreiber ist es jedoch ebenfalls relevant, sich auf den Zugang zu beschränken und zur Weiterleitung Konzentrationsnetze von Drittanbietern zu nutzen (siehe auch Kapitel 1.1.3.1.1) - oder der Diensteanbieter holt sich den Verkehr ab und konzentriert ihn selbst im eigenen Netz weiter.

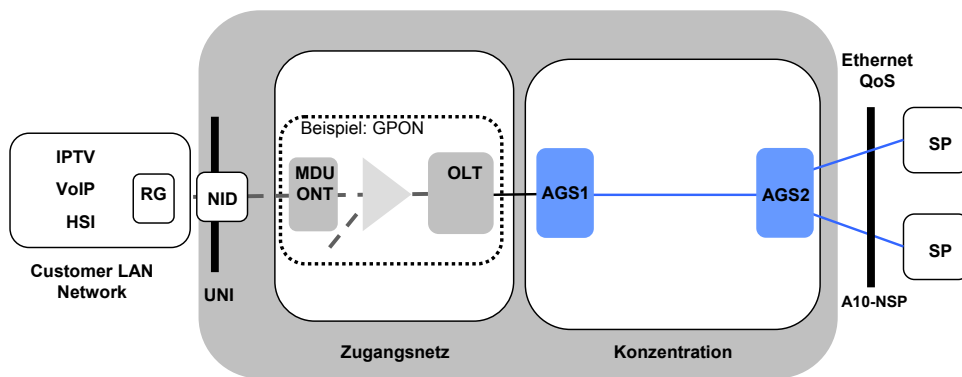


Abbildung 33: L2-BSA-Wholesale-Architektur (beispielhaft für kundenseitigen Triple Play Anschluss)

Es werden BSA-Dienstleistungen auf einer logischen N:1-Infrastruktur angeboten. Hierbei werden sowohl Unicast- als auch Multicast-Dienste (im Rahmen von IP-TV)

<sup>31</sup> Quelle: VDE.ARE-E 2800-901 [4]

über das Netz ermöglicht. Der Transport erfolgt durchgehend auf Layer 2. Der Dienst beinhaltet mehrere Serviceklassen mit unterschiedlichen Leistungsparametern, in die der Diensteanbieter seine Ethernet-Frames durch geeignete Kennzeichnung im Ethernet-Header einordnen kann.

In Abbildung 34 sind die erforderlichen Funktionen zur Realisierung eines L2-Vorleistungsprodukts am Beispiel eines GPON-Zugangsnetzes zusammengefasst. Das Zugangs- und Konzentrationsnetz muss unterstützende Funktionen, unabhängig von der konkreten Ausgestaltung des Zugangs- und Konzentrationsnetzes, bereitstellen damit sowohl QoS-Mechanismen als auch Multicast-Übertragung (für IP-TV) sichergestellt werden kann. In der Abbildung sind sowohl die wesentlichen unterstützenden Funktionen als auch deren Zuständigkeitsbereich erfasst worden.

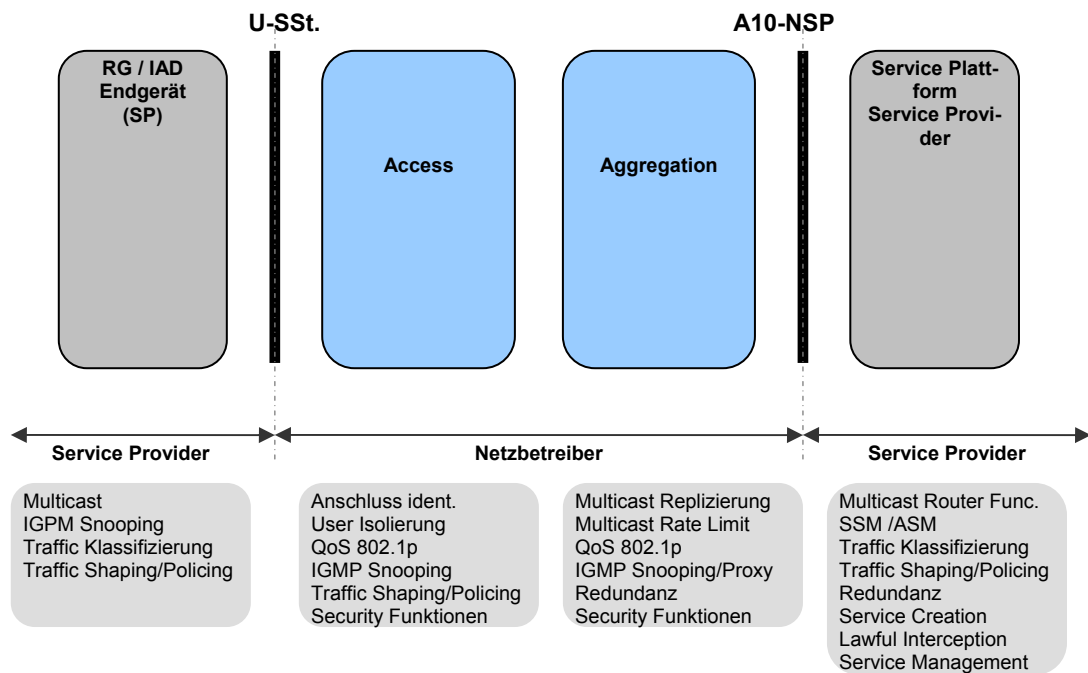


Abbildung 34: Erforderliche Funktionen zur Realisierung eines L2-Vorleistungsprodukts

## 2.6 Beschreibung weniger bedeutender Vorleistungsprodukte

### 2.6.1 Kurzbeschreibung der Ebene 1-Produkte

#### 2.6.1.1 Festverbindungen für Geschäftskunden

Festverbindungen (Standleitungen, Direktverbindungen, Leased Lines) sind dedizierte permanente Punkt-zu-Punkt-Datenverbindungen zwischen zwei Standorten eines Kunden bzw. dem Standort eines Kunden und dem Übergabestandort eines Diensteanbieters. In der Regel sind in der Ende-zu-Ende-Betrachtung Transportnetze involviert, welche mehrere Festverbindungen für effizienten Transport in Kanäle höherer Bandbreite aggregieren (Multiplexen), ggf. auch in Übertragungskanäle anderer Transporttechnologien verpacken und streckenweise dort transportieren. Wesentlich ist, dass an

beiden Enden der Festverbindung die gleichen Datenformate und -raten vorliegen und die SLA-Parameter eingehalten sind.

Sofern die Endpunkte einer Festverbindung geografisch nicht sehr nahe beieinander liegen beschränkt sich die Aufgabe im Zugangssegment auf die Anbindung des Kundenstandorts an den Übergabepunkt des Transportnetzbetreibers. Diese kann je nach Anforderungen über unterschiedliche Transportmedien mit der inhärenten Technologie oder auch gekapselt mit einer weiteren Übertragungstechnologie realisiert werden. Beispiele für letzteres sind Ethernet over OTH oder Ethernet over Radio (Richtfunk).

#### 2.6.1.1.1 PDH-Verbindungen

Schnittstellen für PDH-Festverbindungen (PDH: Plesiochrone Digitale Hierarchie) sind in der ITU-T-Empfehlung G.703 standardisiert. Sie umfassen Datenraten zwischen 64 kbit/s und 140 Mbit/s. In Europa sind die Formate E1 (2 Mbit/s), E3 (34 Mbit/s) sowie T3 (45 Mbit/s) verbreitet, mit dem allgemein wachsenden Bandbreitenbedarf und der Verbreitung von Ethernet verlieren PDH-Festverbindungen jedoch an Bedeutung. Relevant sind derzeit im Wesentlichen noch 2Mbit/s-Verbindungen (E1) über Kupfer-Doppelader sowie über Richtfunk.

PDH wird noch in bestehenden Einrichtungen eingesetzt, aber kaum mehr für neue Installationen vorgesehen. Als Technikplattform ist sie im NGA-Kontext daher nicht mehr relevant. Eventuelle Bedarfe können durch „Circuit Emulation“ z.B. über Ethernet bedient werden.

#### 2.6.1.1.2 SDH-Verbindungen

Die SDH (Synchrone Digitale Hierarchie) ist eine nach wie vor weit verbreitete Transportnetztechnologie. In der ITU-T-Empfehlung G.707 sind Bitraten, Multiplex- sowie Signalstrukturen festgelegt. Aufgrund der inhärenten SDH-Eigenschaften sind die Übertragungsraten sowie stabile Latenzzeiten garantiert, auch wenn die Verbindung über Netze mehrerer Betreiber geführt wird.

Die in der Regel verwendeten Bitraten sind 155 Mbit/s (STM-1), 622 Mbit/s (STM-4), 2,5 Gbit/s (STM-16), 10 Gbit/s (STM-64) sowie 40 Gbit/s (STM-256). Primäres Übertragungsmedium für SDH-Verbindungen ist Glasfaser, für STM-1 sind jedoch auch elektrische Schnittstellen definiert<sup>32</sup>. Access-Richtfunksysteme unterstützen in der Regel ebenfalls STM-1-Verbindungen.

SDH erlaubt auch die Übertragung anderer Paketdatenformate wie Fiber Channel, ESCON, FICON und Ethernet. Das GFP-Protokoll (Generic Framing Procedure, ITU-T G.7041) bildet die Rahmen dieser Formate in SDH-Container ab. Ein Beispiel hierfür sind EoSDH-Festverbindungen (Ethernet-over-SDH).

---

<sup>32</sup> über kurze Entfernungen, in der Praxis im Inhouse Bereich.

### 2.6.1.1.3 OTH –Verbindungen

Die ITU-OTN-Empfehlungen (OTN: Optical Transport Network) bilden den Rahmen für eine wellenlängenbasierte Transportnetztechnologie, die als Weiterführung der SDH gesehen werden kann und Wellenlängenmultiplex in die Transportnetzhierarchie einbezieht (OTH, Optical Transport Hierarchy). Im Kontext der Zugangsnetze sind die komplexen OTH Transportnetzfunktionen kaum relevant, allerdings werden die in G.709 standardisierten Signalstrukturen zunehmend eingesetzt und werden bei Wellenlängenverbindungen die SDH-Formate nach und nach verdrängen. OTH unterstützt unter anderem die transparente Übertragung von Ethernet, was mit ein Grund für die zunehmende Bedeutung von Ethernet in Transportnetzen ist. Entsprechend sind ebenso wie für WDM-Systeme auch für zahlreiche Netzknoten wie Router und Switches OTH-Schnittstellen verfügbar und in Betrieb.

Folgende Schnittstellen sind derzeit in G.709 definiert:

- CBR (Constant Bit Rate):        2,5 Gbit/s; 10 Gbit/s; 40 Gbit/s
- Fiber Channel:                    10 Gbit/s (FC1200)
- SDH:                                2,5 Gbit/s (STM-16); 10 Gbit/s (STM-64);  
    40 Gbit/s (STM-256)
- Ethernet:                          1 Gbit/s (1000BASE-X)  
    10 Gbit/s (10GBASE-R)  
    40 Gbit/s (40GBASE-R)  
    100 Gbit/s (100GBASE-R)

OTH-Festverbindungen sind insbesondere für Kunden interessant, die hohe garantierte Bandbreiten und geringe Latenzzeiten bei gleichzeitig relativ geringen Kosten pro Bandbreite benötigen. Vernetzte Rechenzentren fordern z.B. für Klimaanalyse-Anwendungen bereits heute Verbindungen mit bis zu 100 Gbit/s Übertragungsrate.

### 2.6.1.1.4 Ethernet (Punkt-zu-Punkt)

Ethernet-Festverbindungen werden häufig im CPE in andere Transportformate wie z.B. SDH oder OTH abgebildet. Ein wesentlicher Grund hierfür sind die Ende-zu-Ende-Überwachbarkeit der Verbindung aus Transportnetzbetreibersicht bis hin zum Endkunden sowie hohe SLA-Anforderungen (siehe auch vorhergehende Kapitel).

CPEs können jedoch auch direkt mit Ethernet über Kupfer oder Faser an den Transportnetz-Übergabepunkt (PoP) angebunden werden. Im IEEE 802.3ah Standard (Ethernet in the first mile, EFM) sind Protokolle zur Überwachung solcher Verbindungen sowie physikalische Ethernet-Schnittstellen für Übertragungsraten bis 1 Gbit/s definiert:

- CuDa / DSL-basiert:                2 Mbit/s (2Base-TL); 10 Mbit/s (10PASS-TS)  
    für Distanzen bis 2,7 km bzw. 750 m
- Single-Mode Einzelfaser:        100 Mbit/s (100BASE-BX10)  
    1 Gbit/s (1000BASE-BX10)

- Single-Mode Faserpaar: 100 Mbit/s (100BASE-LX10)  
1 Gbit/s (1000BASE-LX10)  
jeweils für Distanzen bis 10 km

Die 802.3ah-Prokollie lassen sich im Zugangsbereich auch zur Überwachung von Ethernet-Faseranbindungen höherer Bandbreite und Reichweite einsetzen.

Die Ende-zu-Ende-Qualität wird im Wesentlichen von der Art und Ausprägung der Transportnetze zwischen den Zugangsbereichen bestimmt. Ethernet-Festverbindungen können dort - wie oben beschrieben - über SDH- oder OTH-Netze in dedizierten Kanälen oder als virtuelle Verbindungen (Virtual Private Network, VPN) in Router-Netzen geführt werden.

#### 2.6.1.1.5 Fiber Channel

Fiber Channel (FC) ist ein Transportprotokoll zur seriellen Datenübertragung in Speichernetzwerken (Storage Area Networks, SAN), das vom InterNational Committee for Information Technology Standards (INCITS) standardisiert wurde. FC-Schnittstellen sind für Übertragungsraten bis zu 2 Gbit/s über Kupfer mit Reichweiten bis zu 50 m, über Glasfaser für Übertragungsraten bis 20 Gbit/s definiert. Für kleine Übertragungsraten sind hier Reichweiten im Bereich von 50 km möglich, bei Übertragungsraten von 8 Gbit/s ist die Grenze jedoch bereits bei 10 km erreicht.

Serielle FC-Schnittstellen sind für folgende Übertragungsraten definiert:

|               |        |               |         |
|---------------|--------|---------------|---------|
| 1.0625 Gbit/s | (1GFC) | 10.52 Gbit/s  | (10GFC) |
| 2.125 Gbit/s  | (2GFC) | 14.025 Gbit/s | (16GFC) |
| 4.25 Gbit/s   | (4GFC) | 21.04 Gbit/s  | (20GFC) |
| 8.5 Gbit/s    | (8GFC) |               |         |

Für FC-Festverbindungen im Zugangsbereich gilt Ähnliches wie für Ethernet: die FC-Schnittstellen erlauben die Anbindungen zu einem Transport-Übergabepunkt direkt mit Glasfaser über einige Kilometer. Für CPEs der SDH- und OTH-Netze sind jedoch Schnittstellen zur Weitbereichsübertragung von FC verfügbar (siehe Kapitel 2.6.1.1.2 und 2.6.1.1.3)

Im INCITS Entwurf für den Standard „FIBRE CHANNEL BACKBONE – 5“ ist neben der Abbildung von FC mit GFP in PDH, SDH/SONET und OTH auch die Abbildung auf TCP/IP (FC over TCP/IP backbone network), auf MPLS (FC over MPLS network using PW adaptation) sowie auf Ethernet (FC over Ethernet) beschrieben, so dass Festverbindungen für FC über alle Transportnetztechnologien möglich werden (siehe [13]).

#### 2.6.1.1.6 Escon

ESCON (Enterprise Systems Connection) ist ebenfalls ein Transportprotokoll zur seriellen Datenübertragung über Glasfaser. Es wurde von IBM zur Verbindung von Rechnern mit Peripheriegeräten entwickelt und erreicht bei einer Übertragungsrate von 17Mbyte/s eine maximale Distanz von 43 km. ESCON wurde bereits 1996 durch das ANSI X3T1-Komitee übernommen und wird dort als SBCON-Standard weitergeführt.



Mit den zunehmenden Anforderungen an Bandbreite und der Verbreitung von Fiber Channel und Ethernet hat ESCON an Bedeutung verloren, dennoch sind ESCON-Festverbindungen weiterhin in Betrieb. Aufgrund der protokollbedingten Latenzzeitbeschränkung ist ESCON für die Weitbereichsübertragung nicht relevant. Neben Einzelverbindungen werden zur Erweiterung der Datenraten auch parallele Kanäle über WDM eingesetzt.

#### 2.6.1.2 Funkfrequenz- und Optische Kanäle

##### 2.6.1.2.1 Funkfrequenzkanäle

Die Bereitstellung von Funkfrequenzkanälen ist mit Funksystemen verknüpft (siehe Kapitel 2.3.2). Das sind zum einen Mobilfunksysteme sowie Richtfunkstrecken zur Verbindung von Mobilfunkstationen oder auch für Festnetzverbindungen für Kunden (siehe Kapitel 2.3.2.3 „Richtfunk“).

Funkfrequenzkanäle als Produkt sind mit dem Nutzungsrecht für bestimmte Frequenzbänder und sind daher Thema der Regulierung, bzw. in Fällen, in denen solche Rechte gehandelt werden können, auch ein kommerzielles Thema (wie z.B. bei Mobilfunkfrequenzen).

##### 2.6.1.2.2 Optische Kanäle

Optische Kanäle als Ebene 1-Produkte sind in offenen Strukturen – ähnlich wie Funkfrequenzkanäle – mit dem Nutzungsrechte auf einem Medium zu betrachten, in diesem Fall auf Glasfasern. Auch hier ist der Betrieb der Kanäle und die Einhaltung der jeweiligen technischen Randbedingungen Aufgabe der aktiven Technik.

Die Entbündelung auf Ebene 1 ist in Zugangsnetzen derzeit nicht üblich, die Nutzung mehrerer Kanäle auf einer Faser liegt in der Hand jeweils eines Betreibers. Beispiele hierfür sind WDM-Systeme, in denen üblicherweise ein Betreiber sowohl die Optischen Multiplexer als auch die wellenlängenbestimmenden optisch-elektrischen Wandler (Transponder) bereitstellt.

In anderen Segmenten sind jedoch bereits Netze in Betrieb, in denen die WDM-Transponder Teil der der Kundenschnittstellen sind. Da hier die Transponderpaare zur Anbindung der Kundengeräte an das Optische Netz („Grey Interfaces“) wegfallen, ergeben sich ökonomische Vorteile sowie eine günstigere Gesamtverfügbarkeit.

Ein mögliches Anwendungsbeispiel im Zugangsnetz ergibt sich aus dem in Kapitel 2.3.1.1.1, „Fiber-to-the-Home“, beschriebenen Beispiel. In Abbildung 20 ist im KVz nur ein aktiver Knoten dargestellt. Es wäre möglich, im HVT mehrere Knoten verschiedener Betreiber zu kollokieren, die für die Strecke HVT – KVz ein passives WDM-System gemeinsam nutzen.

Die Standards für 10G-PON unterstützen mehrere PON-Strukturen auf einer gemeinsamen passiven Infrastruktur, die durch Zuordnung dedizierter Wellenlängen separiert sind. Man geht davon aus, dass die aktive Technik von einem Betreiber bereitgestellt wird. Es ist jedoch denkbar, dass die Wellenlängen den aktiven Komponenten von z.B. zwei Betreibern zugeordnet werden.

Das Prinzip der Entbündelung auf Ebene 1 setzt jedoch voraus, dass die Wellenlängen zentral verwaltet und zugeordnet werden und dass alle beteiligten Betreiber und Geräte die Vorgaben einhalten, um störungsfreien Betrieb zu gewährleisten.

Die in Kapitel 2.3.1.1.6 beschriebene „Open Lambda Initiative“ basiert auf diesem Prinzip der Entbündelung auf Ebene 1, geht jedoch in mehrerlei Hinsicht über die hier erwähnten Beispiele hinaus. Zum einen bezieht die Architektur das Metro-Netz mit ein, zum anderen können dort unterschiedliche Technologien auf eine gemeinsame Faser-Infrastruktur zugreifen, und schließlich wird dort ein zentrales, dynamisches Wellenlängen-Management in Betracht gezogen, das auch andere als bisher standardisierte Frequenzraster zulässt. Wie dort ebenfalls verdeutlicht, hat OLI eine mittelfristige Perspektive. Der Anreiz für OLI ist die Öffnung der Netze unterhalb der Ebene 2, ohne die Faser-Infrastruktur verdoppeln bzw. vervielfachen zu müssen.

## 2.6.2 Kurzbeschreibung des Ebene 3-Produkts IP Bitstrom

Das Produkt IP-Bitstrom setzt voraus, dass eine bestehende Teilnehmeranschlussleitung zum Endkunden (z.B. seine xDSL-Konfiguration in einem Ortsanschlussnetz) einem Nachfrager zur Verfügung stellt gestellt wird. Die komplette Teilnehmeranschlussleitung oder der hochbitratige Teil der Teilnehmeranschlussleitung wird dem Bitstromnachfrager nicht physisch, sondern mit hochbitratiger Übertragungskapazität versehen „virtuell“ überlassen. Der Vorleistungsanbieter behält den physischen Zugriff auf diesen Teil des Bitstromproduktes. Entsprechend findet keine Kollokation statt. Trotzdem wird der Bitstromnachfrager so behandelt, als ob er über die Teilnehmeranschlussleitung verfügen könnte.

Der Bitstromnachfrager muss gemäß seiner eigenen Netztopologie entscheiden, an welchem Übergabepunkt er das Bitstrom-Produkt übernimmt:

- Übergabe am Zugangsknoten  
Bei dieser Übergabemöglichkeit umfasst die Zuführungsleistung keine Transport-, sondern nur eine Konzentrationsleistung. Denn der Zugangsknoten befindet sich am Standort des Hauptverteilers. Der Zugangsknoten bündelt den Verkehr der Teilnehmer und übergibt ihn an größere Übertragungssysteme. Bei diesem Übergabepunkt auf der untersten Netzebene wird die vergleichsweise höchste Infrastrukturleistung des Bitstromnachfragers erforderlich.
- Übergabe am regionalen PoP  
Hier umfasst die Transportleistung lediglich die Konzentration des Verkehrs bis hin zum Gateway des IP-Kernnetzes.
- Übergabe am Core-PoP  
Hier ist der Ort der Übergabe auf der obersten Netzebene, im Kernnetz angesiedelt. Entsprechend umfasst die Leistung sowohl den Transport im Konzentrationsnetz als auch im Kernnetz. Bei dieser Bitstromübergabe wird die vergleichsweise geringste Infrastrukturleistung des Bitstromnachfragers fällig

## 2.7 NGA-Schnittstellen und Spezifikationen

### 2.7.1 Spezifikation von Ebene 0-Vorleistungsprodukten

#### 2.7.1.1 Spezifikationen für Leerrohre

Als Grundlage für die Spezifikation der Kabelanlagen und Leerrohre für den Lichtwellenleiterzugang zum Endkunden soll Anhang A (Liste der Normen) und Anhang B (Rohre und Mikro-Rohre) des Leitfadens für die Erstellung von FTTx-Lichtwellenleiternetzen (CLC/TR 50510, [20]) dienen. Dieser Leitfaden wurde vom Technischen Komitee der CENELEC TC 86A erarbeitet.

#### 2.7.1.2 Spezifikationen für Dark Fiber

Für die Glasfaserverkabelung im Zugangsbereich sollen Singlemode-Glasfasern verwendet werden.

Als Standardfaser soll im HK-Bereich die klassische Faser nach Standard G.652.D (IEC Class B1.3) in Betracht kommen.

Im Verteilkabelbereich können und in der Hausverkabelung sollen außer der klassischen Singlemodefaser auch biegeunempfindliche Fasern entsprechend ITU Spezifikation G.657.A (IEC Class B6\_a) zum Einsatz kommen.

Als Lichtwellenleiter-Steckverbinder sollen Steckverbinder der Bauart LC und SC zum Einsatz kommen. Diesbezügliche einschlägige Normen sind im Anhang A der CLC/TR 50510 aufgeführt (siehe [20]).

### 2.7.2 Schnittstellen für Ethernet-Bitstrom (Layer-2-Bitstrom)

Die Definition der Schnittstellen für Ethernet-Bitstrom orientiert sich an den NGA-Schnittstellendefinitionen des Broadband Forum (siehe [17], [18]). Abbildung 35 zeigt eine technologieneutrale Variante der dort verwendeten Architekturmodelle, in der die hier relevanten Schnittstellen markiert sind: die zentrale Übergabeschnittstelle A10-NSP zur Diensteanbieterseite sowie die U-Schnittstelle zur Endkundenseite, die im weiteren als Rahmenspezifikation ausgearbeitet werden. Die Detailspezifikation erfolgt im zweiten Ergebnisdokument, der Ebene 2-Bitstrom Leistungsbeschreibung.

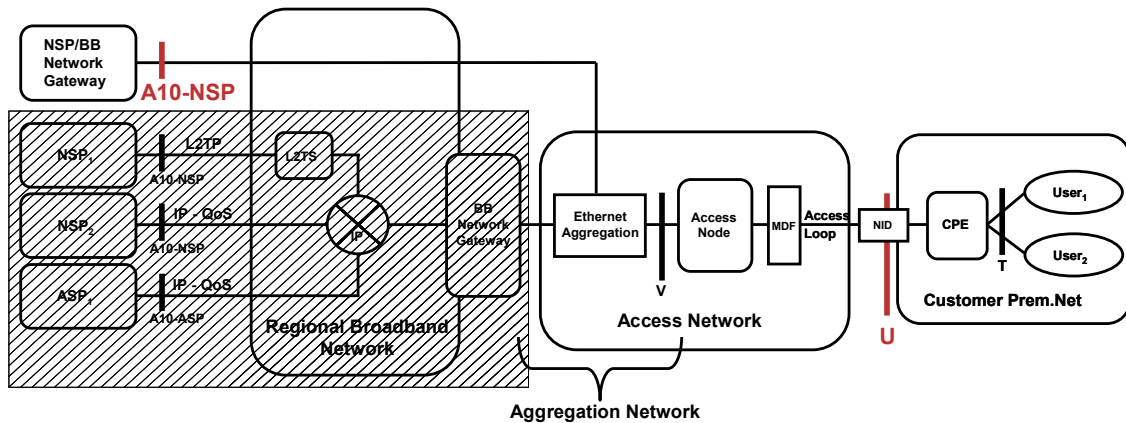


Abbildung 35: Schnittstellen für Ethernet-Bitstrom

### 2.7.2.1 Zentrale Übergabe-Schnittstelle (A10-NSP)

Die A10-NSP Schnittstelle stellt die netzseitige Übergabeschnittstelle dar; diese ist als Layer 2 Ethernet-Schnittstelle definiert.

Die Übergabe der Kundenverkehre auf der A10-NSP-Schnittstelle muss eine Anschlussidentifizierung und damit die Identifizierung des Kunden eindeutig und sicher ermöglichen. Dies kann mittels DHCP Option82 bzw. PPPoE Intermediate Agent in einer N:1-Umgebung erfolgen.

Die A10-NSP implementiert QinQ Tagging, z.B. nach folgendem Schema:

- C-VLAN adressiert den Service des Diensteanbieters
- S-VLAN adressiert unterschiedliche N:1 Instanzen

Die A10-NSP Schnittstelle muss CoS-Klassen IEEE 802.1p unterstützen (p-bits des S-VLAN-tags) sowie Multicast- und Unicast-Verkehre übertragen können. Auf der A10-NSP soll die Übertragung von IPoE sowie PPPoE Sitzungen unterstützt werden.

Zur Erhöhung der Verfügbarkeit ist die A10-NSP Schnittstelle mit Link-Redundanz (LAG mit LACP) auszuführen. Physikalisch kann die A10-NSP mit 1 Gigabit IEEE 802.3z und 10 Gigabit Ethernet IEEE802.3ae Schnittstellen realisiert werden.

#### 2.7.2.1.1 Transportleistung des Anbieters

Der Anbieter liefert eine Transportleistung zwischen der U-Schnittstelle und der A10-NSP für die zu übergebenden Verkehre.

Die im Rahmen der Transportleistung zu erfüllenden Parameter sind Latenz, Jitter und Paketverlustrate. Ebenso muss die nicht transparente Behandlung bestimmter Protokolle – z.B. IGMP Join and Leave Delay beachtet werden.

Eine Überwachung der Transportleistung kann durch den Diensteanbieter erfolgen.

### **N:1 Transporteigenschaft inklusive Multicast**

Bei der N:1 Aggregationsleistung stellt der Anbieter eine Wolke/Instanz zur Verfügung, in der alle jeweiligen Services von N Endkunden zu einer Übergabeschnittstelle transportiert werden.

Multicast stellt besondere Anforderungen an die Übergabeschnittstelle, da hier eine Interaktion auf Protokollebene (mittels IGMPv2/v3) zwischen Zugangsnetz und Diensteanbieter statt findet. Der Multicast Datenverkehr inkl. IGMP wird in einem separaten VLAN an der A10-NSP übergeben, durch das gesamte Netz als solches übertragen und an der U-Schnittstelle übergeben.

Weiterhin ist durch den Anbieter ein IGMPv2/v3-Proxy zu implementieren, um die IGMP-Last an der A10-NSP des Diensteanbieters zu minimieren.

#### **2.7.2.1.2 U-Schnittstelle und Access**

Die U-Schnittstelle stellt die endkundenseitige Schnittstelle dar und wird üblicherweise durch Ethernet oder VDSL realisiert. Die U-Schnittstelle unterstützt VLAN-Tagging und eine Klassifizierung der eingehenden Frames in CoS-Klassen. Die U-Schnittstelle soll IPoE (IPv4/IPv6) sowie PPPoE unterstützen.

Zur Identifizierung des Endkundenanschlusses sind in dem Access-Node PPPoE Intermediate Agent (IA) und DHCP Option 82 für IPoE notwendig. Für jeden Endkundenanschluss wird eine eindeutige Anschluss-ID, die den jeweiligen Kundenanschluss eines Diensteanbieters beschreibt, eingefügt und zur A10-NSP übertragen.

Um dem Diensteanbieter die Nutzung beliebiger VLAN-IDs zu ermöglichen ist in dem Access-Node VLAN-Translation notwendig. Der Zugangsanbieter muss im Rahmen seiner technologischen Möglichkeiten sicherstellen, dass beliebige VLAN-IDs vom Diensteanbieter genutzt werden können. VLANs für den Multicast Transport sind pro Diensteanbieter spezifisch und einmalig.

Die Bereitstellung von IP-TV-Diensten (Multicast) erfordert IGMP Snooping und IGMP Proxy-Funktionalität in den Access-Nodes. Weitere für Multicast-Dienste im Access-Netzwerk benötigte Funktionen sind:

- Konfigurationsmöglichkeit für die Anzahl maximal gleichzeitig aktiver Multicast-Streams pro Port
- Group Record Processing (nur Verarbeitung gültiger Records)
- IGMP immediately leave (IGMP fast leave)
- Multicast-Gruppen Access Listen (Blacklist/Whitelist)
- Service-Splitting von Multicast und Unicast (Auftrennung in zwei VLANs auf Uplink-Seite)
- Unterstützung SSM Source Specific Multicast

Die Umsetzung von endkundenbezogenen Sicherheitsfeatures ist notwendig:

- Anti IP-Spoofing (bei IPoE)
- Port Isolation (Kommunikation zwischen an verschiedenen U-Schnittstellen angeschlossene Kunden darf nur über das Netz des Diensteanbieters möglich sein)
- Dynamic ARP Inspection (DAI) für IPoE basierende Services
- Rate Limiter (U-Schnittstelle)
- Mac Pinning im Zugangsnetz
- Sperren von Multicast

#### 2.7.2.1.3 Quality of Service (Dienstgüte)

Im Netz des Anbieters wird QoS auf Layer 2 realisiert (CoS / p-bits). Es stehen mindestens 4 Verkehrsklassen mit definierten Leistungsparametern (Delay, Jitter, Paketverlust und ggf. Bandbreite) zur Verfügung. Die Klassendefinitionen ermöglichen den Transport von Diensten mit unterschiedlichen Anforderungen (VoIP, HSI, IP-TV, Geschäftskunden-Profile ...).

Der Diensteanbieter kann durch geeignetes Setzen der p-bits (S-VLAN an der A10-NSP, C-VLAN an der U-SSt.) bestimmen, in welcher QoS-Klasse ein bestimmter Dienst in Up- und Downstream transportiert wird. Im C-Tag können alle p-Bit-Werte von 0-7 genutzt werden, wobei diese zwischen den Betreibern zu vereinbaren sind.

Die Dienstegüte realisiert eine DiffServ (Differentiated Services) Transparenz, so dass die im Ethernet-Transport-Frame gekapselte Layer-3-Information nicht durch den Anbieter modifiziert wird.

## 3 Themenbereich Geschäftsprozesse

### 3.1 Ausgangslage und Zielsetzung

#### 3.1.1 Ausgangslage

Es besteht Einigkeit in der Arbeitsgruppe, dass die Schaffung abgestimmter und standardisierter Geschäftsprozesse wesentlicher Erfolgsfaktor für Interoperabilität in einer NGA-Welt sein wird.

Die Gestaltung von Prozessen ist dabei weniger von einer konkreten Produktausgestaltung abhängig als die Ausgestaltung der technischen Interoperabilität. Das Prinzip des Zusammenwirkens zwischen einem in der Beziehung zum Endkunden stehenden Diensteanbieter mit einem die Vorleistung bereitstellenden Netzbetreiber ist keine Besonderheit von NGA-Netzwerken, sondern ist heute schon eine übliche Situation im wettbewerblich strukturierten Telekommunikationsmarkt. Insofern sind auch viele Erfahrungen aus der heutigen Welt auf NGA übertragbar.

Allerdings sind viele Geschäftsprozesse zwischen den verschiedenen Marktteilnehmern heute noch nicht so gestaltet, dass sie optimale Qualität für den Kunden bieten und Ineffizienzen vermieden werden:

- Während Neu-Anschalteprozesse zwar im Mobilfunk aus Kundensicht meist unproblematisch laufen, ist dies im Festnetz häufig nicht der Fall. Wechselprozesse zwischen verschiedenen Anbietern bereiten in allen Netzen häufig Probleme. Bei Technikereinsätzen kommt es zu häufig vor, dass die Terminabsprache nicht funktioniert und dann entweder der Endkunde nicht anwesend ist oder der Techniker nicht erscheint.
- Es fehlt zum Teil an einer hinreichend guten Schnittstellenbeschreibung und allgemeingültigen Vereinbarungen bei der Zusammenarbeit der Anbieter, z.B. über eindeutige, zeitnahe Rückmeldungen, so dass der Kunde für ihn verständlich informiert werden kann.
- Prozesse und Orderschnittstellen sind teilweise nicht massenmarktfähig (etwa Faxschnittstellen) oder extrem fehleranfällig.
- Die Dienste- bzw. Servicetransparenz ist für den Verbraucher heute oft nicht ausreichend, so dass die gesamte Branche unter einem schlechten Ruf leidet.

Diese Probleme drohen sich in einer komplexeren NGA-Welt zu verschärfen, wenn es nicht gelingt, frühzeitig massenmarktfähige Prozesse und Schnittstellen zu definieren. Zwei Entwicklungen werden maßgeblich zu einer steigenden Komplexität im NGA beitragen:

So werden – horizontal – auf bestimmten Ebenen, insbesondere bei Bau und Betrieb von NGA-Netzen wesentlich mehr Beteiligte agieren, da nicht mehr ein flächendeckender Infrastruktur-Ausbau und -Betrieb durch einen einzigen Beteiligten zu erwarten ist.

Zudem wird voraussichtlich auch vertikal eine größere Anzahl von Beteiligten an der Bereitstellung von Diensten an den Endkunden mitwirken, etwa durch das Auseinanderfallen von Netzbau und -betrieb oder die Einbindung von Aggregatoren / Integratoren, die die Bündelung der verschiedenen lokalen / regionalen Netze für übergreifende Diensteanbieter vornehmen.

### 3.1.2 Zielsetzung

NGA kann im Markt nur dann zum Erfolg werden, wenn die Erwartungen aller Marktteiligten, insbesondere aber des nachfragenden Endkunden, erfüllt werden. Seitens der privaten und gewerblichen Nutzer bestehen klare Erwartungen an breitbandige Kommunikationsdienste:

- *Schnell / leistungsfähig*: Hohe Bandbreite, überall, dienstgerechter Datendurchsatz
- *Preiswert*: Bedarfsgerechte Kommunikationsdienste zum guten Preis.
- *Einfach*: Dienste- bzw. Servicetransparenz, hohe Qualität bei Betrieb und Service, einfache Wechsel (Unabhängigkeit von Infrastruktur- und Service Providern)
- *Sicher*: Verlässliche Qualität, minimale Störungsgefahren, Datenschutz
- *Vielfältig*: Verfügbarkeit von und Zugang zu Applikationen, Internetdienste, Webservices, Cloud Services, Multimedia und neue Dienste, z.B. "value added services" wie Social Networks, Online Gaming.<sup>33</sup>

Diese Nutzererwartungen können am besten in einem funktionierenden Wettbewerb der Dienstangebote erfüllt werden. Dieser muss so ausgestaltet sein, dass Ineffizienzen bestmöglich vermieden werden. Insbesondere sind die Transaktionskosten im Zusammenwirken der verschiedenen Beteiligten möglichst gering zu halten, um größtmögliche Wertschöpfung gerade auch für die in Infrastruktur investierenden Unternehmen zu erreichen.

NGA kann im Markt nur zum Erfolg werden, wenn es zu einem breit akzeptierten und eingesetzten Produkt wird. Hierfür bedarf es der Vermarktungsleistung vieler Diensteanbieter, die für den Kunden den entscheidenden Mehrwert durch das Angebot innovativer und im Wettbewerb überzeugender Dienste liefern können. Gleichzeitig müssen aber auch die für das Zusammenwirken der verschiedenen Ebenen der Lieferkette zum Endkunden entwickelten Geschäftsprozesse massenmarktfähig ausgestaltet werden.

Die Prozessabsprachen müssen alle erforderlichen Ebenen der Lieferkette einschließen, um dem Endkunden die notwendigen Services entsprechend seinem Bedarf in einem funktionierenden Wettbewerb anbieten zu können. Wie bei den technischen Schnittstellen sollten standardisierte, marktreife und massenmarktfähige Prozessmodelle angestrebt werden, um auch in diesem Bereich effiziente und offene Strukturen im Interesse einer hohen Kundenzufriedenheit zu erreichen.

---

<sup>33</sup> vgl. [2], Mandat der Arbeitsgruppe „Interoperabilität“



Hierzu sind Schnittstellen und Prozesse sowohl vertikal zwischen den verschiedenen Beteiligten der Lieferkette als auch horizontal zwischen Wettbewerbern zu vereinbaren. Verbindliche Service Level Agreements können dabei ein geeignetes Mittel sein, um angemessene Quality of Service-Standards zu erreichen und zu halten.

### 3.2 Vorgehensweise

Angesichts der Vielzahl von – potentiell – Beteiligten, der großen Zahl unterschiedlicher Vorgänge und der großen Breite an denkbaren Zugangsvarianten auf den verschiedenen technischen Ebenen ergibt sich eine extreme Variationsvielfalt zu betrachtender Geschäftsprozesse. Um die daraus entstehende Komplexität zu beherrschen, hat die Arbeitsgruppe zunächst die Klärung zu den folgenden Punkten vorgenommen:

- *Beteiligte und ihre Rollen* in den Prozessen für das Anbieten von NGA-Zugangsdiensten, sowie die Identifikation der besonders klärungsbedürftigen Schnittstellen.
- Identifikation und Priorisierung der zu betrachtenden *Vorgänge* (aus Endkundensicht)
- Festlegung auf ein *Produkt* für die exemplarische Erarbeitung modellhafter Geschäftsprozesse
- Sammlung *potentieller Elemente von Absprachen und Standardisierungen* im Bereich Geschäftsprozesse

Diese Zusammenstellungen erlauben es, Arbeitsumfänge zu erfassen und zum Zwecke einer Priorisierung die wichtigsten Schnittstellen und Prozesse zu identifizieren und sich für die Betrachtung zunächst auf ein bestimmtes Produkt festzulegen.

Maßstab für diese Priorisierungs-Entscheidung ist die Relevanz von Absprachen und Standardisierungen für die jeweiligen Vorgänge, Schnittstellen und Produkte. Standardisierung und Absprachen bringen insbesondere dort einen konkreten Mehrwert, wo besonders häufig wiederkehrende Abläufe zu erwarten sein werden und / oder wo eine Vielzahl miteinander in ähnlichen Rolle agierende Akteure zu koordinieren sind, so dass durch Absprachen die Transaktionskosten für viele Beteiligte gesenkt werden können.

#### 3.2.1 Die Beteiligten und ihre Rollen

Die Aufstellung der Beteiligten orientiert sich an den verschiedenen Rollen, die sie im Verhältnis zu den anderen Beteiligten bzw. dem Endkunden einnehmen können. Hieraus ergibt sich ein Stufenmodell, das zwar Parallelen zu dem für den technischen Bereich entwickelten Ebenenmodell aufweist, diesem aber nicht zwangsläufig folgt, weil es für die wahrgenommene Rolle zum Teil nicht darauf ankommt, auf welcher technischen Ebene der jeweilige Beitrag erbracht wird.

Auf dieser Basis wurden in der Arbeitsgruppe die folgenden Beteiligten / Rollen identifiziert:

- der Inhaber der NGA-Infrastruktur
- der Betreiber des NGA-Netzes (und damit potentieller Vorleistungsanbieter für den Zugangs-Diensteanbieter des Endkunden)
- möglicherweise Integratoren, welche die Zusammenführung von NGA-Vorleistungsanbietern und Endkunden-Diensteanbietern zu einem eigenen Geschäftsmodell entwickeln
- die Zugangs-Diensteanbieter, die die direkte Kundenbeziehung mit dem Endkunden haben
- ggf. noch Anbieter von Anwendungs- bzw. Inholdediensten, die ihrerseits in einer direkten Beziehung zum Endkunden und/oder zum Zugangs-Diensteanbieter des Endkunden stehen können.

Aus dieser Aufstellung ergibt sich unter der wahrscheinlichen Annahme, dass die Zahl der potentiellen horizontalen Wettbewerber auf den höheren Stufen zunimmt, das nachstehende Stufenmodell in der Form einer „umgekehrten Pyramide“:

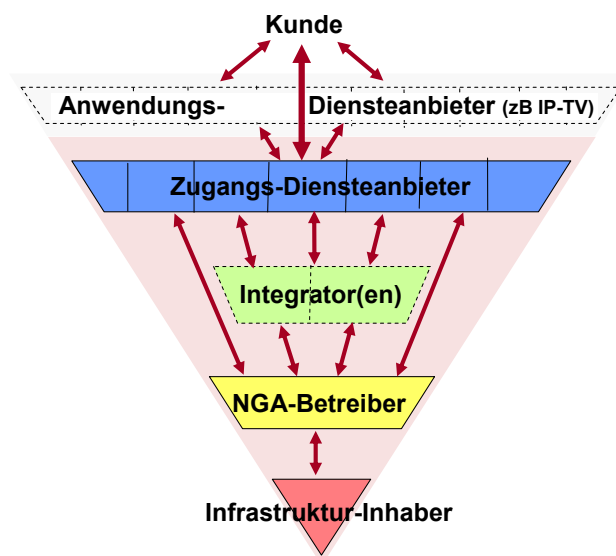


Abbildung 36: Beteiligte und Beziehungen

In vielen Konstellationen werden die verschiedenen definierten Rollen nicht alle von unterschiedlichen Beteiligten wahrgenommen werden, sondern es ist je nach technischer und wirtschaftlicher Ausgestaltung der konkreten Situation denkbar, dass mehrere Rollen innerhalb einer Organisation erbracht werden. Im Extremfall findet die gesamte Leistungserbringung aus einer Hand statt, wenn das ausbauende Unternehmen das Netz auch selbst betreibt und mit einem eigenen Retail-Angebot auch an die Endkunden vermarktet. Die differenzierte Betrachtung kann aber auch in diesen Fällen hilfreich sein, um die trotzdem notwendigen internen Abläufe zu verdeutlichen und dabei Schnittstellen zu identifizieren, an denen die Anbindung alternativer Beteiligter möglich wäre.

Im Ergebnis wird es notwendig sein, definierte Prozesse über die gesamte Lieferkette abzustimmen, um sicherzustellen, dass alle notwendigen Beiträge der verschiedenen Beteiligten verfügbar sind. Es ist jedoch keineswegs zwangsläufig, dass für alle Vorgänge und in den verschiedenen Konstellationen immer Beiträge aller definierten Beteiligten erforderlich sein werden. Daneben wird es in einigen Bereichen, gerade in dem möglichen Verhältnis von Infrastruktur-Inhaber und NGA-Betreiber wegen der Besonderheiten der jeweiligen Netze, auch immer wieder einen Bedarf für individuelle Absprachen geben.

Zum Zwecke der für eine Komplexitätsreduktion notwendigen Priorisierung hat die Arbeitsgruppe deshalb entschieden, sich zunächst auf die in jedem Fall relevante **Schnittstelle zwischen Endkunden-Diensteanbieter** (mit eigenem Netzbetrieb - in Folgenden „EKP“) **und NGA-Vorleistungsanbieter (im Folgenden NGA-Betreiber oder kurz NGAB)** zu konzentrieren.

Es kann damit bewusst der Einsatz eines Aggregators / Integrators durch den EKP ebenso außer Betracht bleiben wie die Frage, ob der NGAB eine eigene oder eine fremde Infrastruktur nutzt, da davon auszugehen ist, dass in den Verhältnissen zwischen EKP und Integrator bzw. NGAB und dem Infrastrukturfragen Fragen in bilateralen Vereinbarungen geregelt werden können und es weniger den Bedarf an standardisierten Absprachen gibt.

### 3.2.2 Übersicht der zu betrachtenden Vorgänge

Es gibt eine Vielzahl von möglichen Vorgängen im Laufe des Lebenszyklus eines Telekommunikationskunden, die ein Zusammenwirken der NGA-Kooperationspartner erfordern. Die Vorgänge gruppieren sich zunächst in Oberpunkte, die ein konkretes Ziel aus Kundenperspektive benennen (also z.B. Anschaltung; Beendigung oder Entstörung eines Anschlusses). Viele Vorgänge gliedern sich wiederum in Unterprozesse (Module), die zu durchlaufen sind, um das übergeordnete Ziel zu verwirklichen. Neben den aus Kundensicht initiierten bzw. benötigten Vorgängen besteht auch die Notwendigkeit für weitere aus Diensteanbieter- bzw. Betreibersicht erforderliche Prozesse.

Die Liste der notwendigen Prozesse ist zunächst einmal weithin unabhängig von der Frage, auf welcher Ebene das Vorprodukt angeboten wird.

- Bereitstellung (Anschaltung/Aktivierung), einschließlich Verfügbarkeitsprüfung, Auftragserteilung, -verarbeitung und Koordination Technikereinsatz
- Kündigung (Beendigung durch EKP oder NGAB)
- Entstörung, einschließlich Fehlerdiagnose und Technikereinsatz
- Anbieterwechsel: Wechsel des Endkundenproviders (Elemente von Bereitstellung und Beendigung zzgl. Notwendigkeit zeitlicher Koordination)
- Vertragsänderungen, insbesondere Leistungsänderungen (weitgehend analog zur Bereitstellung, ggf. Elemente Beendigung) und Umzug (Wechsel des Leistungsortes - weitgehend analog zur Bereitstellung, zusätzlich Elemente Beendigung und Notwendigkeit zeitlicher Koordination)

- Rechnungsstellung an Endkunden (Rechnungserstellung und Rechnungsprüfung)
- Rechnungsstellung Vorleistungen (Rechnungserstellung und Rechnungsprüfung)
- Veränderungen in der Vorleistungsgestaltung (bei gleichbleibender Endkundenbeziehung) durch Wechsel von Vorleistungsprovider und/oder Vorleistungsprodukt
- Sperre durch Diensteanbieter

Angesichts dessen, dass oberstes Ziel der Arbeit eine Verbesserung der Servicequalität für den Endnutzer ist, hat sich die Arbeitsgruppe zunächst auf die für den Endnutzer unmittelbar relevanten und besonderes häufig relevanten Prozesse konzentriert, zumal hier in der heutigen TAL-Welt noch deutliches Optimierungspotential gesehen wird. Entsprechend sind bislang die Vorgänge **Bereitstellung**, **Beendigung**, **Entstörung** im Detail erarbeitet und die Grundprinzipien für den **Anbieterwechsel** entwickelt worden. Dies erfolgte auch vor dem Hintergrund, dass viele der in diesen Abläufen enthaltenen Prozessschritte im Wesentlichen auch bei anderen Vorgängen wiederkehren werden.

### 3.2.3 Der Einfluss der konkreten Produkte auf die Prozessgestaltung / Priorisierung der zu betrachtenden Produkte

Die aus Kundenperspektive erstellte Liste der zu behandelnden Vorgänge ist zunächst nicht abhängig von der Frage, wie genau das für die Diensterealisierung notwendige Vorprodukt gestaltet ist, z.B. auf welcher Ebene und auf welcher technischen Basis der Zugang angeboten wird. Allerdings ist davon auszugehen, dass sich das konkrete Produkt auf die inhaltliche Ausgestaltung der Prozesse auswirken wird.

Bislang besteht keine Sicherheit über die später im Markt vorherrschenden Zugangsvarianten. Auf der Basis der bisherigen Diskussionen im NGA-Forum und der Arbeit zu technischen Aspekten in der Arbeitsgruppe Interoperabilität wurde allerdings entschieden, die Prozesse unter der Prämisse eines Zugangs auf Ebene 2 (Ethernet) zu betrachten. Die Arbeitsgruppe glaubt, auf diesem Wege eine nützliche Verständigung über wesentliche Elemente von Prozessabläufen entwickeln zu können, die anschließend bei Bedarf auch auf andere Produktausgestaltungen und deren eventuelle Besonderheiten übertragbar sein sollten.

### 3.2.4 Übersicht potentieller Elemente von Absprachen / Standardisierungen

Als mögliche und zweckdienliche Elemente für Absprachen und Standardisierungen wurden die folgenden Punkte definiert. Diese – nicht abschließende – Liste kann im Rahmen der konkreten Bearbeitung einzelner Vorgänge dienen, um zielführende Beiträge einzelner Beteiligter oder auch notwendige übergeordnete Strukturen zu identifizieren und in die Vereinbarungen einzubeziehen.

- Benennung von Ansprechpartnern / Kontaktstellen
- Bereitstellung von Informationen (Datenbank / Schnittstelle)
- Festlegung von Abläufen
- Vereinbarung von Service Levels (Fristen, Verfügbarkeit, etc.)
- Nichtdiskriminierungs-Regeln  
(z.B. Nichtdiskriminierung eigener gegenüber fremden Retail-Kunden)
- Überwachung
- Sanktionen
- Verfahren für Eskalationen / Bestimmung von Schiedsrichtern

### 3.2.5 Vorgehensweise und Darstellungsformen

Auf der Basis der beschriebenen Priorisierungen ergaben sich folgende Maßgaben für die weitere Arbeit:

- Prämisse eines Ebene-2-Vorprodukts
- Fokus auf die Schnittstelle zwischen EKP und NGA-Vorleistungsanbieter
- Zunächst Betrachtung der Vorgänge Anschaltung (im Sinne einer Neuschaltung), Beendigung (ohne Fortsetzungs- oder Wechselwunsch), Entstörung und Anbieterwechsel

Ziel ist es, dass auf Basis dieser einvernehmlichen Prozessbeschreibungen unter Verwendung der bereits identifizierten potentiellen Elemente die erforderlichen Absprachen in vertragliche Vereinbarungen zwischen einzelnen Beteiligten oder in Branchenstandards ebenso wie die Definition der erforderlichen operativen Schnittstellen schnell und effizient erstellt werden können.

Die Arbeitsgruppe hat hierzu zunächst im Detail die drei wesentlichen Grundprozesse Bereitstellung (unter der Prämisse eines kompletten Neuanschlusses), die Beendigung (unter der Prämisse einer kundenseitigen Kündigung ohne Fortsetzungs-bzw. Wechselwunsch) und die Entstörung betrachtet und hierzu die idealtypischen Abläufe und die wesentlichen Ausnahmeprozesse definiert. Die Darstellung erfolgt zum einen in graphischer Form in Ablaufdiagrammen, bei denen die Gesamtprozesse in Unterpro-

zesse modularisiert werden. Zum anderen erfolgt jeweils im Detail eine textliche Beschreibung der an der Schnittstelle zwischen EKP und NGAB erforderlichen Prozessschritte und der dabei auszutauschenden Informationen.

Für den in seinem Ablauf komplexeren Anbieterwechsel sind zunächst wesentliche Grundprinzipien vereinbart worden.

Service Levels wurden noch nicht systematisch für alle Prozessschritte definiert, enthalten sind aber Hinweise, wo bereits Einvernehmen über Service Levels oder zumindest über deren grundsätzliche Notwendigkeit erzielt wurde.

### 3.3 Bereitstellung „Neuanschluss“ (Anschaltung / Aktivierung)

#### 3.3.1 Ablaufplan für Grundprozess und wesentliche Ausnahmeprozesse

Die Abbildung 36 enthält ein Flussdiagramm der idealtypischen Bereitstellung eines Neuanschlusses. Die Abbildung 37 stellt den Ausnahmefall einer Terminverschiebung und die Abbildung 38 den Ablauf bei einer fehlgeschlagenen Bereitstellung dar.

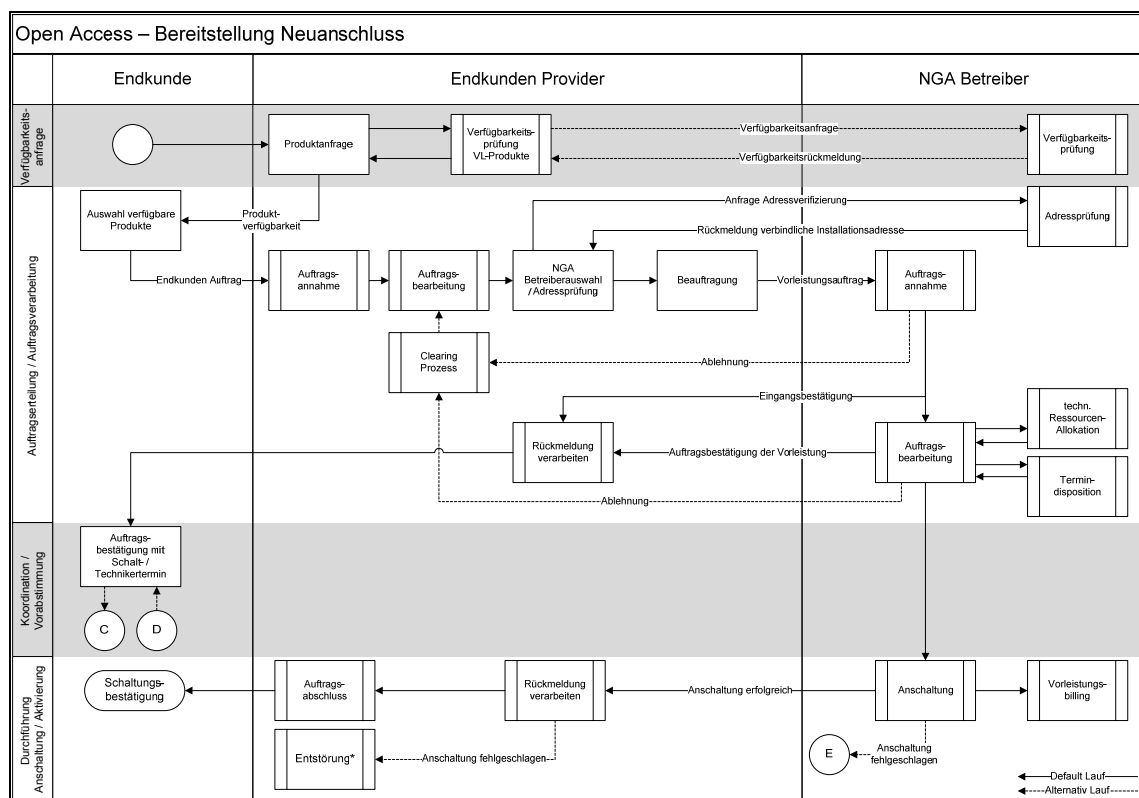
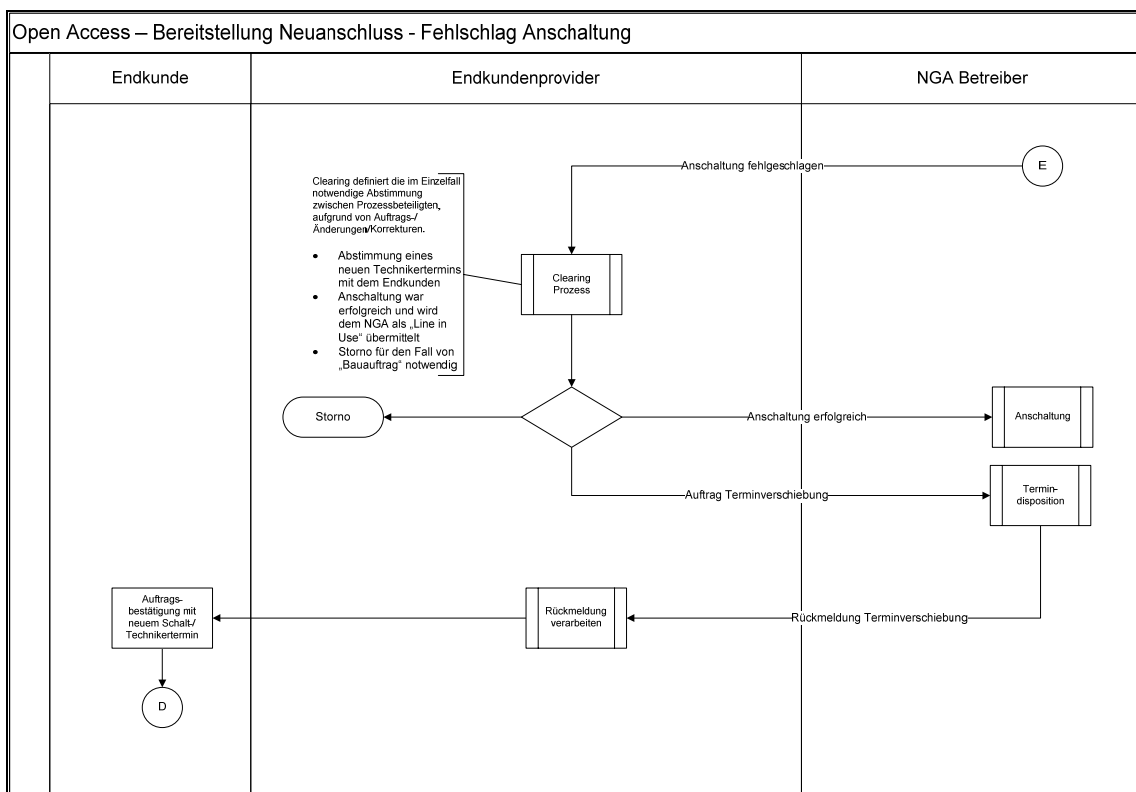
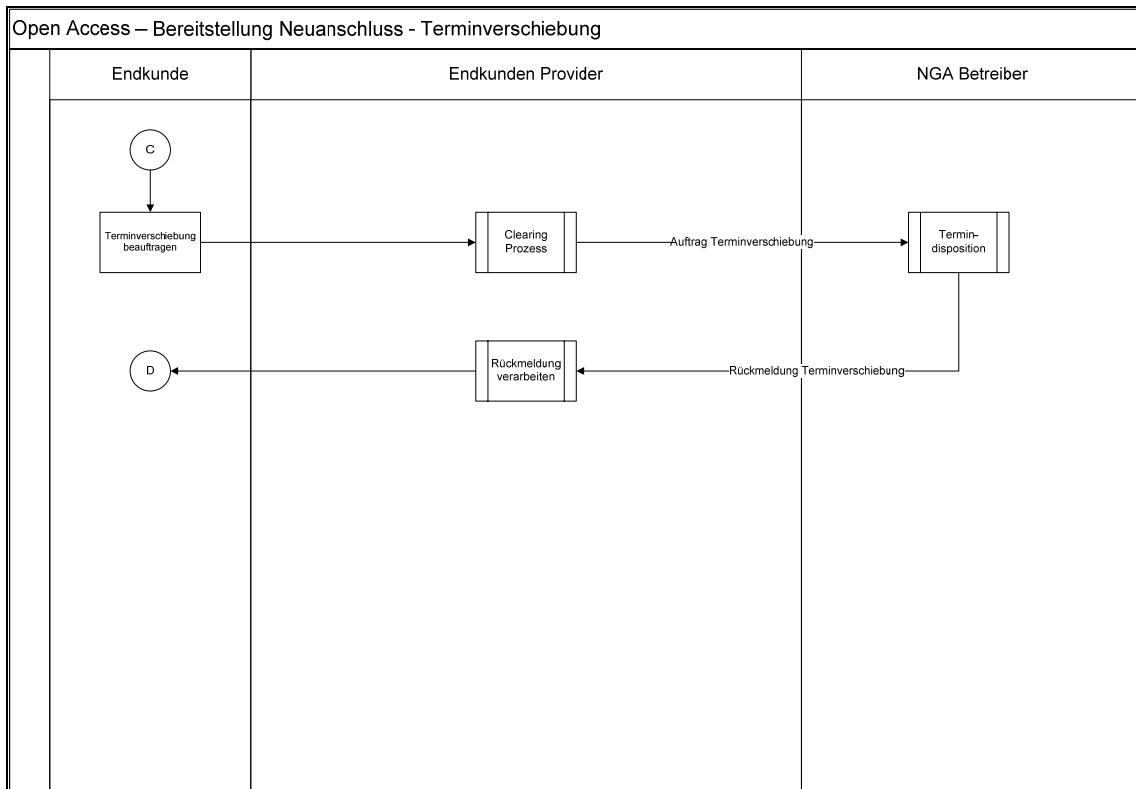


Abbildung 37: Flussdiagramm idealtypischer Ablauf Bereitstellung „Neuanschluss“



### 3.3.2 Detaildarstellung der Prozessschritte an der Schnittstelle EKP / NGAB

Im Detail sind für den Standardablauf der (Neu-)Bereitstellung die nachstehend beschriebenen Abläufe und Informationsflüsse zwischen EKP und NGAB vorgesehen.

#### 3.3.2.1 Verfügbarkeitsabfrage

Mit der Verfügbarkeitsanfrage soll der EKP umgehend eine möglichst verlässliche Information über die voraussichtliche Realisierbarkeit einer TK-Dienstleistung erhalten. Die Information ist aber noch nicht verbindlich, da die tatsächliche Realisierbarkeit von Gegebenheiten vor Ort abhängen kann, die nicht vorab bekannt sein können. Der Mindeststandard der Auskunft ist die Angabe, ob ein Gebäude mit NGA erschlossen ist. Nicht zwingend muss die Angabe erfolgen, ob eine freie Ressource vorhanden ist oder die Hausverkabelung den Anforderungen entspricht.

Für die **Verfügbarkeitsanfrage** übermittelt der EKP folgende Informationen zur Identifikation der Installationsadresse:

- Postalische Gebäudeadresse, bestehend aus Straße, Hausnummer (ggf. Hausnummernerweiterung), PLZ, Stadt

Das Abfrageformular sollte zusätzliche optionale Felder vorhalten, etwa zur Mitteilung einer bereits bekannten Anschluss-ID.

Die Angabe einer Telefonnummer, z.B. eines bisherigen Anschlusses, ist nicht erforderlich.

In der **Rückmeldung** zur Verfügbarkeit liefert der NGAB folgende Informationen:

- verfügbar / nicht verfügbar
- Im Positivfall außerdem
  - o Bandbreitenabschätzung
  - o die Kennung des realisierbaren Vorleistungsprodukts auf Basis der bestehenden bilateralen Vorleistungsabsprachen (darüber sind dann für den EKP auf der Basis der bestehenden Absprachen sowohl Technologieinformationen verfügbar, z.B. FTTC, FTTB, FTTH, als auch die zugrundeliegenden Vertragsbedingungen für die Vorleistung)
  - o Die im Falle einer positiven Verfügbarkeitsmeldung bestätigte Installationsadresse ist für den weiteren Prozess verbindlich.

Optional können:

- o im Positivfall zusätzlich Informationen zur voraussichtlichen Bereitstellungsdauer,



- im Negativfall zusätzlich Informationen zu einer eventuellen Ausbauplanung mitgeteilt werden.

Service Level: Die Verfügbarkeitsabfrage soll dem EKP in einem interaktiven Prozess im Rahmen des Endkundenkontaktes möglich sein.

### 3.3.2.2 Auftragserteilung

Zu Beginn der Auftragserteilung erfolgt eine Adressverifizierung. Hierzu fragt der EKP die vorgesehene Installationsadresse ab und erhält als Rückmeldung vom NGAB eine Adressverifizierung zumindest in Form der Aussage, ob die Adresse bekannt oder nicht bekannt ist. Im Positivfall ist hiermit die verbindliche Installationsadresse vereinbart. Technisch kann die Auskunft auf Basis der Verfügbarkeitsabfrage erfolgen. Wenn die Rückmeldung auf Basis des verfügbaren Datenbestands des NGAB erfolgt, ist keine weiterführende Prüfung der Adresse im weiteren Verfahren erforderlich. Die Adressmitteilung beinhaltet noch keine Reservierung.

Für die Erteilung des eigentlichen Vorleistungsauftrags teilt der EKP folgende Informationen an den NGAB mit:

- Installationsadresse (wie vorab verifiziert)
- Gegebenenfalls ergänzende Information zum Installationsort (Wohnung, Etage, eventuell auch Name des Endkunden)
- Gewünschtes Vorleistungsprodukt (z.B. Code, Parameter zur Beschreibung)
- Infos zum Ansprechpartner vor Ort (z.B. Wohnungsinhaber):
  - Name
  - Kontaktdaten des Ansprechpartners (Tel, Mobil/SMS, Email)
- Wunschtermin

Optional können Zusatzleistungen wie Installationsarbeiten beauftragt werden.

Die Angabe des Namens des Endkunden ist nur erforderlich, soweit das für die Identifizierung des Installationsortes benötigt wird oder sofern er selbst Ansprechpartner für die Installation ist.

Der EKP vergibt für den Auftrag eine eindeutige Referenz-ID, die in der Folge immer mitgeführt wird. Der NGAB vergibt eine weitere eigene Referenz-ID mit seiner ersten Antwort, die dann ebenfalls fortlaufend mitzuführen ist.

Service Level: Zwischen den Beteiligten ist ein maximaler Vorlauf für die Auftragserteilung (Zeit zwischen Auftragserteilung und Wunschtermin) zu regeln.

Der NGAB versendet, wenn keine sofortige Auftragsbestätigung erfolgt, zunächst eine (qualifizierte) Eingangsbestätigung, die zunächst nur auf einer formalen Prüfung ba-

siert, ob der Auftrag in der Form korrekt ist (kann Auftrag weiterbearbeitet werden?). Die Eingangsbestätigung umfasst noch keine Adressprüfung.

Die nachfolgende Auftragsbestätigung durch den NGAB basiert dann auf einer weitergehenden inhaltlichen Prüfung, in der Adresse und technische Realisierbarkeit überprüft und die notwendigen Ressourcen reserviert wurden.

Die Auftragsbestätigung enthält als Information an den EKP:

- Bestätigung Auftragsannahme
- (Vorleistungs-)Vertragsnummer des NGA-Betreibers
- verbindlicher Schalttermin (der verbindliche Schalttermin ist idealerweise der Wunschtermin des Kunden, alternativ ein verbindlicher Ersatztermin)
- Line-ID (Wenn Line-ID noch nicht verfügbar, dann spätestens bei Rückmeldung nach erfolgreicher Anschaltung übermitteln. Dies kann allerdings mit einer Zeitverzögerung im Prozess verbunden sein).

Service Level: Für die Bearbeitung des Vorleistungsauftrags ist eine Fristenregelung für die Bearbeitungszeit erforderlich.

Sofern der NGAB den Vorleistungsauftrag ablehnt (Ausnahmeprozess) sind die folgenden Informationen dem EKP zu übermitteln:

- Rückmeldung, dass Auftrag abgebrochen wurde
- Angabe Grund (auf Basis standardisierter Fehlercodes, ggf. zusätzliche Erläuterung)

Optional kann ein Ansprechpartner für einen Clearing-Prozess benannt werden, wenn dieser nicht schon im Vorleistungsvertrag vereinbart war.

Nach erfolgreichem Clearing stellt EKP ggf. einen neuen Vorleistungsauftrag ein (keine Fortsetzung der abgelehnten Bestellung).

Service Level: wie vor.

Der EKP übernimmt die Rückmeldung des Schalttermins an den Endkunden.

### 3.3.2.3 Terminverschiebung (Ausnahmeprozess)

Nicht selten kommt von Seiten des Endkunden im weiteren Verlauf der Wunsch, den zunächst mitgeteilten Schalttermin zu verschieben. Auch für diesen Ausnahmeprozess ist eine definierte Massenschnittstelle erforderlich, da der Vorgang in der Praxis häufig auftritt. Der EKP nimmt dabei den Kundenwunsch entgegen und übernimmt die Kommunikation mit dem Endkunden.

Der EKP übermittelt an den NGAB hierzu einen neuen Wunschtermin.

Der NGAB übermittelt in seiner Antwort einen neuen verbindlichen Schalttermin, der idealerweise der Wunschtermin des Endkunden ist, alternativ ein dann ebenfalls verbindlicher Ersatztermin. Der ursprünglich mitgeteilte Schalttermin wird damit storniert.

#### 3.3.2.4 Durchführung Anschaltung / Aktivierung und Erledigtmeldung

Der NGAB führt am vereinbarten verbindlichen Schalttermin die Anschaltung durch. So weit der Techniker vor Ort keinen Zutritt zum Gebäude bzw. den Schaltpunkten im Gebäude hat, wird der Techniker mittels der dem NGAB vom EKP übermittelten Kontaktdaten versuchen, Zutritt zu erhalten.

War die Anschaltung erfolgreich, gibt der NGAB nach Anschaltung an den EKP Rückmeldung mit den folgenden Inhalten:

- positive Erledigtmeldung
- Zeitpunkt der Erledigung
- Vertragsnummer des NGA-Betreibers
- Line-ID, wenn noch nicht bei „Auftragsbestätigung“ der Vorleistung mitgeteilt.

Optional erfolgt zusätzlich die Erledigtmeldung bezüglich vereinbarter Zusatzdienstleistungen.

Die Erledigtmeldung mit Zeitpunkt ist Voraussetzung für Start des Billings und weitere Prozesse.

Service Level: Die Erledigtmeldung erfolgt unverzüglich nach erfolgter Anschaltung.

Ist die Anschaltung fehlgeschlagen (Ausnahmeprozess), gibt NGAB eine qualifizierte Misserfolgs-Mitteilung an den EKP, die folgende Informationen enthält:

- Mitteilung Misserfolg
- Fehlergrund (mit standardisiertem Fehlercode und optionalem Freitext)
- Vertragsnummer des NGA-Betreibers
- Gegebenenfalls Kostenvoranschlag für Zusatzkosten der Anschaltung (z.B. Bau oder Reparatur der Hausverkabelung).

Service Level: Unverzüglich nach fehlgeschlagener Anschaltung

Nach einer Fehlschlagsmeldung liegt es beim EKP, über die weitere Bearbeitung zu entscheiden und das Ergebnis dem NGAB mitzuteilen. Mögliche Folgen sind:

- Storno des Vorleistungsauftrags

- Mitteilung eines neuen (Wunsch-)Termins
- ggf. zusätzlich Rückmeldung zu notwendigen Anpassungen
- Rückmeldung, dass Anschaltung schließlich doch ohne weiteres Zutun des NGAB erfolgreich war

### 3.4 Beendigung (Kündigung ohne Anschlusswechsel)

#### 3.4.1 Ablaufplan für Grundprozess

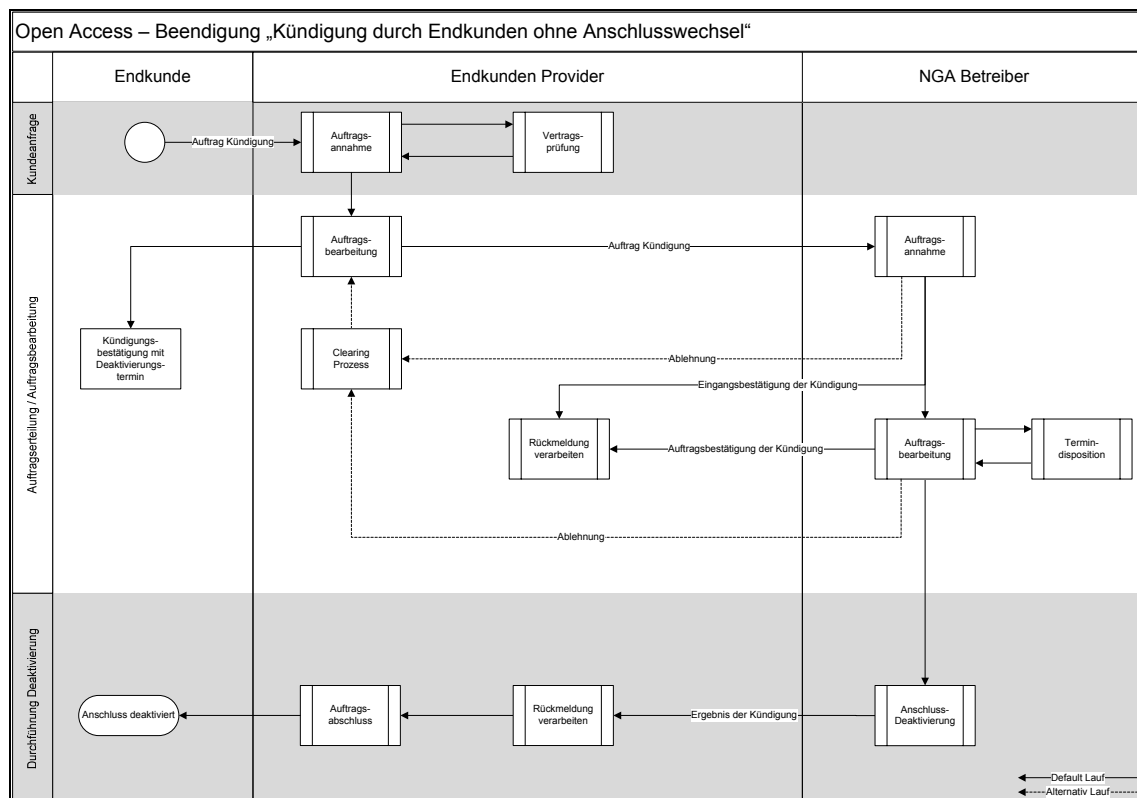


Abbildung 40: Flussdiagramm Beendigung „Kündigung ohne Anschlusswechsel“

#### 3.4.2 Detaildarstellung der Prozessschritte an der Schnittstelle EKP / NGAB

##### 3.4.2.1 Auftragserteilung (Kündigung)

Der EKP nimmt den Endkundenauftrag zur Beendigung (Kündigung) entgegen. Nach interner Vertragsprüfung (z.B. Fristen) kündigt er den Vorleistungsauftrag und beauftragt die Deaktivierung beim NGAB. Hierzu teilt er dem NGAB mit:

- Vorleistungs-Vertragsnummer (nur optional zusätzlich: Line-ID, insbesondere zur Eingrenzung bei mehreren Anschlüssen unter einer Vertragsnummer)

- Gewünschter Deaktivierungstermin

Die Angabe von Kontaktdaten eines Ansprechpartners vor Ort erfolgt nur auf Nachfrage des NGAB, wenn nach seiner Prüfung feststeht, dass für Deinstallation ein Vor-Ort-Termin erforderlich ist.

Der EKP vergibt für den Auftrag eine eindeutige Referenz-ID, die in der Folge immer mitgeführt wird. Der NGAB kann eine weitere eigene Referenz-ID mit seiner ersten Antwort geben, die dann ebenfalls fortlaufend mitzuführen ist.

**Service Level:** Zwischen den Beteiligten ist ein maximaler Vorlauf für die Auftragserteilung (Zeit zwischen Auftragserteilung und Wunschtermin) zu regeln.

Der NGAB versendet, wenn keine sofortige Auftragsbestätigung erfolgt, zunächst eine (qualifizierte) Eingangsbestätigung, die zunächst nur auf einer formalen Prüfung basiert, ob der Auftrag in der Form korrekt ist (kann Auftrag weiterbearbeitet werden?).

Nach weitergehender Prüfung erfolgt die nachfolgende Auftragsbestätigung durch den NGAB. Die Auftragsbestätigung enthält als Information an den EKP:

- Bestätigung Kündigung
- verbindlicher Deaktivierungstermin (der Termin ist idealerweise der Wunschtermin des Kunden, alternativ der frühestmögliche Ersatztermin)

Für die Bestimmung des Deaktivierungstermins sind Vertragsbindungen nicht relevant, da diese im bilateralen Verhältnis nur für die wirtschaftlichen Fragen relevant sind (z.B. Berechnungsende).

**Service Level:** Für die Bearbeitung des Kündigungsauftrags ist eine Fristenregelung für die Bearbeitungszeit erforderlich.

Im Fall der Ablehnung des Auftrags (z.B. unbekannter / falscher Vertragsnummer) sind dem EKP die folgenden Informationen zu übermitteln:

- Rückmeldung, dass Auftrag abgebrochen wurde
- Angabe Grund (auf Basis standardisierter Fehlercodes, ggf. zusätzliche Erläuterung)

Optional kann ein Ansprechpartner für einen Clearing-Prozess benannt werden, wenn dieser nicht schon im Vorleistungsvertrag vereinbart war.

Nach erfolgreichem Clearing stellt EKP ggf. einen neuen Kündigungsauftrag ein (keine Fortsetzung der abgelehnten Kündigung).

**Service Level:** wie vor.

#### 3.4.2.2 Terminverschiebung / Abbruch / Storno

Nach Diskussion in der Gruppe ist ein Terminverschiebungsprozess für die Beendigung nicht erforderlich. Notwendig ist hingegen die Möglichkeit zum Abbruch / Storno des Kündigungsauftrags. In diesem Fall ist eine Fortführung / ein Wiederaufleben des bestehenden Vertrages anzustreben (wobei in der juristischen Ausgestaltung die zunächst rechtsgestaltende Wirkung der Kündigung zu beachten ist).

Service Level: Es bedarf einer Absprache, bis zu welchem Zeitpunkt ein Abbruch des Kündigungsauftrags möglich ist.

#### 3.4.2.3 Durchführung Deaktivierung und Erledigtmeldung

Zum vereinbarten Zeitpunkt führt der NGAB die Deaktivierung des Abschlusses durch. Im Anschluss an die erfolgreiche Deaktivierung gibt der NGAB eine Rückmeldung mit folgendem Inhalt:

- positive Erledigtmeldung
- Datum der Erledigung (erforderlich für Abrechnungszwecke)
- Vertragsnummer des NGA-Betreibers, optional Line-ID

Service Level: Die Rückmeldung erfolgt unverzüglich nach erfolgter Deaktivierung.

### 3.5 Entstörung

Ziel der Prozessgestaltung beim Entstörprozess muss zu allererst das Interesse des Endkunden an einer möglichst schnellen und aufwandslosen Störungsbeseitigung und in der Zwischenzeit einer möglichst umfassenden Information über die Störung und insbesondere ihre vermutliche Dauer sein. Daneben gilt es, die Prozesse zwischen den verschiedenen Beteiligten möglichst effizient zu gestalten.

#### 3.5.1 Vorüberlegungen zur Sicherung von Schnelligkeit und Effizienz der Entstörung

Sowohl das Interesse des Kunden an schneller Entstörung und umfassender Information als auch das Ziel größtmöglicher Effizienz kann durch zwei Maßnahmen befördert werden, die es ermöglichen, zumindest in manchen Fällen gar nicht erst einen Entstörprozess über die verschiedenen beteiligten Unternehmen hinweg anstoßen zu müssen. Dies ist zum einen die proaktive Meldung von Flächenstörungen durch den NGAB als auch die Diagnosemöglichkeit des EKP zur Eingrenzung von Fehlerursachen.

##### 3.5.1.1 Proaktive Meldung von Flächenstörungen

Tritt im Netz eines NGAB eine übergreifende (Flächen-)Störung ab einer bestimmten Relevanzschwelle auf, soll eine proaktive Meldung / Bereitstellung von Informationen an den EKP erfolgen, damit dieser gegenüber seinen Endkunden, die die Störung ihres Anschlusses melden, auskunftsfähig ist und zugleich nicht gezwungen ist, für jeden

Einzelfall, einen Entstörprozess anzustoßen, obwohl Ursache die zugrundeliegende Flächenstörung ist.

Die Meldung der Flächenstörung sollte enthalten:

- wenn bekannt, Informationen zur Eingrenzung der betroffenen Anschlüsse (z.B. geocodierte Daten, PLZ-Bereiche, ggf. Rufnummern)
- wenn bekannt, Grund der Störung (ggf. mit klassifizierten Reason Codes)
- wenn bekannt, voraussichtlicher Zeitpunkt der Behebung
- wenn bekannt, Angabe der gestörten Dienste

Der Umfang und der Auslöser für proaktive (Flächen-)Störungsmeldungen des NGAB sind noch nicht umfassend einvernehmlich geklärt. Ziel ist aber in jedem Fall ein aktiver Austausch über bekannte Störungen, um betroffenen Kunden auf Anfrage möglichst konkrete Informationen geben zu können. Die NGAB prüfen, ob und in welcher Form Standardisierungen der bereitzustellenden Informationen möglich sind.

#### 3.5.1.2 Prüfung und Diagnose der Leitung

Ergänzend (oder gegebenenfalls, je nach Leistungsfähigkeit eines solchen Angebots, auch alternativ) zur proaktiven Störungsmeldung soll dem EKP in gewissem Umfang eine eigene Eingrenzung von Fehlerursachen bei eingehenden Störungsmeldungen durch zur Prüfung und Diagnose der Leitung ermöglicht werden. Hierzu konnte in der Arbeitsgruppe Einvernehmen über wesentliche Grundanforderungen erzielt werden. Nähere Ausführungen zur Diagnoseschnittstelle finden sich im entsprechenden Abschnitt bei der Darstellung der technischen Prozessschnittstellen unter 3.7.2.

#### 3.5.2 Ablaufplan für Grundprozess und wesentliche Ausnahmeprozesse

Die Abbildung 40 enthält ein Flussdiagramm der idealtypischen Entstörung. Die Abbildung 41 stellt den Ausnahmefall einer Terminverschiebung und die Abbildung 42 den Ablauf bei einer fehlgeschlagenen Entstörung dar.

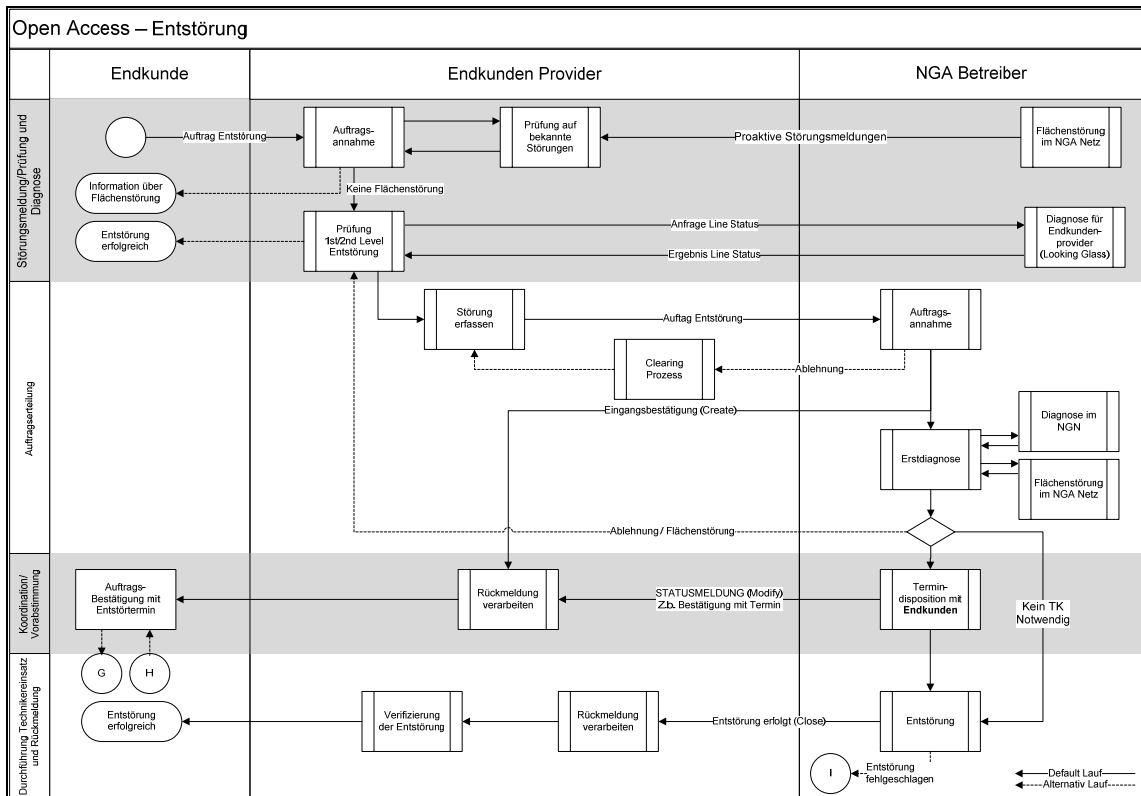


Abbildung 41: Flussdiagramm Grundprozess Entstörung

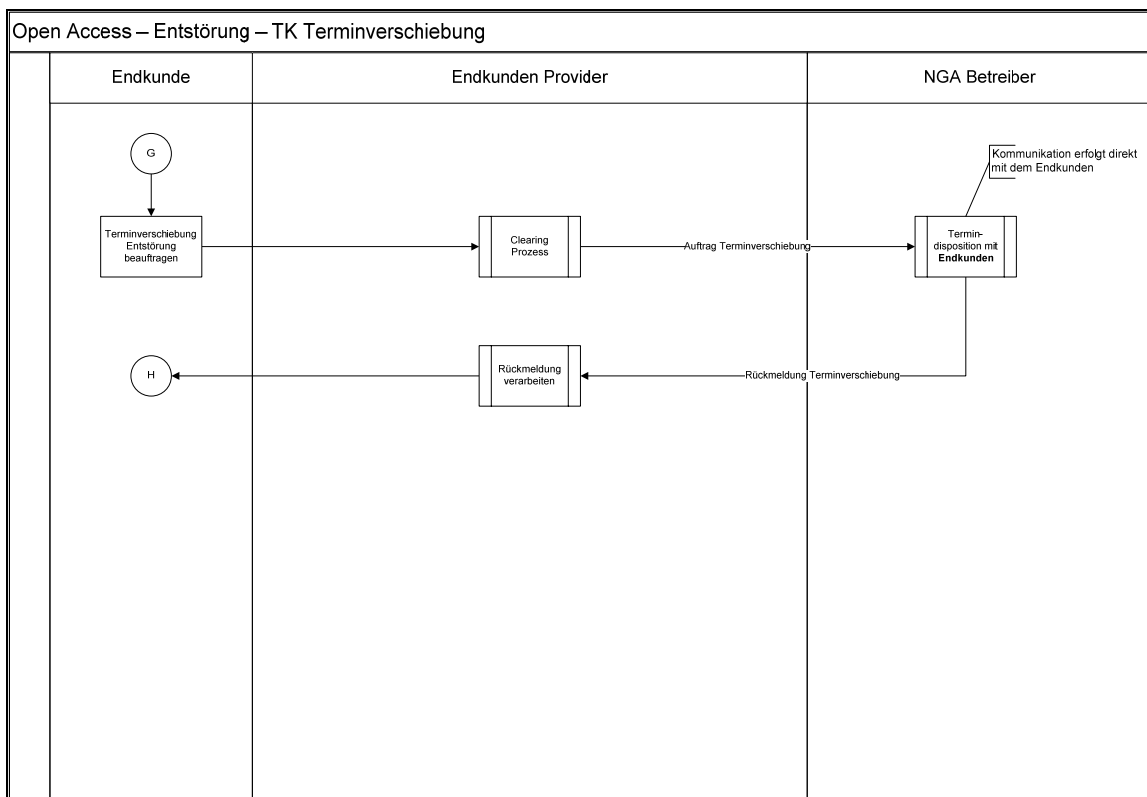


Abbildung 42: Ausnahmeprozess Entstörung - Terminverschiebung



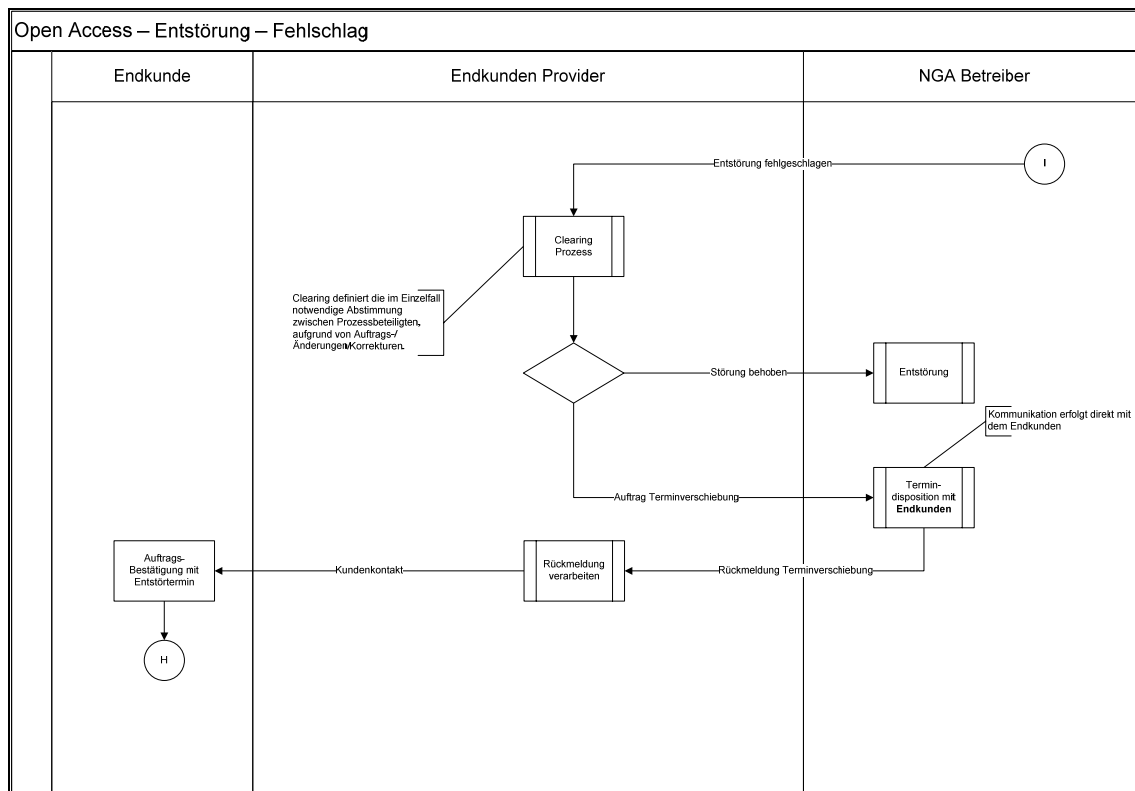


Abbildung 43: Ausnahmeprozess Entstörung - Fehlschlag

### 3.5.3 Detaildarstellung der Prozessschritte an der Schnittstelle EKP / NGAB

#### 3.5.3.1 Störungsmeldung / Auftragserteilung

Der EKP nimmt die Störungsmeldung des Endkunden entgegen und erteilt den Auftrag zur Störungsbeseitigung an den NGAB. Hierzu meldet er die Störung mit den folgenden Informationen:

- Line-ID
- Vorleistungs-Vertragsnummer
- Informationen zur Fehlerbeschreibung, hierzu:
  - o Meldecode (+Freitext)
  - o betroffene(r) Dienst(e)
  - o gemäß. Kundenmeldung
  - o gemäß eigenen Diagnoseergebnissen
  - o Beschreibung der Tätigkeiten im First Level Support

- CPE-Typ des Endkunden
- Zeitpunkt des Störungsbeginns (gemäß. Kundenmeldung)
- Service-Level-Klassen (Express-Entstörung?)
- Ansprechpartner vor Ort:
  - Name
  - Kontaktdaten, unter denen Erreichbarkeit gewährleistet ist (am besten mobil, sonst andere Telefonnummer, ggf. Email)
- Wunschtermin für die Entstörung

Der EKP vergibt für den Auftrag eine eindeutige Referenz-ID (Ticket-Nummer), die in der Folge immer mitgeführt wird. Der NGAB kann eine weitere eigene Referenz-ID mit seiner ersten Antwort geben, die dann ebenfalls fortlaufend mitzuführen ist.

Der NGAB versendet, wenn keine sofortige Auftragsbestätigung erfolgt, zunächst eine (qualifizierte) Eingangsbestätigung, die zunächst nur auf einer formalen Prüfung basiert, ob der Auftrag in der Form korrekt ist (kann Auftrag weiterbearbeitet werden?).

Nach weitergehender Prüfung erfolgt die nachfolgende Auftragsbestätigung durch den NGAB. Die Auftragsbestätigung enthält neben den Referenz-IDs und Vorleistungs-Vertragsnummer als Information an den EKP:

- Wenn Störung feststellbar und bereits behoben (ohne Technikertermin):
  - Meldung, dass Störung vorlag
  - Störungsursache (Code+Freitext)
  - Meldung, dass Störung behoben
  - Zeitpunkt Störungsbehebung
  - Optional: Handlungsempfehlungen für Endkunden (z.B. Geräte-Reset/Neustart)
- Wenn Störung feststellbar, aber Technikertermin notwendig:
  - Bestätigung Auftragsannahme
  - verbindlicher Technikertermin

Die Terminvereinbarung erfolgt im Regelfall direkt durch den NGAB im Auftrag und im Namen des EKP. Hierfür ist im Integratorenmodell, in dem keine direkte Vertragsbeziehung zwischen EKP und NGAB besteht, eine Offenlegung des die Kundenbeziehung innehabenden EKP erforderlich. Optional ist auch eine Terminvereinbarung über den EKP möglich.

Der EKP erhält im Laufe des Entstörprozesses Informationen durch Statusmeldungen, wenn eine direkte Erledigung nicht möglich ist (z.B. Störung erkannt, aber Behebung dauert). Die Mitteilung des mit dem Endkunden vereinbarten Technikertermins ist dabei ein Unterfall der Statusmeldung.

Der EKP muss jederzeit in der Lage sein, bei Beendigung der Störung aus anderem Grund den Entstörauftrag stornieren zu können.

Service Level: Für die Bearbeitung des Entstörungsauftrags sowie für die Lieferung von Statusmeldungen sind Service Levels zu vereinbaren.

### 3.5.3.2 Terminverschiebung (Ausnahmeprozess)

Im Fall, dass der Endkunde die Verschiebung des Technikertermins wünscht, nimmt der EKP den Kundenwunsch entgegen und gibt diesen an den NGAB weiter. Die Vereinbarung des neuen Termins übernimmt in diesem Fall aber wiederum der NGAB im Namen und im Auftrag des EKP. Optional ist auch hier eine Terminvereinbarung über den EKP möglich.

Der NGAB übermittelt in seiner Antwort den vereinbarten neuen, verbindlichen Technikertermin, der idealerweise der Wunschtermin des Endkunden ist, alternativ ein dann ebenfalls verbindlicher Ersatztermin.

### 3.5.3.3 Erledigtmeldung nach erfolgter Entstörung

Der NGAB führt am vereinbarten Termin den Technikertermin zur Entstörung durch. Je nach Ergebnis erfolgt die Rückmeldung an den EKP.

Wenn NGAB keine Störung feststellt, enthält die Meldung:

- Mitteilung, dass keine Störung beim NGAB feststellbar.
- Ggf. weitere Infos (Textfeld, z.B. Hinweise auf Erkenntnisse zu Fehlern beim EKP (defekte CPE, defekte EK-Leitung))

Wenn Störung vorgelegen hat und erfolgreich behoben wurde, enthält die Meldung

- positive Erledigtmeldung (Störung lag vor, Störung wurde behoben)
- Störungsursache (Code+Freitext)
- Zeitpunkt der Erledigung (Meldung des Zeitpunkts der Entstörung ist Voraussetzung für eventuelle Gutschriften / Entschädigungen etc.)
- Vertragsnummer des NGAB
- Line-ID

Optional: Handlungsempfehlungen für Endkunden (z.B. Geräte-Reset/Neustart)

Service Level: Die Meldung erfolgt unverzüglich nach erfolgter Entstörung

Nach Verifizierung des Erfolgs der Entstörung übernimmt der EKP die Meldung an den Endkunden über die erfolgreiche Entstörung.

Für den Fall, dass die Entstörung nicht verifiziert werden kann, folgt ein noch zu definierender Ausnahmeprozess zur Fortführung des Entstörungsauftrags.

Ist die Entstörung fehlgeschlagen (Ausnahmeprozess), gibt NGAB eine qualifizierte Misserfolgs-Mitteilung an den EKP, die folgende Informationen enthält:

- Mitteilung Misserfolg
- Fehlergrund (mit standardisiertem Fehlercode und optionalem Freitext)
- Gegebenenfalls neuer verbindlicher Technikertermin

Service Level: Unverzüglich nach fehlgeschlagener Anschaltung

Nach einer Fehlschlagsmeldung kann der EKP eine Statusmeldung an den Endkunden über die Fortdauer der Störung und den weiteren Fortgang des Entstörprozesses geben.

### **3.6 Anbieterwechsel**

Der Anbieterwechsel ist davon gekennzeichnet, dass in jedem Fall die Koordination von mehr Beteiligten als bei den vorgenannten Prozessen erforderlich wird. Die Abläufe können dabei im Einzelnen stark danach divergieren, wie viele Beteiligte konkret involviert sind und welche Technologien für die Realisierung beim abgegebenen und dem aufnehmenden Endkundenprovider eingesetzt werden.

#### **3.6.1 Definition (Endkunden-)Anbieterwechsel**

Zur Schaffung eines gemeinsamen Verständnisses wurde deshalb der Anbieterwechsel zunächst definiert als den Wechsel des Anschlusses eines Endkunden von einem EKP, mit dem er ein Vertragsverhältnis hat, zu einem anderen EKP, mit dem der Endkunde zu diesem Zweck ein neues Vertragsverhältnis eingeht.

Das bestehende Vertragsverhältnis darf zum Zeitpunkt der Unterzeichnung des neuen Vertragsverhältnisses bereits gekündigt sein, das Ende der bisher bestehenden Vertragszeit (Restlaufzeit) darf jedoch noch nicht erreicht sein.

Die genannten Vertragsverhältnisse setzen sowohl beim bisherigen als auch neuen Endkundenprovider auf eine Leistungserbringung, am Markt zur Anwendung kommenden Anschlusstechnologien (incl. CuDa Infrastruktur, FTTx, Kabel) auf.

### 3.6.2 Abgrenzung der Wechselprozesse zu verwandten Prozessen

Nicht als Wechselprozess definiert sind derzeit folgende Arten (diese können zu einem späteren Zeitpunkt, angelehnt an das hier vorliegende Dokument, formuliert und ergänzt werden):

- Der EKP wechselt den NGAB – Hierbei wird die technische Vorleistung des Endkunden ohne Änderung des Endkundenvertrages gewechselt.
- Der Endkunde wechselt das Produkt bei seinem EKP – Hierbei wird zwar ein „neuer Endkundenvertrag“ geschlossen, jedoch bleibt der Endkunde im Bestand des gleichen EKP.
- Umzug – Wenn ein Endkunde seinen bestehenden Vertrag von einem Standort zu einem anderen verlegt und dabei sein EKP auf der gleichen oder einer anderen Infrastruktur ändern möchte, ist das ein Umzug bzw. eine Kündigung am alten Standort und ein Neuanschluss/Übernahme am neuen Standort.
- Rufnummernportierung – Die Portierung von Rufnummern ist losgelöst von Anbieterwechseln zu betrachten, da es sich dabei um einen optionalen Dienst handelt, der vom EKP angeboten wird. Es ist allerdings darauf zu achten, dass die Portierung mit dem Anbieterwechsel synchronisiert ist.

### 3.6.3 Anzahl der Beteiligten und daraus resultierender Koordinationsbedarf

Der Grad des erforderlichen Koordinationsbedarfs ist abhängig von der Anzahl der am Anbieterwechsel Beteiligten. Diese wurden definiert als:

- Endkunde
- Abgebender Endkundenprovider ( $EKP_{ab}$ ): Der Anbieter, der zum Zeitpunkt des Anbieterwechsels eine gültige Vertragsbeziehung mit dem betroffenen Endkunden über den verhandelten Anschluss besitzt. und ihm den Anschluss überlässt.
- Aufnehmender Endkundenprovider ( $EKP_{auf}$ ): Der Anbieter, bei dem der betroffene Endkunde die Übernahme des verhandelten Anschlusses bestellt und eine entsprechend rechtsgültige Willenserklärung bezüglich seiner Vertragskündigung beim  $EKP_{ab}$  übermittelt hat.
- Abgebender NGAB ( $NGAB_{ab}$ ): Der Anbieter, der zum Zeitpunkt des Anbieterwechsels Vorleistungslieferant von  $EKP_{ab}$  ist.
- Aufnehmender NGAB ( $NGAB_{auf}$ )
- Inhaber einer gemeinsam genutzten Ressource (z.B. TAL, KVZ, HVt, Inhouse-Verkabelung)

Der Koordinierungsbedarf und damit die exakte Ausgestaltung der Prozessabläufe sind abhängig davon, wie viele unterschiedliche Beteiligte in einem Prozess eingebunden werden müssen und ob gemeinsam genutzte Ressourcen vorliegen, weil dann die Be-

deutung der zeitlichen Koordination der Umschaltung an Bedeutung gewinnt. Hieraus ergibt sich die folgende Darstellung der verschiedenen Wechselkonstellationen:

| Gleich bleibender NGAB? | Gemeinsam genutzte Ressourcen   | Notwendige Beteiligte der Koordination   | Bezeichnung | Notwendiger Inhalt der Vorab-Koordination  |
|-------------------------|---|--|-------------|--|
| Wechselnder NGAB        | Wechsel der verwendeten Technologie / keine gemeinsam genutzten Ressourcen                | <ul style="list-style-type: none"> <li>EKP<sub>ab</sub></li> <li>EKP<sub>auf</sub></li> </ul> [Keine Koordination zw. NGA-Betreibern erforderlich]                                 | 2er-Prozess | Allein Koordination der Termine zu Leistungsbeginn / Leistungsende zw. EKP <sub>ab</sub> u. EKP <sub>auf</sub>                                 |
| Gleicher NGAB           | Ressourcen bleiben unverändert  | <ul style="list-style-type: none"> <li>EKP<sub>ab</sub></li> <li>EKP<sub>auf</sub></li> <li>NGAB<sub>ab+auf</sub></li> </ul>   | 3er-Prozess | <u>Zusätzlich</u> Koordination der Umschaltung mit NGAB  |
| Wechselnder NGAB        | Gemeinsam genutzte Ressourcen in der Hand der beteiligten NGAB (z.B. Inhouse-Verkabelung) | <ul style="list-style-type: none"> <li>EKP<sub>ab</sub></li> <li>EKP<sub>auf</sub></li> <li>NGAB<sub>ab</sub></li> <li>NGAB<sub>auf</sub></li> </ul>                               | 4er-Prozess | <u>Zusätzlich</u> Koordination der physischen Umschaltung auf den gemeinsam genutzten Ressource zw. NGAB <sub>ab</sub> und NGAB <sub>auf</sub> |
| Wechselnder NGAB        | Gemeinsam genutzte Ressourcen in der Hand eines Dritten (z.B. KVZ- oder HVT-TAL)          | <ul style="list-style-type: none"> <li>EKP<sub>ab</sub></li> <li>EKP<sub>auf</sub></li> <li>NGAB<sub>ab</sub></li> <li>NGAB<sub>auf</sub></li> <li>Infrastrukturinhaber</li> </ul> | 5er-Prozess | <u>Zusätzlich</u> Koordination der Umschaltung der gemeinsam genutzten Ressourcen durch den dritten Infrastrukturinhaber                       |

Tabelle 11: Wechselkonstellationen

### 3.6.4 Zielsetzung und Grundsätze für den Anbieterwechsel

Ziel des diskutierten Anbieterwechsel-Prozesses ist es, – unabhängig von etwaigen systemischen Rahmenbedingungen und vertraglichen Implikationen – den Wechsel für den Endkunden reibungslos und möglichst weitgehend unterbrechungsfrei am Umstellungstag zu prozessieren.

Die Ausgestaltung der Prozesse im Detail ist, wie dargelegt, von der konkreten Fallkonstellation, der Anzahl der Beteiligten, ggf. gemeinsam genutzten Ressourcen und dem daraus resultierenden Abstimmungsbedarf geprägt.

Zielsetzung war jedoch, möglichst weitgehende, von der konkreten Konstellation unabhängige Prinzipien zu bestimmen, die die gemeinsame Zielsetzung definieren und als Leitplanken für die weitere Diskussion dienen sollen.

Jeder in der Folge zu betrachtende Grundsatz ist eine konkrete Ausgestaltung der grundlegenden „Philosophie“ des Miteinanders im Wechselmarkt:

#### 1. Im Zentrum steht immer der Endkunde.

- Alle Abläufe im Rahmen des Anbieterwechsels sollen mit oberster Priorität zum Wohle und zur Zufriedenheit des Endkunden erfolgen.

- Der Wechsel soll für den Endkunden (weitestgehend) unterbrechungsfrei und reibungslos durchgeführt werden. Alle beteiligten Partner erbringen die dafür notwendigen Leistungen.
2. Qualifizierte Rückmeldung innerhalb festgelegter Fristen
    - Auf eine Wechselanfrage wird innerhalb einer festgelegten Frist eine qualifizierte Rückmeldung gegeben.
  3. Kostenbewusstes Handeln
    - Gegenseitiges Vermeiden von unnötigen Kosten
  4. Teilnahme – Anwendung aller Regeln
    - Nur die Einhaltung aller Regeln gewährleistet ein reibungsloses Miteinander. Es gibt kein „Rosinenpicken“.
    - Hinter jeder Regel steht ein klares Miteinander.
  5. Faires Miteinander
    - Die EKP und NGAB verpflichten sich dazu, sich nicht unbillig zu behindern.
  6. Operative Einheitlichkeit
    - Der Anbieterwechsel soll prinzipiell unabhängig von den betrachteten Produkten einheitlich ablaufen.
  7. Rechtskonforme Abläufe
    - Die Abläufe erfüllen alle diesbezüglich anzuwendenden Gesetze und Regularien.

### 3.6.5 Wesentliche Grundprinzipien

Eine Besonderheit für die Arbeit der Prozessgruppe zum Anbieterwechsel ist, dass speziell dieser Bereich auch Gegenstand der Behandlung in anderen Gruppen ist, die das Thema für die heutige Welt, aber mit dem Anspruch der Gültigkeit auch für die Zukunft bearbeiten.

Für die weitere Bearbeitung wird es der Abstimmung bedürfen, wer welche Themenbereiche mit welcher Verbindlichkeit behandelt, um Doppelarbeit, aber auch potentiell widersprüchliche Ergebnisse zu vermeiden.

Deshalb hat sich die Prozessgruppe beim Anbieterwechsel zunächst darauf beschränkt, drei wesentliche Grundprinzipien zu formulieren, die jeden Anbieterwechselprozess kennzeichnen sollen.

### 3.6.5.1 Trennung Vorabstimmung und technische Durchführung

Erstes Grundprinzip ist die klare Aufteilung des Anbieterwechsels in einen zweistufigen Prozess mit Vorabstimmung auf der einen und technischer Durchführung des Wechsels auf der anderen Seite:

- 1. Stufe: Vorabstimmung über einen anstehenden Anbieterwechsel zwischen  $EKP_{ab}$  und  $EKP_{auf}$
- 2. Stufe: Technische Durchführung des Anbieterwechsels

Die 2. Stufe kommt immer nur nach einer erfolgreichen Vorabstimmung und innerhalb der hierin vereinbarten, individuellen Bedingungen (z.B. Termine) zustande. Die Einhaltung dieser Bedingungen stellt sicher, dass die technische Durchführung des Anbieterwechsels nahezu ausnahmslos erfolgreich und reibungslos erfolgen wird.

### 3.6.5.2 Prozesssteuerung durch den $EKP_{auf}$

Es wurde als sinnvoll erkannt, die Steuerung des Prozesses und der Kommunikation, soweit möglich, in einer Hand zu bündeln, um Missverständnisse und unzureichend koordinierte Abläufe zu vermeiden. Am besten für diese Aufgabe geeignet erscheint der  $EKP_{auf}$ , da dieser den größten wirtschaftlichen Anreiz für einen erfolgreichen Wechselprozess hat.

### 3.6.5.3 „Sicherer Hafen“

Wichtigstes Gebot aus Kundensicht ist die Sicherstellung eines (weitestgehend) unterbrechungsfreien Wechsels. Dies ist für den Kunden in aller Regel wichtiger als die unbedingte Einhaltung des Wunschtermins für den Wechsel. Um das Ziel der Unterbrechungsfreiheit auch für den Fall zu gewährleisten, dass es im Rahmen der Umschaltung bzw. der Neuschaltung auf Seiten der aufnehmenden Unternehmen zu Terminverschiebungen kommt, wurde das Prinzip eines „sicheren Hafens“ vereinbart. Dahinter verbirgt sich die einfache Regel, dass der Prozessablauf sicherstellen soll, dass eine Abschaltung durch die abgebenden Unternehmen ( $EKP_{ab}$  und  $NGAB_{ab}$ ) nicht erfolgt, bevor nicht die Bestätigung der erfolgreichen Umschaltung / Neuschaltung auf Seiten des  $EKP_{auf}$  vorliegt.

### 3.6.6 Weiteres Vorgehen

Die weitere Ausarbeitung der Details der Anbieterwechsel-Prozesse erfolgt in enger Abstimmung der Zielsetzungen und der Aufgabenteilung mit anderen am selben Thema arbeitenden Gruppen im Markt.



### **3.7 Anforderungen für technische Schnittstellen für die Prozessdurchführung**

Für die bislang bearbeiteten Geschäftsprozesse sind zwei verschiedene technische Schnittstellen identifiziert worden, die für die erfolgreiche Umsetzung der Zielsetzung kundenfreundlicher und effizienter Prozesse benötigt werden:

- Orderschnittstelle für Beauftragung / Abwicklung der beschriebenen Prozesse
- Diagnoseschnittstelle zur Eingrenzung von Störungen

#### **3.7.1 Orderschnittstelle**

Es besteht Einvernehmen, dass es für die Durchführung der beschriebenen Prozesse elektronischer Schnittstellen bedarf, wenn man das übergeordnete Ziel verbraucherfreundlicher und effizienter Prozessabläufe erreichen will. Die Prozessgruppe hat das Ziel, im Laufe der weiteren Arbeit für das zweite Abschlussdokument die wesentlichen Anforderungen an eine solche „Orderschnittstelle“ zu beschreiben. Dabei sollen bereits bestehende Vorarbeiten genutzt werden, um Lösungen zu finden, die auf eine breite Akzeptanz im Markt stoßen und schnell und effizient umsetzbar sind.

Die weiteren Ergebnisse zu diesem Punkt bleiben dem zweiten Teil des Abschlussberichts vorbehalten.

#### **3.7.2 Diagnoseschnittstelle**

Die Geschäftsprozessgruppe hat für die Diagnoseschnittstelle einvernehmlich die folgenden Anforderungen formuliert. Ausgangspunkt sind die wechselseitigen Zielsetzungen von EKP und NGAB sowie eine Analyse der wahrscheinlichsten Fehlerbilder, auf die reagiert werden sollte.

##### **3.7.2.1 Zielsetzung aus Sicht der EKP**

Für die EKP soll die bereitgestellte Diagnoseschnittstelle die eigenständige Beantwortung der folgenden Fragen zur Eingrenzung der Störung ermöglichen, um zielgerichtete Maßnahmen zur Störungsbeseitigung einleiten und dem Kunden angemessen Informationen geben zu können:

- Handelt es sich um eine Einzel- oder Flächenstörung?
- Kann der Fehler auf die CPE (des EKP) oder das Netz (des NGAB) eingegrenzt werden?

Ziel ist, die Anzahl der Tickets, die ein EKP im Rahmen des Entstörprozesses bei einem NGAB aufmacht, möglichst gering halten zu können.

### 3.7.2.2 Grundsätzliches aus Sicht der NGA-Betreiber (NGAB)

Die Zielsetzung seitens des EKP ist im Grundsatz deckungsgleich mit den Interessen des NGAB, jedoch gelten einige zusätzliche Anforderungen:

- Auch seitens des NGAB ist es ein übergeordnetes Ziel, eine Reduzierung der Tickets zu erreichen, welcher der EKP beim NGAB eröffnet.
- Die Diagnoseschnittstelle soll eine Möglichkeit zur Vorklärung durch den EKP schaffen, ob eine Endkundenstörung in den Verantwortungsbereich des NGAB (Netzflächenstörung, Störung im Netz) oder seinen Verantwortungsbereich (z. B. Endgerätestörung der CPE oder Fehlverhalten des Endkunden) fällt. Eine tiefer gehende Analyse einer Netzstörung durch den EKP ist weder notwendig noch sinnvoll.
- Die Diagnoseschnittstelle dient nur der Voreingrenzung von Endkundenstörungen und wird nicht zu einem permanenten Monitoring der Kundenanbindung eingesetzt werden, ein permanentes oder proaktives Scannen der zur Verfügung gestellten Informationen darf nicht stattfinden. Die Bereitstellung der Informationen erfolgt auf reaktiver Basis für den Einzelfall (Kontrolle ist über ein Limit durch den NGAB möglich; hierbei wird das Abfragevolumen begrenzt).
- Es erfolgt kein direkter (unmittelbarer) Zugriff auf die Netz- oder Netzmanagementsysteme des NGAB.
- Der Zugang erfolgt nicht über die A10-NSP- oder die Orderschnittstelle sondern über eine gesonderte und noch zu definierende (z. B. WEB) Schnittstelle.
- Es muss mittels eines Sicherheitskonzeptes (z.B. Berechtigungskonzept, Whitelist, etc.) sichergestellt werden, dass ein EKP nur Zugriff auf Informationen bekommt, die seine eigenen Endkunden direkt betreffen. Zugriff auf Endkunden anderer Service Provider oder übergeordnete Informationen können nicht gewährt werden. Die Definition ist losgelöst von bereits existierenden Schnittstellen durchzuführen.
- Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass ein längerer zeitlicher Vorlauf für die IT- technische Umsetzung notwendig ist.

### 3.7.2.3 Fehlerbilder und Fehlerursachen

Zur besseren Beurteilung der zu behandelnden Problemstellungen wurden in den wesentlichen Technologien FTTH und FTTB/C häufig auftretende Fehlerbilder und die dafür verantwortlichen Ursachen mit dem nachfolgend tabellarisch dargestellten Ergebnis zusammengestellt. Die Liste ist bislang nur exemplarisch ausgearbeitet, zum Teil auf besondere Technologieformen beschränkt und daher noch nicht abgeschlossen.

| Fehlerbild   | Fehlerursachen bei FTTH-Technologie  | Fehlerursachen bei FTTB/C-Technologie  |
|--|--|--|
| <b>Kunde hat keine Verbindung</b>                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Faserbruch</li> <li>• Dämpfung zu hoch</li> <li>• ONT defekt</li> <li>• Stromunterbrechung (am ONT)</li> <li>• OLT-Port defekt</li> <li>• Massenstörung (z.B. Stromausfall OLT, defekter OLT, Netzwerkfehler übergeordneter Komponenten)</li> <li>• Konfiguration ONT oder OLT (Port) fehlerhaft</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Synchronisation unterbrochen</li> <li>• Stromunterbrechung (beim Endkunden)</li> <li>• DSLAM-Port defekt („freeze“ des Ports)</li> <li>• Modem (CPE) defekt</li> <li>• Cu-Leitung unterbrochen</li> <li>• Beeinflussung CU-Leitung</li> <li>• Massenstörung (z.B. Stromausfall DSLAM, defekter DSLAM, Netzwerkfehler übergeordneter Komponenten)</li> <li>• Konfiguration CPE oder DSLAM (Port) fehlerhaft</li> </ul> |
| <b>Kunde hat Problem mit der Geschwindigkeit</b>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ONT defekt</li> <li>• OLT-Port defekt</li> <li>• Massenstörung (z.B. Stromausfall OLT, defekter OLT, Netzwerkfehler übergeordneter Komponenten)</li> <li>• Konfiguration ONT oder OLT (Port) fehlerhaft</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• DSLAM-Port defekt</li> <li>• Modem (CPE) defekt</li> <li>• Cu-Leitung unterbrochen</li> <li>• Beeinflussung CU-Leitung</li> <li>• Massenstörung (z.B. Stromausfall DSLAM, defekter DSLAM, Netzwerkfehler übergeordneter Komponenten)</li> <li>• Konfiguration CPE oder DSLAM (Port) fehlerhaft</li> </ul>   |
| <b>Kunde hat zeitweise Problem mit der Geschwindigkeit</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Massenstörung (z.B. Stromausfall OLT, defekter OLT, Netzwerkfehler übergeordneter Komponenten)</li> <li>• Konfiguration ONT oder OLT (Port) fehlerhaft</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modem (CPE) defekt</li> <li>• Beeinflussung der CU-Leitung</li> <li>• Massenstörung (z.B. Stromausfall DSLAM, defekter DSLAM, Netzwerkfehler übergeordneter Komponenten)</li> <li>• Konfiguration CPE oder DSLAM (Port) fehlerhaft</li> </ul>   |

Tabelle 12: Fehlerbilder

### 3.7.2.4 Anforderungen an die Diagnoseschnittstelle

Die Prozess-Arbeitsgruppe hat herausgearbeitet, welche Anforderungen an die Diagnoseschnittstelle zur Erreichung der eingangs beschriebenen Zielsetzungen besonders wesentlich sind. Optionen für eine technische Realisierung dieser Anforderung wurden aufgezeigt; sie aber stehen noch unter dem Vorbehalt technischer und wirtschaftlicher Realisierbarkeit und bedürfen insofern noch weiterer Diskussion:

- Der EKP soll durch Informationen über den Status eines Endkunden auf dem Anschlusssystem des NGAB bei allen Technologien in die Lage versetzt werden, eine Voreingrenzung und Fehleranalyse vorzunehmen (z.B. Zugang zu Portstatus)
- Sofern die vorhandene Technik den Reset eines einzelnen Ports zulässt, der eindeutig einem Endkunden zuzuordnen ist, kann für den EKP die Möglichkeit nützlich sein, den Port auf dem Anschlusssystem des NGAB zurückzusetzen („Portreset“), um das Störungsaufkommen beim Netzbetreiber zu reduzieren und die Beseitigung einer Endkundenstörung möglichst zu beschleunigen. Die Umsetzbarkeit im Einzelfall bedarf weiterer Prüfung.
- Eine Darstellung der aktuell zwischen den Access-Komponenten und dem Endgerät synchronisierten Übertragungsrate kann bei der Voreingrenzung einer Endkundenstörung in erster Linie bei FTTN/C aber auch bei FTTB relevant sein. Bei FTTH ist dies nicht notwendig, da dies über die QoS- Klassen und SLA gewährleistet wird.

Weitere Leistungsmerkmale der Diagnoseschnittstelle wurden diskutiert, zu ihnen konnte aber bislang kein Einvernehmen über deren Nutzen und Realisierbarkeit erzielt werden, so dass diese Punkte zunächst zurückgestellt wurden. Hierzu zählen aktive Meldungen und Informationen einzelner Access-Komponenten zu deren aktuellen und historischen Status (über den Port-Status hinaus), Informationen über den Zell- bzw. Paketfluss, Aussagen über die Dämpfung auf der Endleitung, Informationen zu Priorisierungsmechanismen in den Aggregationsstufen sowie schließlich die Möglichkeit zu Profilanpassungen auf kupferbasierten Übertragungsstrecken.

Das Thema Diagnoseschnittstelle soll im Rahmen des erweiterten Mandats noch zwischen Technik- und Prozessgruppe weiter vertieft werden.

## 4 Weiteres Vorgehen und Ausblick

### 4.1 Allgemeine Themen und Bereich Technik

Die Arbeitsgruppe Interoperabilität wird in einem zweiten Ergebnisdokument auf Basis der erarbeiteten Rahmenspezifikation eine Leistungsbeschreibung des Ebene 2-Bitstromzugangsproduktes erstellen. Es werden die folgenden technischen Parameter konkretisiert:

- Abschlusspunkte, Übergabepunkte, Protokolle, Standards
- Leistungs-/Qualitätsparameter
- Realisierbare Dienste (z.B. Multicast)
- Merkmale/Anforderungen/Standards technisches Equipment
- Vom Kunden bereitzustellende Systeme (z.B. CPE)

Die Leistungsbeschreibung erfolgt neutral bezüglich Architektur und Technologie, um alle Ebene 2-Zugangsnetzlösungen abdecken zu können. Ziel ist, die grundlegenden Schnittstellenparameter zu benennen und sinnvolle Einstellungsoptionen aufzuzeigen.

Neben der Spezifikation der L2-Transportschnittstelle werden Spezifikationen für die technische Umsetzung der Diagnose- und Orderschnittstellen erarbeitet, nach Möglichkeit unter Verwendung marktüblicher bzw. derzeit in anderen Gremien entstehenden Lösungen.

Idealerweise kann die Leistungsbeschreibung als einfache Grundlage (in der Art eines Mustervertrages) für bilaterale Kooperationsvereinbarungen herangezogen und auf spezifische Situationen adaptiert werden.

Soweit möglich werden zusätzlich Beschreibungen für spezifische Techniken und Netzkonfigurationen in Form von 1 - 2 konkreten und realistischen Beispielen für Ebene 2-Bitstromzugangsprodukte erstellt.

Die im vorliegenden Dokument beschriebenen Lösungen zur Bereitstellung der ebenfalls als bedeutend eingeordneten Ebene 0-Zugangsprodukte basieren im Wesentlichen auf Empfehlungen und Standards von Verbänden und Organisationen. Hier sind kontinuierliche Entwicklungen und Erweiterungen zu erwarten, die über den Zeithorizont der Arbeitsgruppe hinausgehen und daher nicht erschöpfend behandelt werden können.

Ähnliches gilt bei Vorleistungsprodukten der Ebene 1 in Form von optischen Kanälen und Bändern. Sie haben das Potenzial, eine bedeutende Rolle in NGA-Interoperationsmodellen zu spielen, sobald die entsprechenden Technologien sowie die erforderlichen Methoden zur automatisierten Verwaltung von Wellenlängen marktreife erlangt haben.

Das jetzt erstellte Grundsatzdokument ist daher nicht als statisch anzusehen, es soll kontinuierlich weiterentwickelt werden und neue Technologien und Entwicklungen aufnehmen.

## **4.2 Bereich Geschäftsprozesse**

Für den zweiten Ergebnisteil der Arbeitsgruppe Interoperabilität, die möglichst konkrete Leistungsbeschreibung eines Ebene-2-Vorprodukts, beabsichtigt die Prozessgruppe insbesondere noch folgende Arbeitsschritte:

- Für die weitere Detaillierung der Prozessabläufe für den Anbieterwechsel steht zunächst die weitere Abstimmung mit anderen Gruppen an, die ähnliche Themen für die heutige Welt, aber mit dem Anspruch der Gültigkeit auch für die Zukunft bearbeiten. Zentrale Bedeutung kommt dabei unabhängig von der konkreten Aufteilung der Arbeit der Zielsetzung zu, die in diesem Bericht beschriebenen Grundprinzipien (Zweistufigkeit des Anbieterwechsel-Prozesses, eindeutige Steuerungsverantwortung und der „sichere Hafen“) zu realisieren.
- Soweit möglich, soll Einvernehmen über angemessene Service Levels für die einzelnen definierten Prozessschritte erreicht werden.
- Auf der Basis der exemplarischen Prozessbeschreibungen und Vorschläge zu Absprachen bzw. Standardisierungen können weitere der eingangs aufgeführten Prozesse abgeleitet werden. Inwieweit diese Erweiterungen noch in dem dieser Arbeitsgruppe zur Verfügung stehenden Zeitrahmen geleistet werden können, wird nach Abschluss der zuvor beschriebenen Arbeitspakete zu klären sein.
- Die Prozessgruppe hat sodann das Ziel, auch eine Beschreibung einer standardisierten Prozessschnittstelle zu erstellen. Hierzu soll möglichst auf bereits im Markt vorhandene Überlegungen zurückgegriffen werden, um größtmögliche Akzeptanz für einen Vorschlag zu sichern.
- Hinsichtlich der Diagnoseschnittstellen sind die wesentlichen Grundanforderungen formuliert. Die Technikgruppe soll bei Bedarf bei der Definition der technischen Umsetzung unterstützt werden.

Der Anspruch der Arbeitsgruppe ist nicht zwangsläufig, im Rahmen der Leistungsbeschreibung bereits die Festlegung aller in Frage kommenden Geschäftsprozesse zu liefern. Der Schwerpunkt soll auf der Erarbeitung der besonders wichtigen, weil besonders massenmarktrelevanten Abläufe liegen. Der Grad der möglichen Detailtiefe wird auch davon abhängen, bis zu welcher Stufe konsensuale Lösungen gefunden werden können. Ziel muss es aber sein, Prinzipien und möglichst konkrete Absprachen festzulegen, die dann auf andere, in Einzelfragen abgewandelte Situationen übertragen werden können.

## Referenzen

- [1] BNetzA: Mandat des NGA-Forums bei der Bundesnetzagentur, Bundesnetzagentur, Bonn, März 2010,  
(<http://www.bundesnetzagentur.de/cae/servlet/contentblob/153492/publicationFile/6542/Mandat.pdf>)
- [2] BNetzA: Mandat der Arbeitsgruppe ‚Interoperabilität‘ des NGA-Forums, Bundesnetzagentur, NGA-Forum, Bonn, Juni 2010  
(<http://www.bundesnetzagentur.de/cae/servlet/contentblob/156390/publicationFile/7522/MandatInteroperabilitaet.pdf>)
- [3] BNetzA: NGA-Forum Zwischenbericht, Dezember 2010  
(<http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/BNetzA/Sachgebiete/Telekommunikation/Regulierung/NGAForum/Zwischenbericht201012.pdf>)
- [4] VDE/ITG: Informationstechnik – Breitbandkommunikation – Gebäudeanschluss (FTTB) und Wohnungsanschluss (FTTH) an Lichtwellenleiternetze, VDE-Anwendungsregel VDE-AR-E 2800-901, VDE VERLAG GMBH, Berlin, Dezember 2009
- [5] BMWi: Technische Lösungsszenarien für eine flächendeckende Infrastruktur zur Breitbandversorgung, Vierter Nationaler IT-Gipfel, Hrsg.: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, 10115 Berlin, November 2009  
(<http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/I/it-gipfel-loesungsszenarien.pdf>)
- [6] BMWi: Breitband der Zukunft - Instrumente zur Umsetzung der Nationalen Breitbandstrategie, Fünfter Nationaler IT Gipfel, Hrsg.: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, 10115 Berlin, Dezember 2010  
(<http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/Technologie-und-Innovation/it-gipfel-2010-breitband-zukunft-instrumente-umsetzung.pdf>)
- [7] BMWi: „Technische Aspekte Offener Zugangsnetze“, Fünfter Nationaler IT-Gipfel, Herausgeber: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) 10115 Berlin, November 2010  
(<http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Service/publikationen,did=372708.html>)
- [8] Fiber To The Home Council Europe: FTTH Handbook, Fourth Edition, D&O Committee, Revision date: 14/01/2011  
(<http://www.ftthcouncil.eu/documents/studies/FTTH-Handbook-2011-4thE.pdf>)
- [9] Open Lambda Initiative – OLI Website (im Aufbau)  
(<http://www.openlambdainitiative.org/website/Home.aspx>)
- [10] Wey, Shan; Rohde, Harald; Badstieber, Curt: Open Lambda Initiative for Ultra High Capacity Optical Access Networks, Access Networks and In-house Communications (ANIC), Karlsruhe, Germany, June 21, 2010  
([http://www.osa.org/Meetings/Archives/2010/ANIC\\_2010\\_Archive.pdf](http://www.osa.org/Meetings/Archives/2010/ANIC_2010_Archive.pdf))
- [11] Badstieber, Curt: Die Open-Lambda-Initiative – Virtualisierte passive optische Metro-Zugangsnetze, NET 1-2/11, S.32-33, Februar 2011

- [12] Robson, Julius: LTE/SAE Trial Initiative - Latest Results from the LSTI, February 2009 ([http://www.lstiforum.org/file/news/Latest\\_LSTI\\_Results\\_Feb09\\_v1.pdf](http://www.lstiforum.org/file/news/Latest_LSTI_Results_Feb09_v1.pdf))
- [13] American National Standard for Information Technology: Fibre Channel Backbone - 5 (FC-BB-5), draft proposed Standard INCITS xxx-200x, Rev 2.00 June 4, 2009 (<http://www.t11.org/ftp/t11/pub/fc/bb-5/09-056v5.pdf>)
- [14] ISO/IEC: Information technology – Open Systems Interconnection – Basic Reference Model: The Basic Model, International Standard 7498-1, Second edition 1994-11-15, Corrected and reprinted 1996-06-15
- [15] BEREC: Next Generation Access – Implementation Issues and Wholesale Products, BEREC Report BoR (10) 08, March 2010
- [16] Broadband Forum: CPE WAN Management Protocol v1.2, Technical Report TR-69, Version: Issue 1 Amendment 3, November 2010
- [17] DSL Forum: Migration to Ethernet-Based DSL Aggregation, Architecture and Transport Working Group, Technical Report TR-101, April 2006
- [18] Broadband Forum: Using GPON Access in the context of TR-101, Technical Report TR-156, Issue: 1, December 2008
- [19] Schuster, Sigurd, Wellenlängenmultiplexing im Access, Präsentation im NGA-Forum, 08. Dezember 2010 ([http://www.bundesnetzagentur.de/cae/servlet/contentblob/192328/publicationFile/9516/SigurdSchuster\\_NGAForum\\_20101208.pdf](http://www.bundesnetzagentur.de/cae/servlet/contentblob/192328/publicationFile/9516/SigurdSchuster_NGAForum_20101208.pdf))
- [20] CENELEC CLC/TR 50510, Fibre optic access to end-user – A guideline to building of FTTX fibre optic network, Technical Report, October 2007
- [21] NGA Feedernetz-Handbuch, Informationstechnischen Gesellschaft (ITG), Initiativkreises Next Generation Access / Fiber-to-the-Home, VDE-Verlag, 2011



## Verzeichnis der Abkürzungen und Kurzschreibweisen

|         |   |
|---------|---|
| AAA     | Authentication, Authorization and Accounting                                    |
| ADSL    | Asymmetric Digital Subscriber Loop/Line   |
| AG      | Arbeitsgruppe   |
| AGS     | Aggregation Switch  |
| ANSI    | American National Standards Institute   |
| ARP     | Address Resolution Protocol   |
| ARPANET | Advanced Research Projects Agency Network                                       |
| ASM     | Any-Source Multicast  |
| ATM     | Asynchronous Transfer Mode  |
| BEREC   | Body of European Regulators for Electronic Communications<br>(siehe auch GEREK) |
| BGP     | Border Gateway Protocol   |
| BRAS    | Broadband Remote Access Server  |
| BSA     | Bitstream Access  |
| BSC     | Base Station Controller   |
| BTS     | Base Transceiver Station  |
| CENELEC | Comité Européen de Normalisation Electrotechnique                               |
| CEPT    | European Conference of Postal and Telecommunications<br>Administrations         |
| CMTS    | Cable Modem Termination System  |
| CO      | Central Office  |
| CoMP    | Coordinated Multipoint  |
| CP      | Customer Premises   |
| CPE     | Customer Premises Equipment   |
| CuDa    | Kupferdoppelader  |

|          |   |
|----------|---|
| C-VLAN   | Customer VLAN                                   |
| C-WDM    | Coarse Wavelength Division Multiplexing         |
| DAI      | Dynamic ARP Inspection                          |
| DECT     | Digital Enhanced Cordless Telecommunications    |
| DHCP     | Dynamic Host Configuration Protocol             |
| DiffServ | Differentiated Services                         |
| DOCSIS   | Data Over Cable Service Interface Specification |
| DoS      | Denial of Service                               |
| DRM      | Digital Rights Management                       |
| DSL      | Digital Subscriber Line                         |
| DSLAM    | Digital Subscriber Line Access Multiplexer      |
| D-WDM    | Dense Wavelength Division Multiplexing          |
| EDGE     | Enhanced Data Rates for GSM Evolution           |
| EFM      | Ethernet in the First Mile                      |
| EKP      | Endkunden-Diensteanbieter                       |
| ESCON    | Enterprise Systems Connection                   |
| Eth      | Ethernet  |
| eTOM     | enhanced Telecom Operations Map                 |
| ETSI     | European Telecommunications Standards Institute |
| EVz      | Endverzweiger                                   |
| FC       | Fiber Channel                                   |
| FFP      | Fiber Flexibility Point                         |
| FICON    | Fibre Connection                                |
| FTTB     | Fiber to the Building                           |
| FTTC     | Fiber to the Curb                               |

|        |   |
|--------|---|
| FTTH   | Fiber to the Home   |
| FTTN   | Fiber to the Node   |
| GEREK  | Gremium Europäischer Regulierungsstellen für elektronische Kommunikation (siehe auch BEREC) |
| GFP    | Generic Framing Procedure   |
| GGSN   | Gateway GPRS Support Node   |
| GPON   | Gigabit Passive Optical Network   |
| GPRS   | General Packet Radio Service  |
| HK     | Hauptkabel  |
| HLR    | Home Location Register  |
| HSI    | High Speed Internet   |
| HSDPA  | High Speed Downlink Packet Access   |
| HSPA   | High Speed Packet Access  |
| HSS    | Home Subscriber Server  |
| HÜP    | Hausübergabepunkt   |
| HVt    | Hauptverteiler  |
| IA     | Intermediate Agent  |
| IEC    | International Electrotechnical Commission   |
| IEEE   | Institute of Electrical and Electronics Engineers   |
| IGMP   | Internet Group Management Protocol  |
| INCITS | InterNational Committee for Information Technology Standards                                |
| IP     | Internet Protocol   |
| IPoE   | IP over Ethernet  |
| IP-TV  | IP-Television   |
| IP-VPN | IP Virtual Private Network  |

|       |  |
|-------|--|
| ISDN  | Integrated Services Digital Network  |
| ISO   | International Organization for Standardization                                   |
| ITU-T | International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector |
| KVz   | Kabelverzweiger  |
| LACP  | Link Aggregation Control Protocol  |
| LAG   | Link Aggregation   |
| LSTI  | LTE SAE Trial Initiative   |
| LTE   | Long Term Evolution  |
| LWL   | Lichtwellenleiter  |
| MAC   | Media Access Control   |
| MPLS  | Multiprotocol Label Switching  |
| MSC   | Mobile Switching Center  |
| NGA   | Next Generation Access   |
| NGAB  | NGA-Betreiber  |
| NGMN  | Next Generation Mobile Networks  |
| NID   | Network Interface Device   |
| NT    | Network Termination  |
| OAM   | Operations, Administration, and Maintenance                                      |
| ODN   | Optical Distribution Network   |
| ODU   | Optical Data Unit  |
| OFDM  | Orthogonal Frequency-Division Multiplexing                                       |
| OLI   | Open Lambda Initiative   |
| OLT   | Optical Line Termination   |
| ONT   | Optical Network Terminal   |
| OTH   | Optical Transport Hierarchy  |

|        |   |
|--------|---|
| P2MP   | Point-to-Multi-Point                    |
| P2P    | Point-to-Point                          |
| PDH    | Plesiochronous Digital Hierarchy        |
| PDSN   | Packet Data Server Node                 |
| PON    | Passive Optical Network                 |
| PoP    | Point of Presence                       |
| PPPoE  | Point-to-Point Protocol over Ethernet   |
| PTMP   | Point-to-Multipoint                     |
| PVC    | Permanent Virtual Circuit               |
| PWE3   | Pseudowire Emulation Edge to Edge       |
| QoS    | Class of Service                        |
| RACF   | Resource and Admission Control Function |
| RAS    | Remote Access Server                    |
| RFoG   | Radio Frequency over Glass              |
| RTTC   | Radio To The Curb                       |
| SDH    | Synchronous Digital Hierarchy           |
| SDSL   | Symmetric Digital Subscriber Line       |
| SID    | TM Forum - Information Framework        |
| SIP    | Session Initiation Protocol             |
| SLA    | Service Level Agreement                 |
| SP     | Service Provider                        |
| SS7    | Signalling System #7                    |
| SSM    | Source Specific Multicast               |
| STM    | Synchronous Transport Module            |
| S-VLAN | Stacked VLAN                            |

|        |   |
|--------|---|
| TAL    | Teilnehmeranschlussleitung  |
| TAM    | Telecom Applications Map  |
| TCP    | Transport Control Protocol  |
| TDM    | Time Division Multiplexing  |
| TISPAN | Telecommunications and Internet converged Services and<br>Protocols for Advanced Networking |
| UDP    | User Datagram Protocol  |
| UD-WDM | Ultra Dense Wavelength Division Multiplexing  |
| UMTS   | Universal Mobile Telecommunications System  |
| UNI    | User Network Interface  |
| VDSL   | Very High Speed Digital Subscriber Line   |
| VK     | Verteilkabel  |
| VLAN   | Virtual Local Area Network  |
| VoIP   | Voice over IP   |
| VPN    | Virtual Private Network   |
| WDM    | Wavelength Division Multiplexing  |
| WLAN   | Wireless Local Area Network   |

## Begriffsdefinitionen

In den NGA-Diskussionen werden Begriffe unterschiedlich definiert. Im Folgenden sind die wichtigsten Begriffsdefinitionen aufgeführt, wie sie in diesem Dokument verwendet werden.

|                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| Anwendungen (applications)           | Anwendungen (applications) sind hier nicht als „applications“ im Sinne der ITU-T Rec. Y.101 zu verstehen, sondern als generischer Begriff für Produkte oberhalb der Transportebene (Ebene 3).  |
| Ebene                                | Der Begriff „Ebene“ wird oft sowohl zur vertikalen als auch zur horizontalen Strukturierung verwendet. „Ebene“ wird hier im Sinne von „Schicht“ oder „Layer“ verwendet, zur horizontalen Strukturierung der Begriff „Netzbereiche“ (siehe auch Anhang).  |
| Layer 2 Switch                       | Layer 2-Netze basieren auf nichthierarchischen Strukturen. Layer-2-Switches leiten ausschließlich Datenpakete auf der Sicherungsschicht weiter, sie besitzen keine Vermittlungs- und Routingfunktionen. Die Weiterleitung erfolgt Hardware-basiert nur anhand der MAC-Adressen.  |
| Next generation access (NGA) network | “Next generation access (NGA) networks“ sind Zugangsnetze, die vollständig oder teilweise aus optischen Elementen bestehen und in der Lage sind, Breitbandzugang mit verbesserten Leistungsmerkmalen (wie z.B. höheren Datendurchsatz) im Vergleich zu denen bereits existierender Kupfer- oder Koaxialkabel-basierter Zugangsnetze bereitzustellen oder die zeitnahe flächendeckende Breitbandversorgung unterstützen (wie z.B. funkbasierte Zugangsnetze). |

## 5 Anhang

### 5.1 Gegenüberstellung NGA-Ebenenmodell - OSI-Referenzmodell - TCP/IP-Referenzmodell

#### Hintergrund

Zur Beschreibung der technologieunabhängigen (abstrakten) Struktur und Funktion der Abläufe innerhalb von Telekommunikationsnetzen wird häufig ein Architekturmodell herangezogen. Als Architektur eines Netzes bezeichnet man die Summe der Protokolle (Vorschriften der Kommunikationsabläufe) und Festlegungen welche Netzeinheiten unter welchen Bedingungen unter Verwendung der Protokolle kommunizieren dürfen. Die Aufstellung von Protokollen, die ein bestimmtes System nutzen kann, nennt man Protokollstapel (Protocol Stack).

Um die Komplexität der Darstellung zu vereinfachen und um eine strukturierte Analyse zu ermöglichen, wird die Netzarchitektur in der Regel mit Hilfe von übereinander gestapelten Schichten oder Ebenen (Layer) dargestellt. Man erhält so ein Schichtenmodell.

Mit Hilfe eines Schichtenmodells kann eine Netzarchitektur als logische Abfolge von aufeinanderfolgenden Schichten, die jeweils die unteren Schichten einschließen und vor höheren Schichten isolieren, betrachtet werden. Die Grundidee ist, dass jede Schicht der unteren Schichten einen zusätzlichen Wert (Funktionalität) hinzufügt, so dass die oberste Schicht alle Dienste zur Verfügung hat, um Anwendungen über das Netz ausführen zu können. Die Komplexität der Netzarchitektur und der Kommunikationsvorgänge wird dadurch in kleinere besser handhabbare und von einander unabhängige Bereiche aufgeteilt. Zudem zwingt eine Änderung in einer Schicht nicht zur Änderung des Gesamtsystems, weil Schichten voneinander unabhängig sind.

Kernelemente eines Schichtenmodells sind:

- **Dienste:** Jede Schicht erbringt Dienste für die darüberliegende Schicht. Die Dienstbeschreibung legt fest, welche Aufgaben die Schicht hat, wie auf diese zugegriffen wird und wie die Schicht arbeitet.
- **Schnittstellen:** Die Schnittstellen einer Schicht legen fest, wie Prozesse auf die Schicht zugreifen können. Es werden die Eingabeparameter und die zu erwartenden Reaktionen spezifiziert.
- **Protokolle:** Innerhalb einer Schicht findet die Kommunikation über Protokolle statt. Jede Schicht kann Protokolle nach seiner Wahl benutzen. Es gibt keine Rückwirkungen auf andere Schichten. (Andere Schichten "sehen" die Protokolle nicht.)



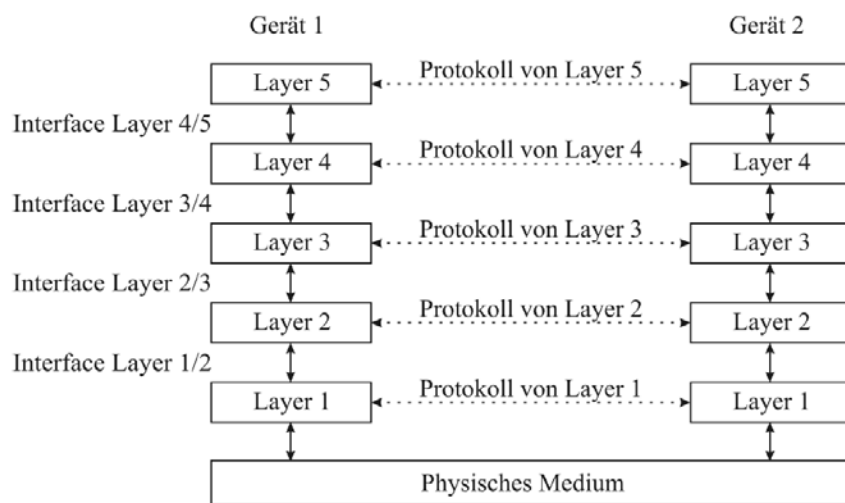


Abbildung 44: Allgemeine Darstellung eines Schichtenmodells

## Modelle

Zur Beschreibung der Abläufe in Telekommunikationsnetzen wird häufig das ISO/OSI-7-Schichtenmodell (kurz ISO-Referenzmodell, siehe [14]) benutzt. Es trennt sehr streng zwischen Dienst, Schnittstelle und Protokoll und ermöglicht eine umfassende Analyse und Verständnis der Kommunikation zwischen heterogenen Systemen. Aufgrund seiner Komplexität ist es jedoch eher theoretischer Natur und dient als Abstraktionsmodell, das der Aufschlüsselung der komplexen Zusammenhänge der Datenübertragung in Kommunikationsnetzen dient.

Implementierungen in IP-Netzen werden hingegen im TCP/IP-Referenzmodell<sup>34</sup> durchgeführt. Es beschreibt den Aufbau und das Zusammenwirken der Netzwerkprotokolle aus der Internet-Protokoll-Familie und gliedert sie in vier aufeinander aufbauende Schichten. Das TCP/IP-Referenzmodell beschreibt, wie der Datenaustausch über die Grenzen lokaler Netzwerke hinaus ermöglicht wird. Der Zugriff auf das Übertragungsmedium selbst und die Datenübertragungstechnik wird (im Gegensatz zum ISO-Referenzmodell) nicht explizit definiert. Da aber alle Protokolle der Internet-Protokoll-Familie durch dieses Modell abgebildet werden, ist es sehr gut geeignet, um das „Interworking“ von IP-basierten Netzen zu beschreiben.

Im NGA-Umfeld wird ein einfaches 3-Ebenenmodell benutzt, um die Zugangsmöglichkeiten zu einem NGA-Netz strukturiert darzustellen. Es wird dabei zwischen passiver, aktiver Infrastruktur und der Diensteebene unterschieden.

<sup>34</sup> Benannt nach den primären Protokollen Transmission Control Protocol und Internet Protocol und entstand bei der Fortentwicklung des ARPANETs zum Internet.

## Gegenüberstellung und Einordnung des NGA-Ebenenmodells

Im Rahmen dieses Dokuments dient das NGA-Ebenenmodell der Verdeutlichung grundsätzlicher technischer Notwendigkeiten und Zusammenhänge von Netzarchitekturen und -funktionen für den Zugang zu NGA-Netzen. Die Ebenen spiegeln dabei die Möglichkeit der Inanspruchnahme von Vorleistungsprodukten unter Beachtung der Wertschöpfungskette wider.

Die NGA-Ebenen dienen zwar der strukturierten Einordnung und Bewertung von Zugangsprodukten auch unter Berücksichtigung grundsätzlicher technischer Funktionalitäten. Sie sind aber nicht geeignet für eine detaillierte Darstellung von Abläufen in Kommunikationsnetzen mit dem Ziel der Definition von Schnittstellen und Protokollen. Vielmehr sollen sie in strukturierter Weise Zugangsmöglichkeiten aufzeigen und den möglichen Bedarf an Schnittstellen und Protokollen identifizieren. Für die Festlegung und Definition von Schnittstellen und Protokollen ist ein technisches Modell wie das ISO-Referenzmodell besser geeignet.

Die Zugangsmöglichkeiten zu einem NGA-Netz müssen neben wirtschaftlichen Aspekten auch technische Notwendigkeiten berücksichtigen, so dass natürlich eine Ähnlichkeit des NGA-Ebenenmodells mit den technischen Referenzmodellen ISO und TCP/IP besteht. Da aber die technischen Schnittstellen und Zusammenhänge mit Netzfunktionen nur vom prinzipiellen Verständnis her beschrieben werden sollen, stellt das NGA-Ebenenmodell eher eine Vereinfachung im Vergleich zum komplexen und umfassenden ISO-Modell dar. Ziel ist, die NGA-Interoperationsbereiche hinreichend genau, aber nicht unnötig komplex darzustellen.

Eine detaillierte technische Analyse und Einordnung von (bestehenden) standardisierten Schnittstellen und Protokollen oder eine Entwicklung noch fehlender Schnittstellen und Protokollen würde innerhalb von Standardisierungsgremien auf Grundlage der technischen Referenzmodelle ISO und TCP/IP erfolgen.

Die nachfolgende Abbildung stellt die verschiedenen Modelle gegenüber:

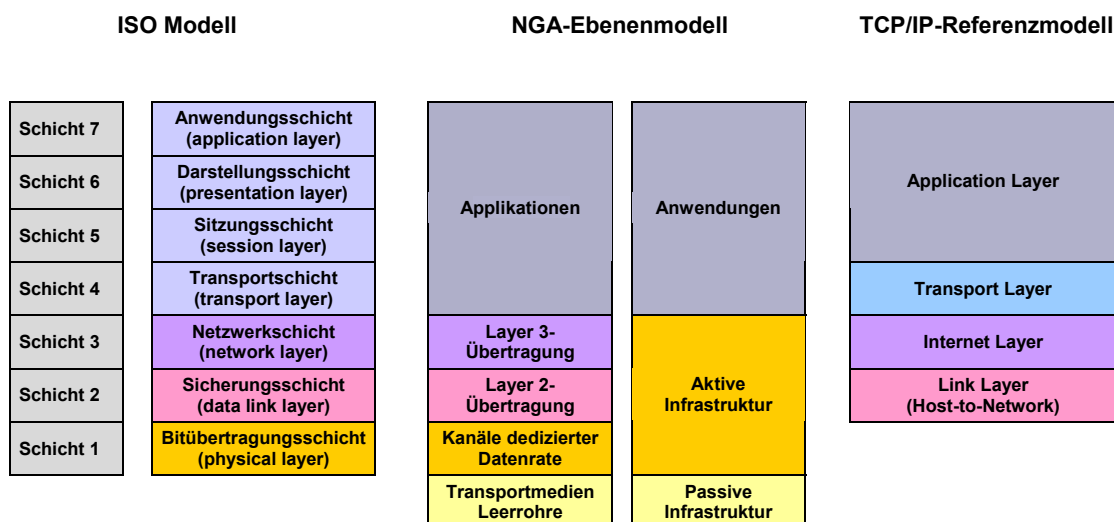


Abbildung 45: Gegenüberstellung der Ebenenmodelle

## 5.2 Technologie-Vergleichstabelle mit Zahlenwerten

| Architektur                   | Spreizung |       | Datenrate<br>(▼/▲)<br>(bit/s) |              | La-<br>tenz<br>(ms) | Reich-<br>weite<br>(km) | CoS | RF-<br>Ovl.<br>Opt. | Zeitl.<br>ver-<br>füg-<br>bar | Kommentare/<br>Annahmen für 'Szen.'   |
|-------------------------------|-----------|-------|-------------------------------|--------------|---------------------|-------------------------|-----|---------------------|-------------------------------|---|
|                               | Max.      | Szen. | max.                          | Szen.        |                     |                         |     |                     |                               |   |
| FESTNETZE                     |           |       |                               |              |                     |                         |     |                     |                               |   |
| FTTH                          |           |       |                               |              |                     |                         |     |                     |                               |   |
| • Punkt-zu-Punkt L1           | 1         | 1     | 100G                          | 10G          | 1                   | 60                      | ✓   | ✓                   | in<br>Be-<br>trieb            | Annahme:<br>Geschäftskunden, bis 100G<br><br>Limitierung:<br>typisch 1GE-Anbindung<br>(theoretisch bis 100GE)<br>Limitierung: Spreizung<br>Active Ethernet (Curb),<br>10GE-Anbindung<br><br>Limitierung:<br>GPON Spreizfaktor<br><br>Limitierung:<br>10GPONSpreizfaktor                                     |
| • Punkt-zu-Punkt L2           | 1         | 1     | 100G                          | 1G           | 1                   | 60                      | ✓   | ✓                   | in<br>Be-<br>trieb            |   |
| • Active Ethernet             | 500       | 500   | 10G                           | 40M/<br>40M  | 5                   | 60                      | ✓   |                     | in<br>Be-<br>trieb            |   |
| • GPON                        | 64        | 64    | 2.5/<br>1,25G                 | 78M/<br>39M  | 10                  | 20                      | ✓   | ✓                   | in<br>Be-<br>trieb            |   |
| • 10GPON                      | 128       | 128   | 10G/<br>2,5G                  | 156M/<br>39M | 10                  | 20                      | ✓   | ✓                   | ca.<br>2012                   |   |
| • NG-PON                      | 1000      | 1000  | 1G                            | 1G           | 10                  | 100                     | ✓   | ✓                   | ca.<br>2014                   |   |
| FTTB                          |           |       |                               |              |                     |                         |     |                     |                               |   |
| • VDSL/Ethernet               | 500       | 80    | 100M/<br>100M                 | 25M/<br>25M  | 10                  | 60                      | ✓   | (✓)*                | in<br>Be-<br>trieb            | Limitierung: typisch 1GE-<br>Anbindung<br>(theoretisch auch 10GE)<br>Limitierung: GPON-<br>Bandbreite (13M + RF-Ovl.),<br>bis zu 64 DSLAMs<br>Limitierung: 10GPON-<br>Bandbreite (13M + RF-Ovl.),<br>bis zu 128 DSLAMs  |
| • VDSL/GPON                   | >1000     | 154   | 100M/<br>100M                 | 12,5M<br>/6M | 20                  | 20                      | ✓   | (✓)*                | in<br>Be-<br>trieb            |   |
| • VDSL/10GPON                 | >1000     | 1600  | 100M/<br>100M                 | 12,5M<br>/3M | 20                  | 20                      | ✓   | (✓)*                | in<br>Be-<br>trieb            |   |
| FTTC                          |           |       |                               |              |                     |                         | ✓   |                     |                               |   |
| • VDSL/Ethernet               | 500       | 500   | 100M/<br>50M                  | 40M/<br>40M  | 10                  | 60                      | ✓   |                     | in<br>Be-<br>trieb            | Limitierung: 10 GE-<br>Anbindung, realistischer<br>DSLAM-Ausbau,<br>Limitierung: typisch 1GE-<br>Anbindung (theoretisch auch<br>10GE)<br>Limitierung: Up-/Downstr.<br>Kanäle jeweils auf 50M/27M,<br>(13M + RF-Ovl.)<br>Limitierung: durch Up-<br>/Downstr. Kanäle jeweils auf<br>400M/100M (13M + RF-Ovl.) |
| • ADSL2/Ethernet              | 500       | 125   | 16M/<br>2M                    | 16M/<br>2M   | 10                  | 60                      | ✓   |                     | in<br>Be-<br>trieb            |   |
| • COAX/Ethernet<br>(Docsis 2) | >1500     | 8     | 50M/<br>27M                   | 12M/<br>3,4M | 20                  | 60                      | ✓*) | ✓                   | in<br>Be-<br>trieb            |   |
| • COAX/Ethernet<br>(Docsis 3) | >1500     | 62    | 400M/<br>100M                 | 12M/<br>3M   | 20                  | 60                      | ✓*) | ✓                   | 2011                          |   |
| RTTC                          |           |       |                               |              |                     |                         |     |                     |                               |   |
| • VDSL/Radio                  | 500       | 80    | 100M/<br>50M                  | 25M/<br>25M  | 50                  | 50                      | ✓   |                     | in<br>Be-<br>trieb            | Limitierung: typisch<br>1GE-Anbindung   |
| • ADSL2/Radio                 | 500       | 125   | 16M/<br>2M                    | 16M/<br>2M   | 50                  | 50                      | ✓   |                     | in<br>Be-<br>trieb            | Limitierung: typisch<br>1GE-Anbindung   |
| Funknetze                     |           |       |                               |              |                     |                         |     |                     |                               |   |
| • WLAN                        | 100       | 12    | 150M                          | 25M/<br>25M  | 150                 | 0,1                     |     |                     | in<br>Be-<br>trieb            | LTE FDD, 2x2 MIMO<br><br>Limitierung: 500M/400M<br>pro Spot Beam bzw.<br>pro ca. 60000 km²  |
| • EDGE                        | 450       | --    | 237k/<br>118k                 | --           | 450                 | 35                      |     |                     | in<br>Be-<br>trieb            |   |
| • HSPA                        | >1000     | --    | 0,7M/<br>0,36M                | --           | 150                 | 10                      | ✓   |                     | in<br>Be-<br>trieb            |   |
| • LTE                         | 400       | 10    | 125M                          | 25M/<br>25M  | 60                  | 10                      | ✓   |                     | 2011                          |   |
| • Satellitenanbindung         | >1000     | 100   | 10M/<br>4M                    | 10M/<br>4M   | 700                 | 500                     | ✓** | ✓                   | in<br>Be-<br>trieb            |   |

\*) nur bis zum Gebäude, nicht E2E

\*\*) L3-QoS-Mechanismen

Tabelle 13: Technologie-Vergleichstabelle mit Zahlenwerten

- Ende des Dokuments -