



Hochschule Magdeburg-Stendal  
Fachbereich Ingenieurwissenschaften und Industriedesign  
Institut für Elektrotechnik

# Bachelorarbeit

zur Erlangung des Grades eines  
„Bachelor of Engineering“  
im Studiengang Elektrotechnik

**Thema** : Kostenoptimierung von Glasfasernetzen in  
Gebäuden

**Eingereicht von** : Agata Helena Masalle  
**Angefertigt für** : I2KT GmbH & Co.KG

**Martikeldnummer** : 20183194  
**Ausgabetermin** : 20. Dezember 2021  
**Abgabetermin** : 15. März 2022  
**Hochschul-Betreuer** : Prof. Dieter Schwarzenau  
**Betrieblicher Betreuer** : Carsten Schaible

---

( Prüfer 1)

---

( Prüfer 2)

## **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit versichere ich, Agata Helena Masalle, die vorliegende Arbeit selbstständig und unter ausschließlicher Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel erstellt zu haben.

Magdeburg, den 15. März 2022

---

(Agata Helena Masalle)

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>4</b>
2.1	Entwicklung des Breitbandausbaus in Deutschland (2017-2020) . . . . .	7
2.2	Übersicht der Netzarchitekturen . . . . .	8
2.3	FTTH (Fibre to The Home) . . . . .	9
2.3.1	FTTH-Netzarchitektur . . . . .	9
2.3.2	Elemente eines optischen Zugangnetzes in FTTH . . . . .	12
2.4	FTTH-Installationen in Gebäuden und deren Anforderungen . . . . .	13
2.4.1	BEP (Building Entry Point) . . . . .	13
2.4.2	FD (Floor Distributor) . . . . .	14
2.4.3	Gebäudeverkabelung . . . . .	14
2.4.4	OTO (Optical Telecommunications Outlet) . . . . .	16
2.4.5	ONT (Optical Network Termination) . . . . .	17
2.4.6	Customer Premises Equipment (CPE), Subscriber Premises Equipment (SPE) . . . . .	17
2.5	Netzebenen im Glasfasergebäudenetz . . . . .	18
2.6	Rechtliche und normative Grundlagen des Brandschutzes, Begrifflichkeiten, Brandschutzziele allgemein und die Anwendung in der FTTH-Installation . . . . .	19
2.6.1	Allgemeine Brandschutzziele und die gesetzliche Basis . . . . .	19
2.6.2	Deutsche Normen . . . . .	19
2.6.3	Europäische Normen . . . . .	21
2.6.4	Brandschutzkabel . . . . .	25
2.6.5	Bauteilbrandschutz . . . . .	27
<b>3</b>	<b>Die Projektvorstellung und Zielfragenformulierung</b>	<b>28</b>
3.1	Gebäudetyp . . . . .	28
3.2	FTTH-Design . . . . .	29
3.2.1	NE4 . . . . .	29
3.2.2	NE5 . . . . .	31
3.2.3	Kostenverteilung . . . . .	32
<b>4</b>	<b>Methode</b>	<b>34</b>
<b>5</b>	<b>Analyse von Lösungsoptionen</b>	<b>36</b>
5.1	Brandschutzmaterialien . . . . .	36

5.2	FTTH-Materialien und FTTH-Arbeitsaufwand . . . . .	39
5.2.1	FTTH-Netzwerkstrukturen . . . . .	39
5.2.2	Umsetzung der NE4 . . . . .	40
5.2.3	Zusammenfassung der Diskussion . . . . .	43
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>44</b>
<b>7</b>	<b>Fazit</b>	<b>46</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>47</b>

## Abkürzungsverzeichnis

<b>APON</b>	ATM Passive Optical Network
<b>ATM</b>	Asynchronous Transfer Mode
<b>BEP</b>	Building Entry Point
<b>BPON</b>	Broadband Passive Optical Network
<b>CO</b>	Central Office
<b>CPE</b>	Customer Premises Equipment
<b>CPR</b>	Construction Products Regulation
<b>DIBt</b>	Deutsches Institut für Bautechnik
<b>DIN</b>	Deutsches Institut für Normung e.V.
<b>DSL</b>	Digital Subscriber Line
<b>DSLAM</b>	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
<b>EPON</b>	Ethernet Passive Optical Network
<b>ET</b>	Etagenverteiler
<b>FTTB</b>	Fibre to The Building
<b>FTTC</b>	Fibre to The Curb
<b>FTTH</b>	Fibre to The Home
<b>Gf-SV</b>	Glasfaser-Standortverteiler
<b>Gf-GV</b>	Glasfaser-Gebäudeverteiler
<b>GK</b>	Gebäudeklasse
<b>GPON</b>	Gigabit-Capable Passive Optical Network
<b>HÜP</b>	Hausübergabepunkt
<b>IEC</b>	International Electrotechnical Commission
<b>IP-Adresse</b>	Internet Protocol Adresse
<b>IP</b>	International Protection
<b>ITU</b>	International Telecommunication Union

<b>KVz</b>	Kabelverzweiger
<b>LAN</b>	Local Area Network
<b>LBO</b>	Landesbauordnung
<b>LC/APC</b>	Lucent Connector/Angle Physical Contact
<b>LF-Kanal</b>	Leitungsführungssystem-Kanal
<b>LWL</b>	Lichtwellenleiter
<b>MBO</b>	Munsterbauordnung
<b>MDU</b>	Multi Dwelling Unit, Mehrfamillienhaus
<b>MFG</b>	Multifunktion Gehäuse
<b>MWG</b>	Wohnungsgenossenschaft eG Magdeburg
<b>NE</b>	Netzebene
<b>ODF</b>	Optical Distribution Fibre
<b>OLT</b>	Optical Line Termination
<b>ONT</b>	Optical Network Termination
<b>ONU</b>	Optical Network Unit
<b>OTDR</b>	Optical Time Domain Reflectometry
<b>OTO</b>	Optical Telecommunications Outlet
<b>PE</b>	Polyethylen
<b>PON</b>	Passive Optical Network
<b>POP</b>	Point of Presence
<b>P2P</b>	Punkt-zu-Punkt
<b>P2MP</b>	Punkt-zu-Multipunkt
<b>SC/APC</b>	Subscriber Connector/Angle Physical Contact
<b>SPE</b>	Subscriber Premises Equipment
<b>TKG</b>	Telekommunikationsgesetz
<b>USV</b>	unterbrechungsfreie Stromversorgung
<b>VDSL</b>	Very high speed Digital Subscriber Line
<b>WAN</b>	Wide Area Network

**WE** Wohneinheit

**WDM-PON** Wavelength-division Multiplexing Passive Optical Network

**WV** Wohnungsverteiler

**10GEPON** 10Gigabit Ethernet Passive Optical Network

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Internetnutzer in Deutschland nach Häufigkeit der Internetnutzung von 2017 bis 2021 . . . . .	1
2.1	Schematischer Aufbau eines Glasfaserkabels . . . . .	4
2.2	Glasfasertypen . . . . .	5
2.3	Steckerverbindungen . . . . .	7
2.4	Durchschnittliche Breitgeschwindigkeit von 2017 bis 2020 . . . . .	7
2.5	Verschiedene Netzarchitekturen von ADSL bis FTTH und deren Unterschiede	8
2.6	Passives optisches Netzwerk (PON) . . . . .	10
2.7	Beispiel einer Spleißbox . . . . .	14
2.8	Die Gebäudeverkabelung in einem Mehrfamilienhaus durch ein PON-System	15
2.9	GPON, ONT . . . . .	17
2.10	Netzebenen im allgemeinen Glasfasergebäudenetz . . . . .	18
2.11	Baustoffklassen nach DIN 4102 . . . . .	20
2.12	Feuerwiderstandsklassen (Bauteile) nach DIN 4102-2 . . . . .	21
2.13	Brandstoffklassen nach DIN EN 13051 . . . . .	22
2.14	Euroklassen . . . . .	23
2.15	Anlagen zur Bauregelliste A Teil 1-Ausgabe 2015/2 . . . . .	24
2.16	Vorschlag der deutschen Kabelindustrie für Mindestanforderungen . . . . .	26
3.1	Geschossgrundriss des P2 M10 . . . . .	28
3.2	Illustration von NE4 . . . . .	30
3.3	Illustration von NE5 . . . . .	31
3.4	Prozentuale Kosten NE4 . . . . .	32
3.5	Kostenverteilung NE5 . . . . .	33
5.1	Mögliche Brandschutzmaterialien für Abschottungssysteme . . . . .	38
5.2	FTTH-Entwurf im Steigleitungsbereich . . . . .	39
5.3	Dämpfungsverlauf einer Monomode-Faser . . . . .	41

## Tabellenverzeichnis

1.1	Bitrate der Streaming Anbieter (Auswahl) . . . . .	2
2.1	genormte PON-Systeme . . . . .	11
2.2	Standard Außen- und Innen-Netzkabel mit den jeweiligen Biegeradien . . .	16
3.1	Wohnungen . . . . .	29
5.1	Beschaffenheit des Bauteils nach MBO für ein Mehrfamilienhaus . . . . .	37

# 1 Einleitung

Die Digitalisierung unseres Lebens erfordert heute und in der Zukunft eine große Bandbreite für Homeoffice, Homeschooling, Smart Home-Anwendungen, Video-Streaming, Internet-TV, Online-Games, Informationsportale und soziale Netzwerke, um nur einige Beispiele zu nennen. Heute sind mittlerweile viele Menschen täglich online. Die folgende Abbildung stellt die Internetnutzung in Deutschland dar (siehe Abbildung 1.1).

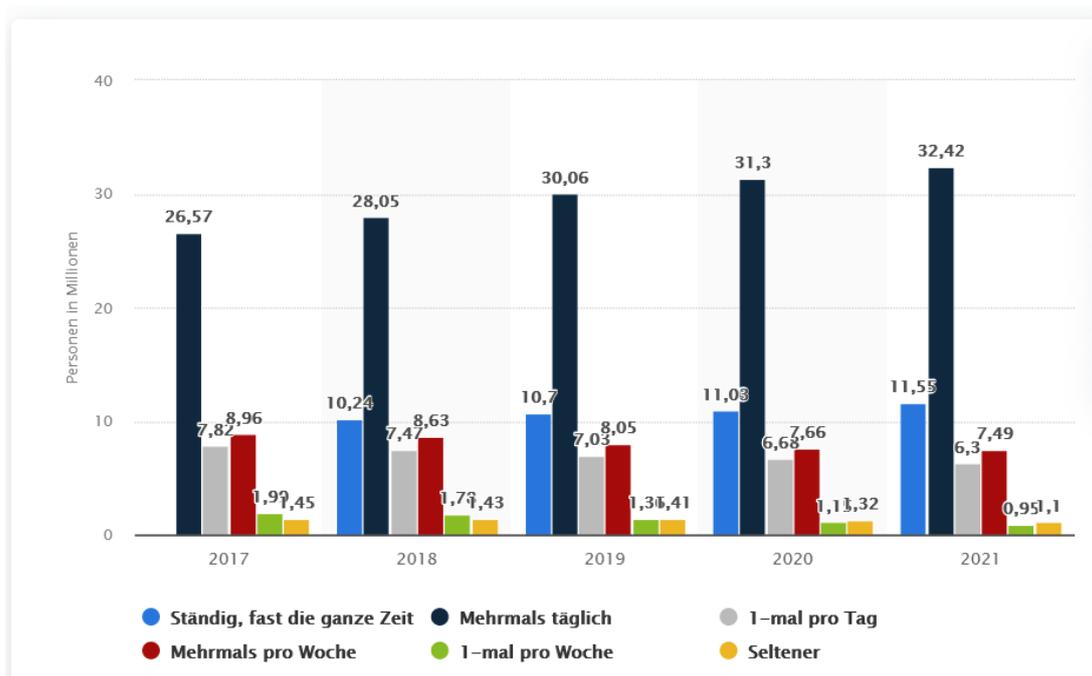


Abbildung 1.1: Internetnutzer in Deutschland nach Häufigkeit der Internetnutzung von 2017 bis 2021. Quellen: Statista, <https://tinyurl.com/42jhhzud>, 2021

Obwohl seit Juni 2017 die Kabelnetzanbieter damit begonnen haben, ihr analoges TV-Signal einzustellen, liegt der Anteil an Haushalten, die Internet-TV nutzen, nur bei circa fünf Prozent. Die Anzahl wird jedoch in den nächsten Jahren weiter stark ansteigen. Dazu kommt noch der steigende Qualitätsanspruch der Nutzer. Einige geben sich mit weniger als HD-Qualität zufrieden und ein immer größer werdender Anteil fordert Ultra-HD-Qualität. Das steigert zusätzlich den Bedarf an Bandbreite, wie Tabelle 1.1 noch einmal verdeutlicht:

Tabelle 1.1: Bitrate der Streaming Anbieter (Auswahl)

Streaming Anbieter	SD	HD	Ultra HD
Zattoo	ca. 3 Mbit/s	ca. 8 Mbit/s	k.A.
Netflix	ca. 3,0 Mbit/s	ca. 5,0 Mbit/s	ca. 25 Mbit/s
Amazon Video	ca. 0,9 Mbit/s	ca. 3,5 Mbit/s	ca. 15 Mbit/s
Sky Go	k.A.	ca. 6 Mbit/s	k.A.
Maxdome	ca. 2 Mbit/s	ca. 6 Mbit/s	k.A.

Quellen: Streaming Media Player,

<https://www.tvstreamingbox.de/video-streaming-und-internetgeschwindigkeit/>, 2022

Als Lösung für diese Herausforderung ist die Glasfasertechnik besonders geeignet. Deshalb wurde 2016 das „Gesetz zur Erleichterung des Ausbaus digitaler Hochgeschwindigkeitsnetze“ (DigiNetz-Gesetz) in Kraft gesetzt [1].

„In Zukunft gilt: Jede Baustelle bringt Bandbreite. Wer Verkehrswege oder Neubaugebiete erschließt, muss Glasfaserkabel direkt mitverlegen.“  
(Verkehrsminister Alexander Dobrindt, CSU,2016) [1]

Die *Wohnungsgenossenschaft eG Magdeburg* (MWG) ist bestrebt, das Bedürfnis der Kunden nach schnellem Internet und digitaler Technologie zu befriedigen. Die MWG wurde im Jahr 1954 gegründet. Mit rund 9000 eigenen Wohnungen ist die MWG heute die größte Wohnungsgenossenschaft des Landes Sachsen-Anhalt [2]. Im Jahr 2012 wurde die *MWG-Media GmbH* gegründet. Die MWG-Media GmbH ist verantwortlich für den Ausbau der NE4<sup>1</sup> (Netzebene 4) im Wohnungsbestand der MWG und hat dazu mit ihren Partnern Verträge geschlossen, um die Versorgung der MWG-Mieter mit Breitbandkabeldienstleistungen, derzeit speziell die TV-Vollversorgung, selbst zu gestalten [3]. Durch das Glasfasernetz in Gebäuden entstehen erhebliche Kosten durch verschiedene Aspekte wie Material, Verletechnik und insbesondere durch die Vorgaben des Brandschutzes (siehe Abschnitt 2.6). Die MWG-Media GmbH bemüht sich seit 2016 um ein gutes Kosten-Leistungsverzeichnis und qualitativ hochwertige Glasfaserkabelversorgung der Nutzer. Die derzeitigen Anschlusskosten pro MWG-Wohnung betragen ca. 1400 Euro.

**Das Ziel dieser Arbeit ist es, verschiedene Planungskonzepte zu vergleichen und gegebenenfalls zu optimieren, sowie eine Reduzierung der Kosten ohne Qualitätseinbußen zu erreichen.**

---

<sup>1</sup>Netzebenen werden in Abschnitt 2.5 erläutert

Die vorliegende Arbeit ist folgendermaßen aufgebaut: Das erste Kapitel stellt die Einleitung in das Thema dar. Das zweite Kapitel stellt kurz die Merkmale der Glasfasertechnik und den theoretischen Rahmen von FTTH dar. Als FTTH (engl. Fibre To The Home) wird das Verlegen von Lichtwellenleitern bis in die Wohnung des Kunden bezeichnet. Danach folgen die Abschnitte FTTH-Installation in Gebäuden und die dazugehörigen Anforderungen vom Building Entry Point (BEP) (siehe Abschnitt 2.4.1) und die anschließende Subscriber Premises Equipment (SPE) (siehe Abschnitt 2.4.6). Am Ende des zweiten Kapitels wird die Übersicht der unterschiedlichen Netzebenen in einem Gebäude aufgelistet. Das dritten Kapitel befasst sich mit der Projektvorstellung. Hierbei wird auf das geplante FTTH-Design und die Darstellung der Kosten pro Einheit eingegangen. Im vierten Kapitel geht es um die Methode. Hier wird der Verlauf zum Ergebnis beschrieben. Im fünften Kapitel geht es um die Analyse der drei Bereiche Brandschutzmaterialien, FTTH-Materialien und FTTH-Arbeitsaufwand. Zu jedem Bereich werden mögliche Lösungen zur Kostenoptimierung dargestellt. Abschließend werden die Ergebnisse zusammengefasst.

## 2 Grundlagen

Die wichtigsten Merkmale von Glasfasern sind folgende: Die Glasfaser überträgt die Daten in Form von Lichtwellen. Der Aufbau von Glasfaserkabeln (siehe Abbildung 2.1) besteht von innen nach außen aus Kernglas (Core), Mantelglas (Cladding), Primärbeschichtung (Primary Coating) und Sekundärbeschichtung (Secondary Coating). Durch den Kern wird das Lichtsignal transportiert. Dies erfolgt durch Totalreflexion. Totalreflexion entsteht, wenn das Kernglas eine höhere Brechzahl als das darüberliegende Mantelglas hat. Das Kernglas und Mantelglas bestehen aus Quarzglas, wobei der Kern meistens aus reinem Siliciumdioxid besteht und dem Mantel etwa 1 Prozent Bor- und Germaniumsplitter zugefügt werden, um den Index der Lichtbrechung herabzusetzen [4]. Die Aufgabe des Mantelglases ist es, die Ausbreitung der Lichtwellen zu begrenzen. Die Primärbeschichtung besteht aus Kunststoff und schützt die Faser vor Feuchtigkeit und führt zu einer Verbesserung der mechanischen Eigenschaften wie Abreißfestigkeit und Zugfestigkeit. Die Sekundärbeschichtung hat eine ähnliche Funktion, da sie einen weiteren Schutz gegen Druck und Spannung beim Verlegen darstellt.

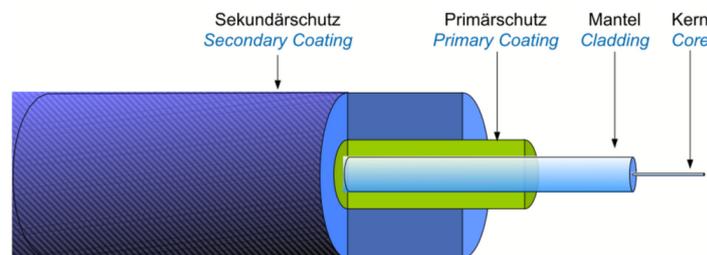


Abbildung 2.1: Schematischer Aufbau eines Glasfaserkabels

Quelle: Prof. Schwarzenau, D. : Skript optische Übertragungstechnik, 2021, Lektion 4

Es gibt zwei verschiedene Glasfaser-Typen:

1. **Singlemode/Monomode-Faser:** Hier ist der Kern sehr klein und das Lichtsignal breitet sich geradlinig aus. Es gibt nur einen Ausbreitungsmodus (siehe Abbildung 2.2). Als Vorteile weisen Singlemode-Fasern eine geringe Dämpfung des Signals und kaum Laufzeitverschiebungen (Dispersion) auf und sind daher besonders gut für Langstrecken geeignet. Außerdem werden Singlemode-Fasern in optischen Zugangsnetzen von Gebäuden verwendet, wie es in internationalen Normen von der International Telecommunication Union (ITU) und der International Electrotechnical Commission (IEC) spezifiziert ist.

2. **Multimode-Faser:** Bei Multimode-Fasern gibt es einen größeren Kern und die Ausbreitung geschieht in mehreren Lichtmodi. Dadurch bilden sich in den Multimode-Fasern Laufzeitunterschiede aus. Ein Laufzeitausgleich entsteht bei einer Änderung der Leistungsverteilung durch Inhomogenitäten im Kern oder Krümmung der Faser. Man unterteilt die Multimode-Fasern wiederum in zwei Typen:

- **Stufenprofilfaser:**

Die Verbreitung der verschiedenen Moden ist nicht mehr geradlinig wie bei der Singlemode-Faser, sondern es tritt Totalreflexion entlang des Mantelglases auf, wodurch die Lichtwelle sich in einer Zick-Zack-Linie durch die Faser ausbreitet. In Abbildung 2.2 wird verdeutlicht, dass je länger die Strecke ist, desto breiter ist der Lichtimpuls. Sie eignen sich sehr gut für Situationen mit geringeren Kapazitätsansprüchen und kürzeren Strecken.

- **Gradientenprofilfaser:** Bei der Gradientenprofilfaser werden die Strahlen kontinuierlich gebrochen. Die Strahlen höherer Ordnung (siehe Abbildung 2.2) legen zwar einen längeren Weg zurück, dagegen laufen sie wegen der kleineren Brechzahl schneller, weswegen die verschiedenen Ausbreitungswege die gleiche Zeit benötigen. Es tritt eine Verringerung der Modendispersion durch die Optimierung der Brechzahl auf.

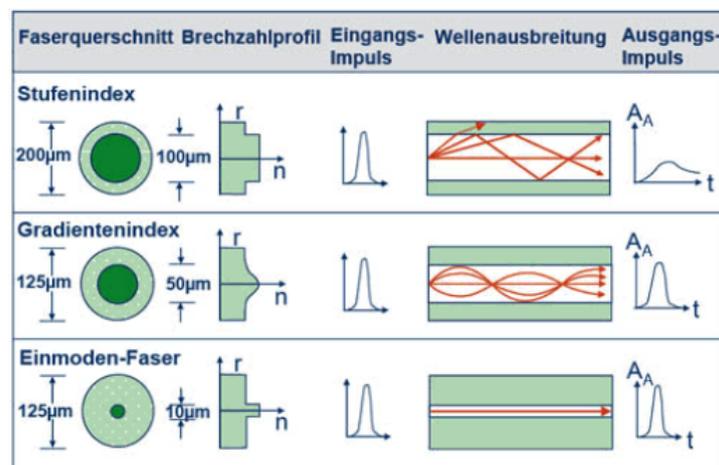


Abbildung 2.2: Glasfasertypen und deren Illustration der Wellenausbreitung, die Verläufe der Impulse vom Eingang bis zum Ausgang sowie die Brechzahl und der dazugehörige Querschnitt.

Quellen: Opternus, <https://www.opternus.de/wissen/glasfaser-typen>, 2017

## Verbindungstechnik

Für diese Arbeit ist es wichtig zu erläutern, was „Verbindungstechnik im Gebäude“ bedeutet. Die Verbindungstechnik bezieht sich auf lösbare Verbindungen (Stecker) und unlösbare Verbindungen (Spleiße). Zuerst werden Spleiße und dann Steckverbindungen näher erläutert.

### Spleiße

In Gebäuden werden als Verbindungen zwischen zwei Glasfasern Fusionspleiße und mechanische Spleiße verwendet. Die Fusionspleiße werden hergestellt, indem die beiden vorbereiteten Faserenden mithilfe eines Lichtbogens zusammengeschmolzen werden. Die Spleiße sind sehr empfindlich gegen Luftfeuchtigkeit und mechanische Einflüsse, weshalb sie zusätzlich mit einem Spleißschutz versehen werden. Ein Spleißschutz kann auf zwei Wegen umgesetzt werden:

- ein Crimp-Spleißschutz, der aus einem V-förmigen Metallträger überzogen mit einem dauerelastischen Material besteht
- ein Schrumpfspleißschutz, der aus einem Metallstab oder Keramikelement und einem darüberliegenden Schrumpfschlauch besteht

Die Durchgangsdämpfungen liegen bei beiden Verfahren bei weniger als 0,05 dB.

### Steckverbinder/Stecker

Eine lösbare Verbindungstechnik sind optische Steckverbinder. Die Vorteile von Steckverbindern sind einfache Montage, einfaches Lösen und Verbinden, hohe Zugbelastbarkeit, mechanischer Schutz der Faserenden. Die Faserenden können mit verschiedenen Stirnflächen aufeinander treffen, welche die Koppelverluste unterschiedlich gut minimieren. Es gibt zwei grundsätzliche Formen der Stirnflächen: ballig geschliffen und schräg geschliffen. Das ursprüngliche Verbindungsverfahren für Steckverbindungen sind ballig geschliffene Stirnflächen, welches als **Physical Contact** oder kurz **PC** bezeichnet wird. Für Singlemode-Fasern wird zur Erhöhung der Reflexionsdämpfung ein Schrägschliff mit einem Winkel von acht Grad verwendet. Dieses Verfahren hat den Namen **Angled Physical Contact** oder kurz **APC**. In FTTH-Netzen werden heute in Deutschland drei Typen von Steckverbindungen verwendet [5], welche folgend aufgeführt werden:

- SC/APC (Subscriber Connector/ Angle Physical Contact)
- LC/APC (Lucent Connector/ Angle Physical Contact)
- E2000/APC für Backhaul<sup>2</sup> und Backbone<sup>3</sup>

Die Abbildung hierzu folgt auf der nächsten Seite.

---

<sup>2</sup>Das Backhaul bezeichnet man als Zubringerleitung, die eine Verbindung zwischen Backbone und Ortszentrale oder POP bildet.

<sup>3</sup>Als Backbone wird der Kernbereich (Core Network) eines Telekommunikationsnetzes bezeichnet. Im Backbone findet die Verbindung eines Telekommunikationsnetzes in einem größeren Ort statt und bildet ein *Wide Area Network* (WAN).

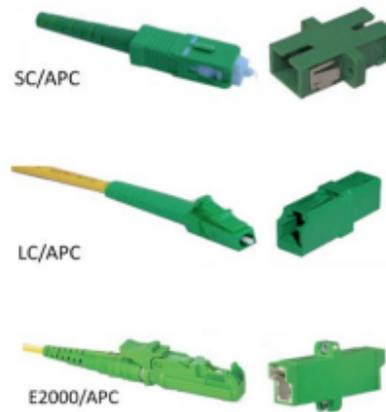


Abbildung 2.3: Steckerverbindungen

Quelle: Planungsleitfaden Breitband, Breitbandbüro des BMVIT, 2018 [5]

## 2.1 Entwicklung des Breitbandausbaus in Deutschland (2017-2020)

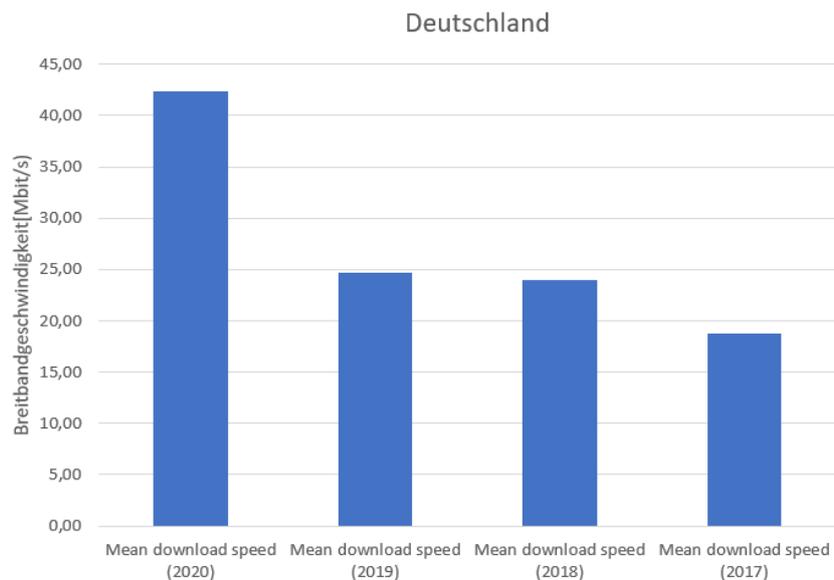


Abbildung 2.4: Durchschnittliche Breitbandgeschwindigkeit von 2017 bis 2020

Quelle: cable.co.uk, <https://tinyurl.com/5bk3rnft>, 2021

Die Entwicklung des Breitbandausbaus in Deutschland geht im Vergleich zu vielen anderen Ländern langsam voran. Auf der aktuellen Karte von Cable.co.uk werden die Breitbandgeschwindigkeiten von insgesamt 222 Ländern gezeigt. Laut dieser Karte lag Deutschland 2020 auf Platz 43 von 222 [6]. Obwohl seit 2004 das Telekommunikationsgesetz (TKG) §77k Abschnitt 4 und 5 verlangt, dass bei Neubauten und umfangreichen Renovierungen hochgeschwindigkeitsfähige passive Netzinfrastrukturen sowie Zugangspunkte einzurichten sind<sup>4</sup> [7]. Der Grund dafür ist, dass die meisten Wohnungen bis heute über Kupferkabel (Telefonleitungen bzw. Fernsehkabel) erschlossen sind. Obwohl die Bundesregierung

<sup>4</sup>das aktuelle TKG Gesetz §77k im Abschnitt 4 und 5 gilt seit 2004 unverändert

bereits vor neun Jahren versprach, bis Ende 2014 75 Prozent der Haushalte mit einer Geschwindigkeit von 50 MBit/s auszustatten, liegt bis 2020 die durchschnittliche Breitbandgeschwindigkeit immer noch unter 50 Mbit/s (siehe Abbildung 2.4) [8]. Trotzdem stieg die Anzahl der mit Breitband versorgten Wohnungen von 2019 bis 2020 an.

## 2.2 Übersicht der Netzarchitekturen

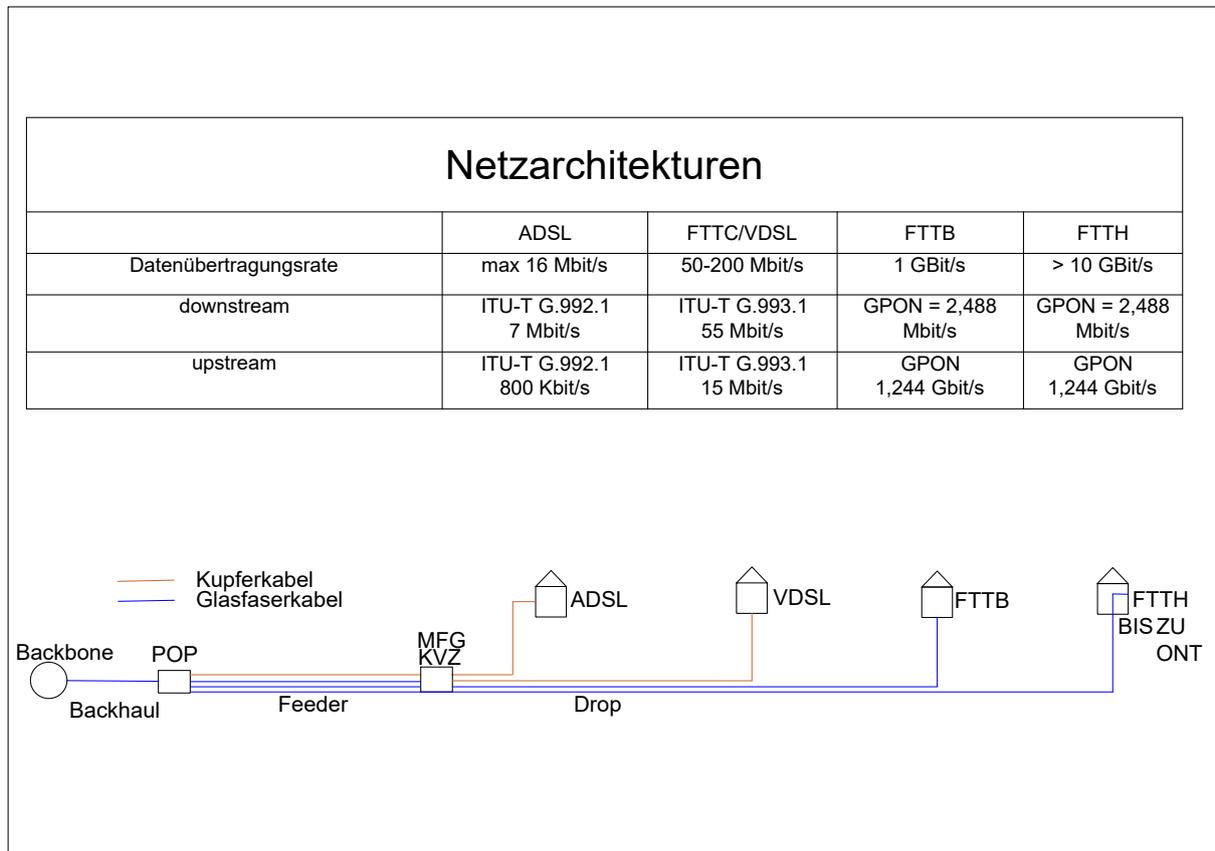


Abbildung 2.5: Verschiedene Netzarchitekturen von ADSL bis FTTH und deren Unterschiede in Bezug auf Datenübertragungsgeschwindigkeit, Up- und Downstream und Bandbreite unter Annahme einer Strecke von einem Kilometer, eigene Skizze  
 Quelle: Tabelle: Keller, A.: Breitbandkabel und Zugangsnetze, Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2011, Seite 393-394; NetAachen, <https://www.netaachen.de/geschaeftskunden/blog/was-bedeutet-ftth-fttb-und-fttc/>

Die Abbildung 2.5 zeigt die unterschiedlichen Netzarchitekturen und die Art der Breitbandanschlüsse für Konsumenten. Die verschiedenen Breitbandanschlüsse stellen sich durch eine durchgängige Kupferleitung, eine Kupfer- und Glasfaserverkabelung und durchgängige Glasfaserkabel dar.

**Digital Subscriber Line (DSL)** gibt es in verschiedenen Varianten und eine davon ist **Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL)**. ADSL gilt als die erste Form von Breitband-Internetanschluss. Die Daten werden über verdrehte Zweidrahtleitungen (single

twisted pair), zusätzlich zum Telefonsignal, vom Hauptverteiler über den Kabelverzweiger (KVz) zum Hausanschluss übertragen.

Die Weiterentwicklung von ADSL ist das sogenannte **Very high speed Digital Subscriber Line (VDSL)** oder **Fibre to The Curb (FTTC)**. Bei VDSL reichen die Glasfaserkabel bis zum KVz. Der **Digital Subscriber Line Access Multiplexer (DSLAM)** wird dabei nicht mehr in dem Hauptverteiler, sondern am KVz (auch Multifunktionsgehäuse bzw. MFG genannt) installiert, dort werden die optischen Signale in elektrische umgewandelt und umgekehrt.

Die durchgängige Glasfaserverkabelung bis zum Keller oder Hauseinführung ist das sogenannte **Fibre to The Building (FTTB)**. Hier erfolgt die Aufteilung mit Kupferkabeln innerhalb der Gebäude.

Bei **FTTH** werden auch die Kupferkabel im Gebäude zu den einzelnen Wohnungen mit Glasfaserkabeln ersetzt, aber darauf soll später in Abschnitt 2.3 näher eingegangen werden. FTTH hat viele Vorteile: FTTH bietet hohe Bandbreiten unabhängig von der Entfernung zum Verteilerkasten. Die Leistungsverluste sind im Vergleich zu VDSL, wenn das Gebäude vom Verteiler weiter entfernt ist, viel geringer. Glasfaserleitungen sind weniger stör anfällig als Kupferleitungen, da Glasfaser unempfindlich gegenüber elektromagnetischen Störungen ist. Allerdings sind Glasfaserinstallationen aufwändiger und damit teurer.

### 2.3 FTTH (Fibre to The Home)

Der Begriff FTTH steht für ein System, bei dem das Glasfaserkabel vom Point of Presence (POP) bis in die Wohnung zur Optical Network Termination (ONT) eingesetzt werden. FTTH verspricht eine ungefähr 6,25 Mio.-mal höhere Datenübertragungsrate als ADSL (siehe Abbildung 2.5). Mit der weiteren Verbreitung der Glasfasertechnologie wird diese sowohl Kupferleitungen ersetzen, als auch für flächendeckendes schnelles Internet sorgen.

#### 2.3.1 FTTH-Netzarchitektur

FTTH umfasst die aktive und passive Infrastruktur. Geräte, welche die Signale auf die Leitung legen, zählen zur aktiven Infrastruktur. Wohingegen Verkabelung in Form von Glasfaser, aber auch passive Verteiler/Splitter als passive Infrastruktur zusammengefasst werden. Als Netztopologien werden entweder Punkt-zu-Punkt (P2P) auch Punkt-zu-Multipunkt (P2MP) verwendet.

Bei **P2P** wird je ein OLT-Port (Optical Line Termination) über eine einzelne Faser durchgehend bis zur ONU (Optical Network Unit) geführt. Mit P2P gewinnt man die Möglichkeit zur Entbündelung der Anschlüsse. Außerdem bietet P2P eine höhere Bandbreite, weil die

Glasfaser nur von einem Gerät belegt wird. Allerdings ist eine P2P-Verbindung aufgrund des hohen Verkabelungsaufwands kostenintensiver als eine P2MP-Verbindung.

Bei **P2MP** wird ein passiver optischer Splitter im Feld verwendet. Ein solches System wird auch als **Passive Optical Network (PON)** bezeichnet.

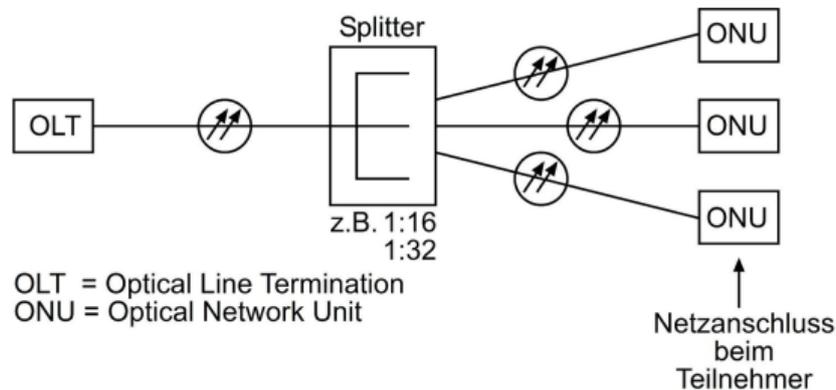


Abbildung 2.6: Passives optisches Netzwerk (PON)

Quelle: Prof. Schwarzenau, D. : Skript optische Übertragungstechnik, 2021, Seite 81

In einem **PON** hat ein üblicher Splitter einen oder zwei Eingänge und  $2^n$  (n von eins bis acht) Ausgänge. Ein Splitter arbeitet bi-direktional. Das heißt, dass ein Signal vom **OLT-Port** über eine einzelne Faser über einen Splitter mit mehreren Ausgängen auf einzelne Fasern, welche mit dem **ONT** des Hausanschlusses verbunden sind, verteilt wird. Anders herum werden die Signale von den einzelnen ONTs im Splitter auf eine Faser zusammengeführt, die mit dem OLT-Port verbunden ist. PONs sind aufgrund ihrer Vorteile bei den Anschaffungs- und Betriebskosten zu einer beliebten Netzwerkarchitektur für FTTH-Netzwerke geworden.

Am häufigsten wird zurzeit der *GPON-Standard nach ITU-T G.984.2* eingesetzt. Eine FTTH-Architektur kann entweder als Einfaser-PON-Variante, Zweifaser-PON-Variante (Abbildung 2.6) oder WDM-PON-Variante ausgeführt werden. Ein WDM-PON wird mit einem Demultiplexer (DeMux) anstelle eines Splitters ausgeführt.

In der folgenden Tabelle sind die verschiedenen genormten PON-Systeme aufgelistet:

Tabelle 2.1: genormte PON-Systeme

Bezeichnung	Spezifikation	Downstream	Upstream	Technik	Verbreitung
APON	ITU-T G.983	622 Mbit/s	155 Mbit/s	ATM-basierend	
BPON	ITU-T G.983	622 Mbit/s	155 Mbit /s	Breitband, ATM-basierend	
EPON	IEEE 802.3h	1,244 Gbit/s	1,244 Gbit/s	Ethernet-basierend	Asien
GPON	ITU-T G.984	2,488 Mbit/s	1,244 Gbit/s	ATM- oder GEM-basierend	USA/Europa
10GEPON	IEEE 802.3v	10 Gbit/s	2,5 oder 10 Gbit/s	Ethernet-basierend	
WDM-PON		10 Gbit/s	2,5 oder 10 Gbit/s	1 Wellenlänge pro ONU	

Quelle: Prof. Schwarzenau, D. : Skript optische Übertragungstechnik, 2021, Seite 82

### 2.3.2 Elemente eines optischen Zugangsnetzes in FTTH

In der Abbildung 2.5 sind allgemein die möglichen Ausführungen eines optischen Breitbandnetzes visualisiert. Im Folgenden wird auf die Elemente eines optischen Breitbandnetzes in FTTH eingegangen<sup>5</sup>.

#### POP (Point of Presence)

POP wird auch als CO (Central Office) bezeichnet. Ein POP befindet sich in einem kleinen Gebäude ähnlich groß wie eine Garage oder einem gesicherten Raum. POPs sind häufig an zentralen Ortslagen platziert. Von den POPs werden Glasfaserkabel zu den Faserverteilern geführt. Die mögliche Ausstattungsmerkmale des POPs sind:

- Schränke (meist für 19 Zoll Rackmount) mit Übertragungs- und Verteilungstechnik des Providers
- Kaltluftversorgung
- eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV), um die Anlage im Falle eines Stromausfalls sicher herunterfahren zu können
- Überwachungssysteme zur Erkennung kritischer Zustände (zum Beispiel Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Rauch, Staub)
- ODF (Optical Distribution Fibre) mit Fasermanagement, Spleißkassetten
- Router / Switches
- Verteilung für das TV-Programm (optional)

#### Feeder

Feeder oder Hauptkabel verbinden die POPs mit den Faserverteilern. Hier werden bei Neuverlegung erdverlegbare Mikrorohrverbände eingesetzt, weil bei diesen beim Einblasen des Glasfaserkabels wenig Reibung erzeugt wird.

#### Faserverteiler

Faserverteiler sind die passiven Knotenpunkte der Glasfaserkabel in einem Gebiet. Der Faserverteiler befindet sich in einem Straßenschrank oder in Unterflurschächten. Ab Faserverteiler werden alle Drop-Kabel der verschiedenen Hausanschlüsse in einem Punkt zusammengeführt und mit einer Spleißverbindung verbunden.

---

<sup>5</sup>Vgl. Loibner, 2018, Seite 27-29 [5]

### Drop

Drop oder Hauseinführungskabel werden vom Faserverteiler zum Hausanschlusskasten in Form von Mikrorohrverbänden verlegt. Zu jedem Hausanschluss wird ein Einzelrohr über eine Doppelsteckmuffe<sup>6</sup> verlegt. Es ist wichtig, dass sich die Steckmuffe nicht in der Biegung der Abzweigung befindet, damit keine extrinsischen Verluste auftreten. Extrinsische Verluste entstehen bei einem unpräziseren Aufeinandertreffen der Glasfaserkerne, wobei viel Lichtleistung verloren geht. Primäre Ursache für die Verluste sind Ausrichtungs- und Richtungsfehler, Reflexionen und die Rauheit spielen eine untergeordnete Rolle<sup>7</sup>.

## 2.4 FTTH-Installationen in Gebäuden und deren Anforderungen

Das FTTH Council Europe ist ein Branchenverband mit der Mission, die allgegenwärtige, vollständig glasfaserbasierte Konnektivität in ganz Europa voranzutreiben, welche als Diskussionsgrundlage von verschiedenen Techniken ein Handbuch herausgibt, das 2012 in der 5. Auflage erschien, das FTTH Handbook D & O Council [9]. Hier wird die auch die FTTH-Installation für Gebäude, z.B. Mehrfamilienhäuser beschrieben

### 2.4.1 BEP (Building Entry Point)

Der Gebäudeeinführungspunkt (BEP) befindet sich im Hausanschlusskasten (HAK). Der BEP ist der Verbindungspunkt von äußerem und innerem optischen Netz. Die Größe des Gehäuses des Hausanschlusskastens ist von der geplanten Installation abhängig. Entscheidend dazu sind die Anzahl der Außen- und Innenkabel, die erforderliche Anzahl der Spleiße, der Glasfaserreserven und Spleißkassetten. Das Gehäuse bietet einen notwendigen Schutz vor äußeren Einflüssen. Wie widerstandsfähig ein Gehäuse oder Gerät ist, wird mit der Schutzart beschrieben, beispielsweise ist in einem Keller die Schutzart IP54<sup>8</sup> sicherzustellen.

In Mehrfamilienhäusern befindet sich der BEP in der Regel im Keller oder, falls vorhanden, im dafür vorgesehenen Technikraum. In Bestandsgebäuden sollte ein Standort in der Nähe der Steigzone gewählt werden. Die Verbindung zwischen Außen- und Innenkabel wird als Steckverbindung ausgeführt. Als Steckverbindung wird meistens entweder SC/APC oder LC/APC verwendet. Dafür werden Pigtails an die jeweiligen Faserenden angespleißt. Die Spleißverbindungen werden als Schmelzspleiße oder Fusionsspleiße ausgeführt. Die

---

<sup>6</sup>Doppelsteckmuffe ist Verbindung von Mikrorohren

<sup>7</sup>Vgl. FTTH Handbook Seite 103 [9]

<sup>8</sup>IP „54“: IP = International Protection; Die 1. Ziffer bezeichnet den Schutz vor Berührung und wie das Betriebsmittel vor dem Eindringen von Fremdkörpern geschützt ist. Die 2. Ziffer bezeichnet den Schutz vor Feuchtigkeit. 54 bedeutet vollständiger Berührungsschutz, Staubschutz und Schutz vor allseitigem Spritzwasser.

Quelle: Profi-Guide, <https://www.jh-profishop.de/profi-guide/ip-schutzarten/>, 2015

maximal zulässige Spleißdämpfung beträgt dabei 0,15 dB und die Rückflussdämpfung min. 60 dB<sup>9</sup>. Um die Spleißstelle vor Umwelteinflüssen zu schützen, wird ein Spleißschutz verwendet. Wie der Aufbau einer Spleißbox aussieht, wird in Abbildung 2.7 gezeigt. Für die Verlegung des Glasfaserleerrohres von der Straße zum Haus werden verschiedene Verlegetechniken im Tiefbau eingesetzt, wie offene Grabenbauweise, Trenchingsverfahren, Horizontal-Spülbohrverfahren und Pressbohrung (Erdraketentechnik). Die häufigste Verlegetechnik, mit der Dropkabel vom KVz zum Gebäude verlegt werden, ist die Pressbohrung (Erdraketentechnik). Die Pressbohrung ist eine grabenlose Technik, die keine bestehende Infrastruktur beeinträchtigt<sup>10</sup>.

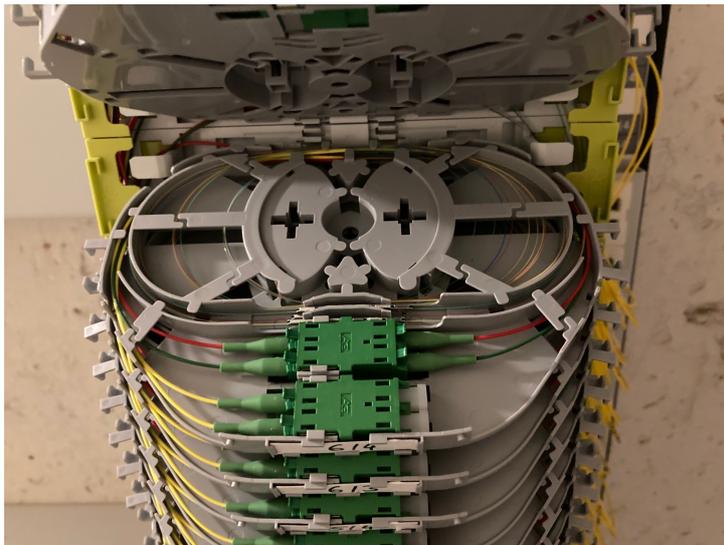


Abbildung 2.7: Beispiel einer Spleißbox mit doppelten Steckverbindern (LC-APC) und vier verfügbaren Fasern.

Quelle: MWG-Media GmbH, 2021

### 2.4.2 FD (Floor Distributor)

FD oder Etagenverteiler werden normalerweise bei vielen Wohneinheiten auf einer Etage einer Multi Dwelling Unit (MDU) verlegt. Im Etagenverteiler erfolgt der Übergang von der vertikalen Verkabelung (Steigzone) zu den horizontalen Kabelstrecken (Verbindung zum Optical Telecommunication Outlet kurz: OTO).

### 2.4.3 Gebäudeverkabelung

Die Gebäudeverkabelung ist die Verkabelungsstruktur, welche die Verbindung vom Gebäudeeinführungspunkt (BEP) bis zu dem Anschluss an das Nutzerendgerät umfasst. Eine Gebäudeverkabelung lässt sich in die Abschnitte gebäudeübergreifender Bereich

---

<sup>9</sup>Vgl. FTTH-Handbuch, 2012, Seite 59

<sup>10</sup>Vgl. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Verlegetechniken für den Breitbandausbau, Berlin, 2020, Seite 14.

(Primärverkabelung), Steigleitungsbereich (Sekundärverkabelung) und Etagenbereich (Tertiärverkabelung) unterteilen [10].

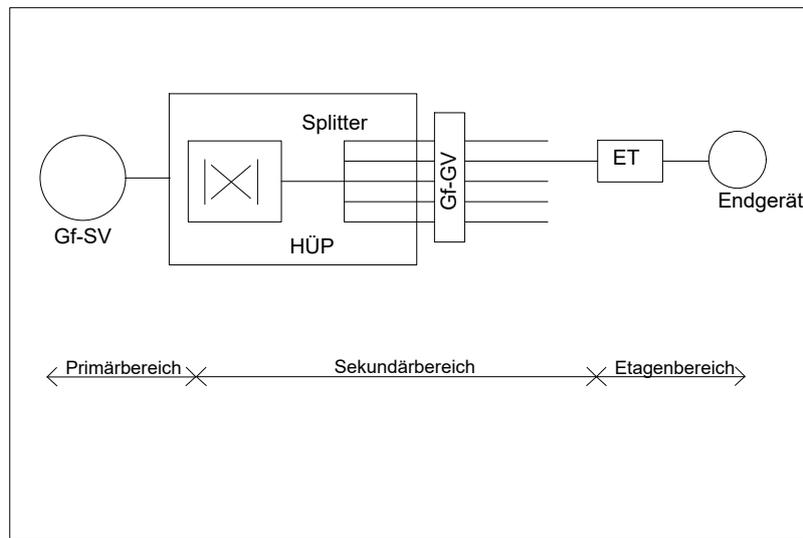


Abbildung 2.8: Die Gebäudeverkabelung in einem Mehrfamilienhaus durch ein PON-System, eigene Skizze

Quellen: Stelter, W: Glasfaseranschluss von Gebäuden und Wohnungen, Berlin: Oldenburg, 2010

ET bedeutet Etagenverteiler. HÜP ist die Abkürzung für Hausübergabepunkte und synonym zu Gebäudeeinführungspunkt (BEP).

### Primärverkabelung

Der Primärbereich erstreckt sich vom Standortverteiler bis zum Gebäudeverteiler. In diesem Bereich kommt der Glasfaser-Standortverteiler (Gf-SV) zum Einsatz. Für den Aufbau gelten die gleichen Vorgaben wie beim Glasfaser-Gebäudeverteiler [11].

### Sekundärverkabelung

In diesem Bereich sind die Glasfaser-Gebäudeverteiler (Gf-GV) mit den einzelnen Etagenverteilern verbunden. Er befindet sich in der Steigzone. Ein Gebäudeverteiler ist eine standardisierte Glasfaser-Gebäudenetzzugangsschnittstelle. Er stellt eine entscheidende Komponente für eine flexible Gebäudeverkabelung dar, die es den Verbrauchern ermöglicht, den Netzanbieter zu wechseln. Der Gf-GV ist ein wichtiger Bestandteil in der Glasfaser-Infrastruktur des Gebäudes und kann von vielen Netzbetreibern gleichzeitig genutzt werden. Vor dem Gf-GV sitzt der BEP, der den Abschluss vom Zugangsnetz bildet. Die verwendeten Glasfaserkabel müssen die Anforderungen der ITU an den Biegeradius erfüllen (siehe Tabelle 2.2).

Tabelle 2.2: Standard Außen- und Innen-Netzkabel mit den jeweiligen Biegeradien

Glasfasertyp	ITU Code	Biegeradius
Außenkabel	G.652 D	maximaler Biegeradius 30 Millimeter
Außenkabel	G.657 A	maximaler Biegeradius 30 Millimeter
Innenkabel	G.657 A	maximaler Biegeradius A1: 10 Millimeter; A2: 7.5 Millimeter

Quelle: Handbuch FTTH-Installation, 2012, Seite 57 [9]

Der Betriebstemperaturbereich von Außenkabeln liegt zwischen  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  und  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Wohingegen der Betriebstemperaturbereich von Innenkabeln zwischen  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  und  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$  liegt<sup>11</sup>. Am BEP werden Zugentlastungen für das Einzel-Mikrorohr installiert. Mikrorohre sind dünne Leerrohre für das Einbringen der Glasfaserkabel. Die Glasfaserkabel werden in Rohre eingezogen oder eingeblasen und auf der Fassade oder unter Putz verlegt, wenn es in einem Bestandsgebäude keine vorhandene Leitung gibt. Wenn Mikrorohre genutzt werden, müssen Zugentlastungen angebracht und Schubkräfte berücksichtigt werden. Die Mikrorohre haben normalerweise einen Außendurchmesser von weniger als 16 Millimeter und werden in der Regel als Bündel installiert<sup>12</sup>.

### Tertiärverkabelung

Dieser Bereich erstreckt sich vom Etagenverteiler bis zum Anschluss an das Endgerät der Nutzer. Die Fläche des Etagenbereichs sollte maximal  $1000\text{ m}^2$  betragen. Bei der Erreichung der maximalen Kabellänge sind die Kabeltrassen/ Kabelkanäle zu berücksichtigen. Der Etagenverteiler enthält die mechanischen Anschlusspunkte (Patch-Felder) der Tertiärverkabelung an die Sekundärverkabelung, die gegebenenfalls eine Umsetzung zwischen zwei unterschiedlichen Übertragungsmedien (Lichtwellenleiterkabel kurz LWL-Kabel/ Kupferkabel) enthalten. Hier ist eine sternförmige Verkabelung vorteilhaft [10].

#### 2.4.4 OTO (Optical Telecommunications Outlet)

Die optische Telekommunikationssteckdose (OTO) ist eine LWL-Steckdose, in der das Glasfaserkabel endet. An der optischen Teilnehmerschnittstelle wird das Innenkabel an dem Optical Network Termination (ONT) angeschlossen. Ein OTO hat bis zu vier Anschlüsse.

---

<sup>11</sup>Vgl. FTTH Handbuch Seite 58

<sup>12</sup>Vgl. FTTH Handbuch Seite 74

### 2.4.5 ONT (Optical Network Termination)

Bei FTTH kann die Terminierung des passiven optischen Netzes im Haus der Kunden über einen optischen Netzabschluss erfolgen. Dieser wird als sogenanntes Optical Network Termination (ONT) bezeichnet. Hier werden die Signale von optischen zu elektrischen (O/E-Wandler) umgewandelt. Von der Steigzone wird die Glasfaser über einen APC-Anschluss an die ONT gekoppelt. Danach wird mithilfe von WDM-Verfahren erreicht, dass Signale vom Empfänger (Downstream) bei 1510 Nanometern empfangen und gleichzeitig Signale vom Sender (Upstream) bei 1310 Nanometern gesendet werden können.

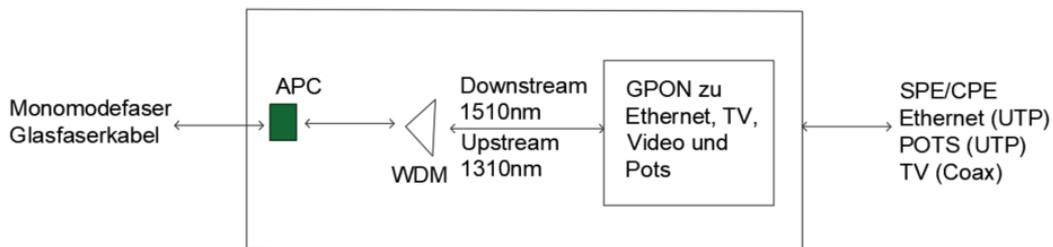


Abbildung 2.9: Darstellung der ONT mit GPON-Systemen: Von Singlemode-Faser mit APC-Patchkabel mit WDM System (downstream: 1510 nm, upstream: 1310 nm).

Quelle: Eigene Skizze

### 2.4.6 Customer Premises Equipment (CPE), Subscriber Premises Equipment (SPE)

CPE bzw. SPE sind alle aktiven Teilnehmer-Endgeräte. Beispiele dafür sind Telefon, PC, TV oder auch WLAN-Access Points. Im Glasfasermodem (ONT) wird das TV-Signal ausgekoppelt. Internet und Telefon werden an der RJ45-Anschlussdose über Twisted-Pair-Datenkabel angeschlossen, während der Fernseher über Koaxialkabel an die Antennendose angeschlossen wird.

## 2.5 Netzebenen im Glasfasergebäudenetz

Im Glasfasergebäudenetz werden Netze in verschiedene Netzebenen (NE) eingeteilt:

- Die Netzebene 3 (NE3) reicht bis zum Glasfaser-Abschlusspunkt. Der Glasfaser-Abschlusspunkt dient als Schnittstelle zur Netzebene 4.
- Die NE4 beginnt am Gf-GV und geht durch die Steigzone bis zum OTO, der im Wohnungsverteiler (WV) ist. Am OTO endet die NE4
- Als NE5 wird das Netz bis zu den Teilnehmer-Endgeräten selbst bezeichnet. OTO, ONT, Router, Ethernet-Switch können zusammen in einem Gehäuse enthalten sein oder im WV platziert werden.

Die Erläuterungen wurden zur Verdeutlichung in Abbildung 2.10 visualisiert:

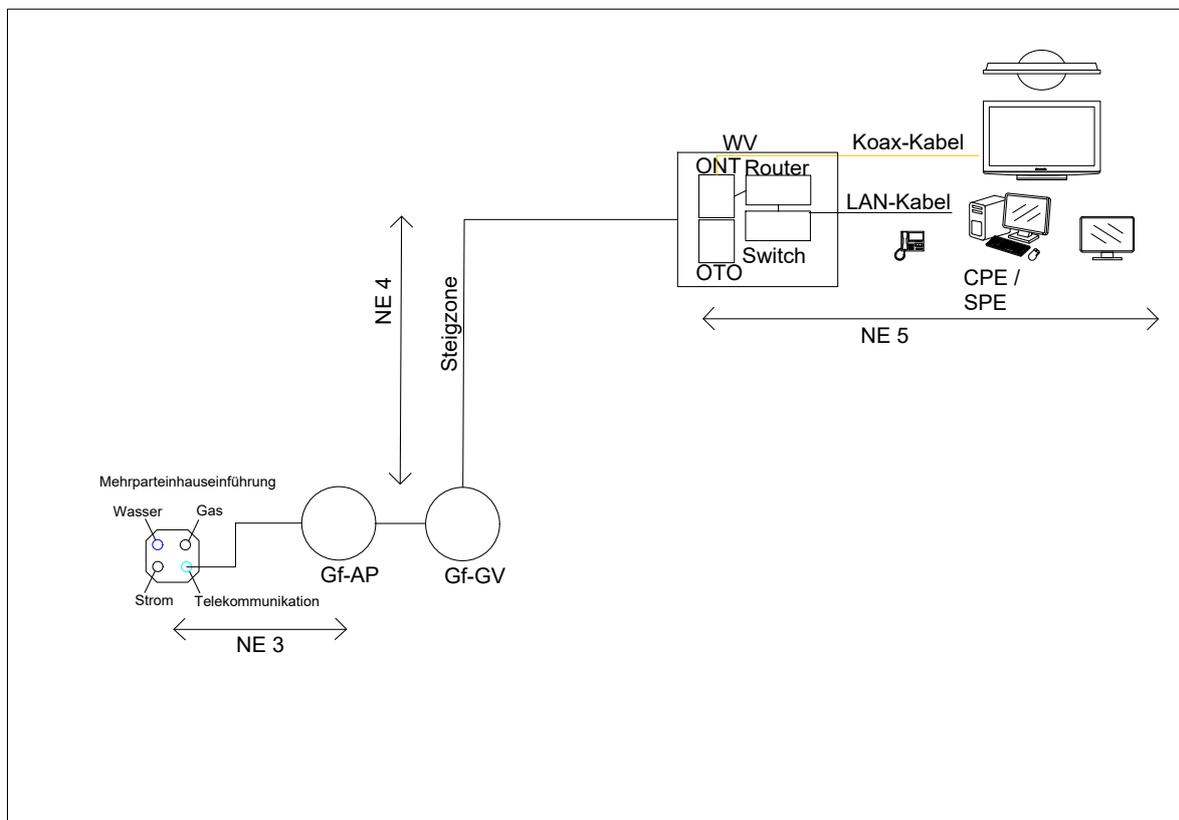


Abbildung 2.10: Netzebenen im allgemeinen Glasfasergebäudenetz,  
Quelle: Eigene Skizze

## **2.6 Rechtliche und normative Grundlagen des Brandschutzes, Begrifflichkeiten, Brandschutzziele allgemein und die Anwendung in der FTTH-Installation**

Einer der wichtigsten Aspekte für FTTH-Installationen ist der Brandschutz und dessen Anforderungen, da es in keinem anderen Land so hohe Brandschutzaufgaben wie in Deutschland gibt. Ähnlich hoch sind die Anforderungen allenfalls in Österreich<sup>13</sup>.

### **2.6.1 Allgemeine Brandschutzziele und die gesetzliche Basis**

Die wichtigste gesetzliche Grundlage ist in Deutschland die Musterbauordnung (MBO, gelegentlich auch MBauO), welche eine Standard- und Musterbauordnung auf Bundesebene ist, die den Bundesländern als Grundlage für deren jeweilige Landesbauordnung (LBO) dient. Für den Brandschutz ist besonders Artikel 14 der MBO wichtig. Dieser formuliert 4 Brandschutzziele, wobei die Schutzziele 1 und 2 zum vorbeugenden Brandschutz gehören und die Schutzziele 3 und 4 zu den Schutzziele während eines Brandfalls zählen.

Die 4 Schutzziele lauten<sup>14</sup>:

1. Verhinderung der Entstehung eines Brandes
2. Vorbeugung von Ausbreitung von Feuer und Rauch
3. Im Brandfall muss die Rettung von Mensch und Tier möglich sein.
4. Im Brandfall müssen wirksame Löscharbeiten möglich sein.

Für diese Bachelorarbeit ist nur der vorbeugende Brandschutz, also die Schutzziele 1 und 2 wichtig.

### **2.6.2 Deutsche Normen**

Prinzipiell dürfen in Deutschland sowohl die nationalen als auch die europäischen Normen verwendet werden, auch wenn es kleine Unterschiede zwischen den Normen gibt. Neue Baustoffe/ Produkte müssen jedoch nach der europäischen Norm gekennzeichnet werden. Gemeinsam ist in beiden Normen die Unterscheidung zwischen den beiden Gruppen:

- Baustoffe, was synonym zu Material ist, z.B. Polyethylen (PE)
- Bauteile, was die fertigen Produkte sind, wie z.B. Kabelumantelung, Rohr

---

<sup>13</sup>Vgl. Prof. Dr.-Ing. Michael Rost, Vorbeugender Baulicher Brandschutz, Vorlesungsskript, 2021, Seite 74

<sup>14</sup>„Bauliche Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Bandausbreitung) vorgebeugt wird und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind“. Quelle: MBO, November 2002, „ZULETZT GEÄNDERT DURCH BESCHLUSS DER BAUMINISTERKONFERENZ VOM 21.09.2012“

In Deutschland ist die nationale Norm die DIN 4102 und sie unterteilt in 5 Baustoffklassen. Bei dieser Norm wird nur das **Brandverhalten im engeren Sinne** (Entzündbarkeit, Flammausbreitung und freiwerdende Wärme) berücksichtigt und hat folgende Begrifflichkeit:

a) Baustoffklasse (Baustoffe)	Bauaufsichtliche Benennung (Abk.) Brandverhalten		Beispiele für denkbare Materialien
<b>A = nicht brennbare Stoffe</b>			
Baustoffklasse A1 „nicht brennbar“ (n.b.)	Nicht brennbare Baustoffe, die in ihrer Zusammensetzung vollständig nicht brennbar sind.		metallene Putzträger Metall- und Stahlbauteile Metalle und Legierungen Glas
Baustoffklasse A2 „nicht brennbar“ (n.b.)	Nicht brennbare Baustoffe. In geringem Umfang sind jedoch brennbare Bestandteile erlaubt.  Die Bestandteile dürfen dennoch nicht aktiv an einem Brand mitwirken.		Spezialschaumstoffe Glaswolle
<b>B = brennbare Baustoffe</b>			
Baustoffklasse B1 „schwer entflammbar“ (s.e.)	Baustoffe, die mehr brennbare Bestandteile enthalten als in Brandschutzklasse A2.  Brennbare Bestandteile brennen nur mit Feuer und erlöschen, sobald das Feuer gelöscht ist.		Rohre und Formstücke aus weichmacherfreiem chloriertem Polyvinylchlorid Hartschäume
Baustoffklasse B2 „normal entflammbar“ (n.e.)	Baustoffe, die durch Zündquellen entflammen und von alleine weiterbrennen.		Silikon Textilien Polypropylen
Baustoffklasse B3 „leicht entflammbar“ (l.e.)	B3-Baustoffe sind wesentlich leichter als B2-Baustoffe und brennen in steigender Geschwindigkeit weiter.  Der Einbau von B3-Baustoffen ist laut den Bauordnungen verboten.		Polystyrol

Abbildung 2.11: Baustoffklassen nach DIN 4102  
Quelle: Vgl. FORUM, <https://tinyurl.com/23kh8drc> 2021

b) Feuerwiderstandsklasse (Bauteile)	Feuerwiderstand [Minuten]	
F 30 = <b>f</b> euer <b>h</b> emmend = <b>FH</b>	≥ 30	F 90/ feuerbeständig stellt eine normale Feuerwiderstandsklasse für Brandwände dar. Gebäudedecken in MDU müssen diese Vorgaben auch erfüllen. Die Aufgabe einer Brandwand - bzw. decke ist es, ein großes Gebäude in Brandabschnitte zu unterteilen, damit im Brandfalle nicht gleich das gesamte gebäude brennt und die Flure lange genug halten, so das die Menschen gerettet werden können. Bei Durchbrüche für z.B. Elektroinstallationen ist es wichtig, dass eine Brandwand ihre Funktion erhält und das Feuer nicht durch die Öffnungen in den nächsten Brandabschnitt weitergetragen werden kann. Ein besonderer Aspekt bei Kabelummantelungen ist auch, dass das Material nicht schmelzen darf und so über heiße Tropfen das Feuer möglicherweise in den nächsten Brandabschnitt überträgt.
F 60 = <b>h</b> och <b>f</b> euer <b>h</b> emmend = <b>HFH</b>	≥ 60	
F 90 = <b>f</b> euer <b>b</b> eständig = <b>FB</b>	≥ 90	
F120	≥ 120	
F180	≥ 180	

Abbildung 2.12: Feuerwiderstandsklassen (Bauteile) nach DIN 4102-2

Quelle: Rost-Skript: Seite 24; HeidelbergCement AG, Betontechnische Daten, Seite 300, 2017

Der Buchstabe “F” ist die allgemeine Beschreibung für alle Bauteile. Es gibt aber auch Bauteilspezifische Buchstaben: T= Tür, W= Wand, S= Kabelabschottungen, R= brennbare Rohrleitungen usw. dazu kommen dann die entsprechenden Minutenangaben R30, R60, R90 usw.

### 2.6.3 Europäische Normen

In Europa ist die entsprechende Norm für die Brandschutzklassen die DIN EN 13501-1. Baustoffe/ Bauprodukte werden hier in 7 Klassen (bisher Baustoffklassen) von A bis F eingestuft. Die Klassen A1 und A2 sind genau so wie in der deutschen Norm die nicht brennbaren Baustoffe. Aber die europäische Norm berücksichtigt **nicht nur das eigentliche Brandverhalten sondern auch die Brandnebenserscheinungen.**

- Flammenausbreitung und Wärmeentwicklung/ Kabelklase (**ca** von engl. cable)
- Rauchentwicklung (**s** von engl. smoke)
- Brennende Tropfen/ Partikel (**d** von engl. droplets)
- Säureentwicklung/ Austreten säurehaltiger Gase während des Brandes (**a** von engl. acid)

a) Baustoffklasse	Brandverhalten/ Beitrag zur Brandlast (alle Produkte) (Angaben zum Fußbodenbeläge wurden gekürzt, da nicht für Themenstellung relevant)
A1	Bauprodukte leisten in keiner Phase eines Brands einen Beitrag zum Brand.
A2	Bauprodukte leisten auch bei einem voll entwickelten Brand keinen wesentlichen Beitrag zum Brand.
B	Bauprodukte leisten nur einen sehr begrenzten Beitrag zum Brand.
C	Bauprodukte leisten nur einen begrenzten Beitrag zum Brand.
D	Bauprodukte leisten einen hinnehmbaren Beitrag zum Brand.
E	Bauprodukte weisen ein hinnehmbares Brandverhalten auf.
F (engl. fire) = B3	Bei den Bauprodukten wurde keine Leistung festgestellt.

- Rohrisolationen werden in die Brandschutzklassen AL bis FL eingeteilt.

Abbildung 2.13: Brandstoffklassen nach DIN EN 13051

Quelle: FORUM, <https://tinyurl.com/23kh8drc> 2021

Dieser Leistungscode (Klasse des Brandverhaltens und zusätzliche Klassifizierung) nach Construction Products Regulation (CPR)<sup>15</sup> muss neben den übrigen Kennzeichen auf der Markierung des Kabels stehen. Dieses System der Klassifizierung gilt für alle Länder der Europäischen Union gleichermaßen.

<sup>15</sup>CPR: Construction Products Regulation, sie gelten im Rahmen der Bauproduktenverordnung für ganz Europa.

Quellen: RCT cables, <https://www.cablesrct.com/de/cpr-verordnung/1-was-ist-die-cpr-was-ist-das-ziel-der-cpr>, 2016

	Ziffer 1 Flammenausbreitung und Wärmeentwicklung, Kabelklasse .		Ziffer 2 Rauchentwicklung
A <sub>ca</sub>	Tragen nicht zum Brand bei.	s1	Geringe Rauchentwicklung und langsame Verbreitung.
B1 <sub>ca</sub> B2 <sub>ca</sub>	Tragen minimal zum Brand bei.	s1a	s1a Transmittanz >80%.
C <sub>ca</sub> D <sub>ca</sub> E <sub>ca</sub>	Brennbar, tragen zum Brand bei, von niedrigem zu höherem Beitrag geordnet.	s1b	Transmittanz >60% und <80%.
		s2	Mittlere Rauchentwicklung und verbreitung
F <sub>ca</sub>	Eigenschaften des Beitrags nicht festgelegt.	s3	Keine der Vorgenannten

	Ziffer 3 Brennende Tropfen/ Partikel		Ziffer 4 Säureentwicklung/ Austreten säurehaltiger Gase während des Brandes
d0	Keine brennenden Tropfen oder Partikel.	a1	Leitfähigkeit < 2,5 µS/mm und pH > 4,3
d1	Keine brennenden Tropfen oder Partikel, die länger als 10 Sekunden halten.	a2	Leitfähigkeit < 10 µS/mm und pH > 4,3
d2	Keine der Vorgenannten.	a3	Keine der Vorgenannten.

Abbildung 2.14: Euroklassen

Quelle: Quellen: RCT cables,

<https://www.cablesrct.com/de/cpr-verordnung/1-was-ist-die-cpr-was-ist-das-ziel-der-CPR>, 2016

Die europäische Brandklasse wird durch die Eigenschaften der Flammwidrigkeit, Rauchentwicklung, und Halogenfreiheit eingeordnet. Damit das Retten von Menschenleben und eine schnellere Evakuierung ermöglicht wird, müssen die Räume möglichst so gestaltet werden, dass die Eigenschaften zur Rauchminderung und Halogenfreiheit erfüllt werden, falls ein Brandfall eingetreten ist. Diese Eigenschaften werden sowohl durch Euroklassen als auch in den zusätzlichen Klassen s und a definiert [12].

## b) Bauteile

Die Einstufung von Bauteilen in Feuerwiderstandsklassen nach DIN EN 13501-2 kann in Schritten von 15, 20, 30, 45, 90, 120 und 240 Minuten vorgenommen werden. Die europäische Norm unterscheidet sich deutlich von der 30-Minuten-Einteilung der deutschen Feuerwiderstandsklassen. Die Klassen setzen sich aus Buchstaben und der Feuerwiderstandsdauer in Minuten zusammen . Die Buchstaben kennzeichnen das jeweilige Leistungskriterium. Für das deutsche und europäische Baurecht sind die Kombinationsmöglichkeiten wichtig, wie auch in der Tabelle 2.16 in der Spalte Euroklassen zu sehen ist.

Anlagen zur Bauregelliste A Teil 1 – Ausgabe 2015/2

Tabelle 3: Erläuterungen der Klassifizierungskriterien und der zusätzlichen Angaben zur Klassifizierung des Feuerwiderstands nach DIN EN 13501-2, DIN EN 13501-3 und DIN EN 13501-4

Herleitung des Kurzzeichens	Kriterium	Anwendungsbereich
R (Résistance)	Tragfähigkeit	zur Beschreibung der Feuerwiderstandsfähigkeit
E (Étanchéité)	Raumabschluss	
I (Isolation)	Wärmedämmung (unter Brandeinwirkung)	
W (Radiation)	Begrenzung des Strahlungsdurchtritts	
M (Mechanical)	Mechanische Einwirkung auf Wände (Stoßbeanspruchung)	
S <sub>a</sub> (Smoke)	Begrenzung der Rauchdurchlässigkeit (Dichtheit, Leckrate), erfüllt die Anforderungen bei Umgebungstemperatur	dichtschließende Abschlüsse
S <sub>200</sub> (Smoke <sub>max. leakage rate</sub> )	Begrenzung der Rauchdurchlässigkeit (Dichtheit, Leckrate), erfüllt die Anforderungen sowohl bei Umgebungstemperatur als auch bei 200°C	Rauchschutzabschlüsse (als Zusatzanforderung auch bei Feuerschutzabschlüssen)
S (Smoke)	Rauchdichtheit (Begrenzung der Rauchdurchlässigkeit)	Entrauchungsleitungen, Entrauchungsklappen, Brandschutzklappen
C... (Closing)	Selbstschließende Eigenschaft (ggf. mit Anzahl der Lastspiele) einschl. Dauerfunktion	Rauchschtüren, Feuerschutzabschlüsse (einschließlich Abschlüsse für Förderanlagen)
C <sub>xx</sub>	Dauerhaftigkeit der Betriebssicherheit (Anzahl der Öffnungs- und Schließzyklen)	Entrauchungsklappen
P	Aufrechterhaltung der Energieversorgung und/oder Signalübermittlung	Elektrische Kabelanlagen allgemein
G	Rußbrandbeständigkeit	Schornsteine
K <sub>1</sub> , K <sub>2</sub>	Brandschutzvermögen	Wand- und Deckenbekleidungen (Brandschutzbekleidungen)
I <sub>1</sub> , I <sub>2</sub>	unterschiedliche Wärmedämmungskriterien	Feuerschutzabschlüsse (einschließlich Abschlüsse für Förderanlagen)
i→o i←o i↔o (in - out)	Richtung der klassifizierten Feuerwiderstandsdauer	Nichttragende Außenwände, Installationsschächte/-kanäle, Lüftungsanlagen/-klappen
a↔b (above - below)	Richtung der klassifizierten Feuerwiderstandsdauer	Unterdecken
v <sub>e</sub> , h <sub>o</sub> (vertical, horizontal)	für vertikalen/horizontalen Einbau klassifiziert	Lüftungsleitungen, Brandschutzklappen, Entrauchungsleitungen
v <sub>ew</sub> , h <sub>ow</sub>	für vertikalen/horizontalen Einbau in Wände klassifiziert	Entrauchungsklappen
v <sub>ed</sub> , h <sub>od</sub>	für vertikalen/horizontalen Einbau in Leitungen klassifiziert	Entrauchungsklappen
v <sub>edw</sub> , h <sub>odw</sub>	für vertikalen/horizontalen Einbau in Wände und Leitungen klassifiziert	Entrauchungsklappen
U/U (uncapped/uncapped)	Rohrende offen innerhalb des Prüfofens/ Rohrende offen außerhalb des Prüfofens	Rohrabschottungen
C/U (capped/uncapped)	Rohrende geschlossen innerhalb des Prüfofens/ Rohrende offen außerhalb des Prüfofens	Rohrabschottungen
U/C	Rohrende offen innerhalb des Prüfofens/Rohrende geschlossen außerhalb des Prüfofens	Rohrabschottungen
MA	Manuelle Auslösung (auch automatische Auslösung mit manueller Übersteuerung)	Entrauchungsklappen
multi	Eignung, einen oder mehrere feuerwiderstandsfähige Bauteile zu durchdringen bzw. darin einzubauen	Entrauchungsleitungen, Entrauchungsklappen

Für die Aufgabenstellung relevante Abkürzungen wurden markiert

Abbildung 2.15: Anlagen zur Bauregelliste A Teil 1-Ausgabe 2015/2  
Quelle: Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt) Bauregellisten, Ausgabe 2015/2

#### 2.6.4 Brandschutzkabel

Im Brandfall können Kabel das Feuer sowohl verursachen als auch verbreiten. Defekte Geräte und unsachgemäße elektrische Installation oder Anschlüsse führen schnell zu einem Schwelbrand. Ein Schwelbrand ist ein Brand ohne offene Flammen. Für dauerhaft in Bauwerken verlegte Strom-, Steuer- und Kommunikationsleitungen gilt die **EU-Verordnung 305/2011**, die sogenannte Bauproduktenverordnung [13]. Durch die europäische Bauproduktenverordnung verfügt man über eine europaweit harmonisierte Norm, welche Verfahren und Kriterien zur Bewertung der Leistungsfähigkeit von Bauprodukten bereitstellt. Wenn Produkte die von dieser Norm definierten Anforderungen erfüllen, dürfen sie das „CE“-Kennzeichen tragen und in der EU vermarktet werden. [14]. In der Haustechnik müssen Leitungen in feuerbeständigen (F90) Schächten verlegt werden. Es gibt zwei Möglichkeiten, die oben genannten Schutzziele in der Gebäudeinstallation zu erreichen: Die eine ist die Verwendung von Kabeln mit geringen Brandschutzanforderungen, welche in einem feuerfesten Installationskanal, der zum Beispiel feuerhemmend (F30) ist, verlegt werden und die andere ist die Verwendung von Kabeln mit erhöhten Brandschutzanforderungen, die anschließend unter Putz oder in einem Metallkabelkanal verlegt werden, eine übliche Elektroinstallation. [15].

**Tabelle 4: Vorschlag der deutschen Kabelindustrie für Mindestanforderungen**

ZVEI-Vorschlag für Mindestanforderungen					
Gebäudeklassen nach MBO				Euroklassen	
Klasse	Beschreibung			Mindestanforderung*	
				Gebäude (außer Fluchtweg)	Fluchtweg (bei offener Verlegung)
1	Gebäude freistehend	bis 7 m hoch	max. 2 Nutzungseinheiten mit nicht mehr als insgesamt 400 m <sup>2</sup>	E <sub>ca</sub>	
2	Gebäude	bis 7 m hoch	max. 2 Nutzungseinheiten mit nicht mehr als insgesamt 400 m <sup>2</sup>	E <sub>ca</sub>	
3	Sonstige Gebäude	bis 7 m hoch		E <sub>ca</sub>	B2 <sub>ca</sub> s1 d1 a1
4	Gebäude	bis 13 m hoch	Nutzungseinheit mit jeweils nicht mehr als 400 m <sup>2</sup>	E <sub>ca</sub>	B2 <sub>ca</sub> s1 d1 a1
5	Sonstige Gebäude	einschließlich unterirdischer Gebäude		C <sub>ca</sub> s1 d2 a1	B2 <sub>ca</sub> s1 d1 a1
<b>Sonderbauten</b>					
S1	Hochhäuser	höher als 22 m		C <sub>ca</sub> s1 d2 a1	B2 <sub>ca</sub> s1 d1 a1
S2	Bauliche Anlagen	höher 30 m		C <sub>ca</sub> s1 d2 a1	B2 <sub>ca</sub> s1 d1 a1
S3	Gebäude	mehr als 1600 m <sup>2</sup> größtes Geschoss, ausgenommen Wohngebäude und Garagen		C <sub>ca</sub> s1 d2 a1	B2 <sub>ca</sub> s1 d1 a1
S4	Verkaufsstätten	größer 800 m <sup>2</sup>		C <sub>ca</sub> s1 d2 a1	B2 <sub>ca</sub> s1 d1 a1
S5	Büro/Verwaltung	Räume größer 400 m <sup>2</sup>		C <sub>ca</sub> s1 d2 a1	B2 <sub>ca</sub> s1 d1 a1
S6	Gebäude mit Räumen	einzelne Räume Nutzung mit mehr als 100 Personen		C <sub>ca</sub> s1 d2 a1	B2 <sub>ca</sub> s1 d1 a1
S7	Versammlungsstätten	mehr als 200 Personen		C <sub>ca</sub> s1 d2 a1	B2 <sub>ca</sub> s1 d1 a1
S8	Gaststätten/Hotels	mehr als 40 Gastplätze in Gebäuden, mehr als 12 Betten, Spielhallen mehr als 150 m <sup>2</sup>		C <sub>ca</sub> s1 d2 a1	B2 <sub>ca</sub> s1 d1 a1
S9	Gebäude mit Nutzungseinheiten für Pflege oder Betreuungsbedürftige	mehr als 6 Personen, Intensivpflegebedarf		B2 <sub>ca</sub> s1 d1 a1	B2 <sub>ca</sub> s1 d1 a1
S10	Krankenhäuser			B2 <sub>ca</sub> s1 d1 a1	B2 <sub>ca</sub> s1 d1 a1
S11	Sonstige Einrichtungen zur Unterbringung von Personen sowie Wohnheime			C <sub>ca</sub> s1 d2 a1	B2 <sub>ca</sub> s1 d1 a1
S12	Tageseinrichtungen für Kinder, behinderte und alte Menschen	mehr als 10 Kinder		B2 <sub>ca</sub> s1 d1 a1	B2 <sub>ca</sub> s1 d1 a1
S13	Schulen, Hochschulen und ähnliche Einrichtungen			C <sub>ca</sub> s1 d2 a1	B2 <sub>ca</sub> s1 d1 a1
S14	Justizvollzugsanstalten und bauliche Anlagen für den Maßregelvollzug			C <sub>ca</sub> s1 d2 a1	B2 <sub>ca</sub> s1 d1 a1
S16	Freizeit-/Vergnügungsparks			C <sub>ca</sub> s1 d2 a1	B2 <sub>ca</sub> s1 d1 a1
S18	Regallager mit Oberkante Ladegut höher 7,5 m			E <sub>ca</sub>	B2 <sub>ca</sub> s1 d1 a1
S19	Bauliche Anlagen für Lagerung von Stoffen mit erhöhter Brandgefahr			B2 <sub>ca</sub> s1 d1 a1	B2 <sub>ca</sub> s1 d1 a1
<b>Weitere Zuordnung durch die Kabelindustrie</b>					
	Industriegebäude			C <sub>ca</sub> s1 d2 a1	B2 <sub>ca</sub> s1 d1 a1
	Serverräume			B2 <sub>ca</sub> s1 d1 a1	B2 <sub>ca</sub> s1 d1 a1
	Straßentunnel			B2 <sub>ca</sub> s1 d1 a1	B2 <sub>ca</sub> s1 d1 a1
	Tunnel von Eisenbahnen** und Straßenbahnen			B2 <sub>ca</sub> s1 d1 a1	B2 <sub>ca</sub> s1 d1 a1
	Tiefgaragen			C <sub>ca</sub> s1 d2 a1	B2 <sub>ca</sub> s1 d1 a1

\* Bei hohem und sehr hohem Sicherheitsbedarf wird für das zusätzliche Kriterium „Brennende Tropfen“ die Klasse d1 empfohlen.

\*\* Soweit keine anderweitigen Regelungen der Europäische Union, des Eisenbahnbundesamtes oder seiner beauftragten Stellen (Eisenbahninfrastrukturunternehmen) vorliegen.

Abbildung 2.16: Vorschlag der deutschen Kabelindustrie für Mindestanforderungen  
Quelle: ZVEI, 2021 [12]

### 2.6.5 Bauteilbrandschutz

Die Brandabschnitte müssen abgegrenzt bzw. abgeschottet werden, damit sich im Brandfall ein Feuer nicht ausbreiten kann. Bauteile wie Decken, Stützen, Unterzüge und Türdurchgänge werden in brandschutztechnische Feuerwiderstandsklassen unterteilt (siehe Tabelle 2.12). Die Prüfungen der Bauteile werden üblicherweise nach DIN 4102-2 durchgeführt.

Im Brandfall dürfen keine Lebewesen in Gefahr gebracht werden. Die jeweiligen Bauabschnitte müssen diesen vorgesehenen Schutz bieten. Ein entstandenes Feuer sollte an der Ausbreitung gehindert werden, so dass eine Evakuierung des Gebäudes und eine effektive Brandbekämpfung durch die Feuerwehr möglich wird und somit die Sicherheit der Bewohner und des Gebäudes gewährleistet ist. An den Stellen, wo die notwendige Versorgungsinstallation, wie auch Telekommunikationsversorgung, durch die Wände vorgesehen ist, müssen Öffnungen geschaffen werden. Bei diesen, aber auch bei Durchbrüchen in den Wänden oder im Treppenhaus, müssen entsprechende Kompensationsmaßnahmen in Form von Brandabschottung, Lüftungsklappen, Feuerschutzabschlüssen und ähnlichem eingerichtet werden, damit die Feuerwiderstandsfähigkeit der Bauteile an diesen Stellen erhalten bleibt. Solche Durchbrüche müssen mit besonderen Bauteilen oder Abschottungssystemen nach Montageanleitung korrekt wiederverschlossen werden.

In Tabelle 2.16 für die Mindestanforderungen für Kabel ist die Zeile S1 für Hochhäuser für diese Arbeit wichtig. In allen Gebäudeteilen, außer der Fluchtwege, muss die Euroklasse  $C_{ca} s1 d2 a1$  erreicht sein. In Kapitel 2.6.3 wurde erwähnt, dass die Kombination der einzelnen Werte eine wichtige Rolle spielt, was hier auch wieder zum Tragen kommt. Die einzelnen Bestandteile lassen sich wie folgt aufschlüsseln:

$C_{ca}$ : brennbar, tragen zum Brand bei  $s1$ : geringe Rauichentwicklung und langsame Verbreitung, keine Angabe zur Transmittanz  $d2$ : keine Vorgaben

$a1$ : Leitfähigkeit  $< 2,5 \frac{\mu S}{mm}$ ,  $ph > 4,3$

Für Fluchtwege gibt es für Hochhäuser die Euroklasse  $B2_{ca} s1 d1 a1$ .  $B2_{ca}$  und  $d1$  sind höhere Brandschutzanforderungen als  $C_{ca}$  und  $d2$ . Die Anforderungen für Rauchbildung und Säurefreisetzung sind gleich. Insgesamt sind die Anforderungen für Fluchtwege aber immer höher als die für die übrigen Räume, damit sich die Menschen von den Wohneinheiten in die Fluchtwege begeben können, um sich dort selbstständig retten zu können oder von dort gerettet werden zu können.

### 3 Die Projektvorstellung und Zielfragenformulierung

In der Einleitung wurde als Ziel dieser Arbeit angegeben, verschiedene Planungskonzepte zu vergleichen und gegebenenfalls zu optimieren, sowie eine Reduzierung der Kosten ohne Qualitätseinbußen zu erreichen. Um diese Aufgabenstellung bearbeiten zu können, müssen die Fragen weiter konkretisiert werden, weshalb in diesem Kapitel den Kernfragen dieses Projekts nachgegangen wird. Um was für einen Gebäudetyp handelt es sich bei diesem Projekt? Welche Komponenten werden für das Glasfasernetz innerhalb des Gebäudes benötigt und welche Anforderungen müssen diese erfüllen? Und zuletzt, was für Kosten fallen dafür an?

#### 3.1 Gebäudetyp

Gemäß der Aufgabenstellung wurde die Untersuchung zur Begrenzung des Aufwands auf nur einen Gebäudetyp beschränkt. Als ein typischen Objekt wurde ein Bestandsgebäude gewählt, welches sich am Hanns-Eisler-Platz 39128 Magdeburg befindet. Genauer handelt es sich um die Eingänge eines Plattenbaus mit den Hausnummern 6 bis 7. Hierbei handelt es sich um einen 4-spännigen Plattenbautyp (P2 - Plattenbautyp zwei) mit zehn Geschossen, ein sogenannter M10 (Magdeburg zehn Geschosse). In Abbildung 3.1 wird der Geschossgrundriss des P2 M10 dargestellt:

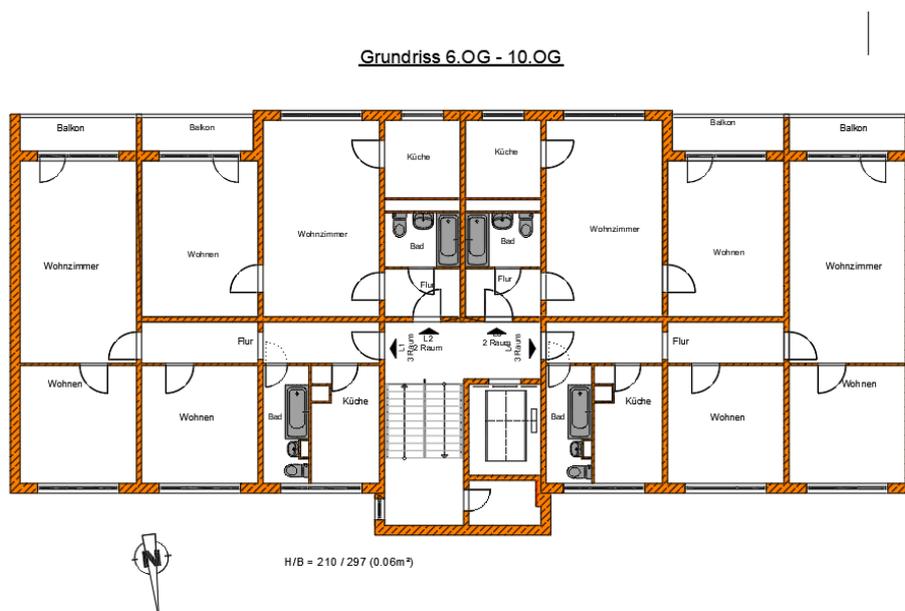


Abbildung 3.1: Geschossgrundriss des P2 M10  
Quelle: MWG-Media GmbH, 2021

Jede Etage besteht aus vier Wohneinheiten. Es gibt zwei verschiedene Etagenaufteilungen. Entweder zwei 4-Zimmer-Wohnungen außen und zwei 1-Zimmer-Wohnungen innen, was meist in den unteren vier Etagen der Fall ist, oder zwei 3-Zimmer-Wohnungen außen und zwei 2-Zimmer-Wohnungen innen, was meist in den oberen Etagen der Fall ist. Jedes Geschoss hat dabei eine lichte Raumhöhe von 2,8 Metern [16].

Tabelle 3.1: Wohnungen

Wohnungen	Fläche	Bemerkung
1-Zimmer-Wohnung	ca. 34 m <sup>2</sup>	meist in den unteren 4 Geschossen; das Badezimmer befindet sich im Inneren, während das Zimmer und die Küche Fenster haben.
2-Zimmer-Wohnung	ca. 51 m <sup>2</sup>	in den oberen 4 Geschossen; Zugang zu einer Loggia; das Badezimmer befindet sich im Inneren, während die Zimmer und die Küche Fenster haben
3-Zimmer-Wohnung	ca. 68 m <sup>2</sup>	ein Flur führt zu Bad und Küche; Wohnzimmer mit Balkon Zugang zum dritten Raum über das Wohnzimmer
4-Zimmer-Wohnung	ca. 84 m <sup>2</sup>	entsprechend der 3-Zimmer-Wohnung der Zugang zum vierten Raum erfolgt über den Flur

Quelle: Eigene Tabelle, abgeleitet aus der vorherigen Abbildung

## 3.2 FTTH-Design

Das folgende FTTH-Design wurde bereits 2016 entwickelt und es beschreibt unter Berücksichtigung der Aspekte Verlegetechnik, Brandschutzkonzept und Qualität ein sehr gut ausgebautes Glasfasernetz. Ein Nachteil dabei ist der hohe Preis. Zuerst wird auf die Komponenten und deren Preise der Netzebene vier (NE4) und danach der Netzebene fünf (NE5) eingegangen.

### 3.2.1 NE4

Im Keller werden zwei Gebäudewandverteiler installiert, wobei einer auf der rechten Seite angebracht wird und der andere auf der linken Seite. Die Gebäudewandverteiler werden in der Nähe von den Steigzonen angebracht. An jeden Gebäudewandverteiler werden für 20 Wohneinheiten und an einem davon zusätzlich ein Technikraum angeschlossen. Die Gehäuse der Gebäudewandverteiler haben Metallabdeckungen, um das Innere der Verteiler gegen mechanische Einwirkungen durch vorbeilaufende Menschen zu schützen.

Es ist nicht möglich, diese im Technikraum unterzubringen, weil dieser zu weit von der Steigzone entfernt ist. Die Spleißbox stellt für jede Wohnung eine Spleißkassette bereit, in der vier Fasern abgelegt sind, eine für Internet, eine für TV-Kabel und zwei andere als Reserve für mögliche zusätzliche Bedarfe, zum Beispiel andere Netzbetreiber. Ein Gebäudewandverteiler enthält zwei 1:32 Splitterkassetten, jede mit doppelter Steckverbindung (LC/APC Duplex-Kupplung) (siehe Abbildung 2.7). Um die Fasern anzuschließen, werden an deren Enden Pigtails angespleißt. Um den Spleiß zu schützen, ist die Faser mit dem Crimp-Spleißschutz in einem Spleißmodul abgelegt. Links von Gf-GV gibt es einen kleinen Wandverteiler, in dem sich Reservebauteile, wie zum Beispiel Koppler, zur Erweiterung oder Fehlerbehebung befinden. Die optische Gebäudeverkabelung wird über ein Leerrohrsystem verlegt. Die Mikrorohre mit einem Durchmesser von sieben Millimetern werden vom Gebäudewandverteiler in einen Kabelkanal bis zur Steigzone hin- und zum Treppenhaus durchgeführt. Danach führen sie über Durchbrüche in den Treppenpodesten zu ihrer jeweiligen Etage und Wohnung. Um den Brandschutzvorschriften nachzukommen, werden bei den Durchbrüchen F90-Brandschutzmanschetten verbaut. Nachdem die Fasern über Kabelkanäle in die Wohnungen geführt wurden enden sie in einem Kleinverteiler/Medienkonverter, wo sie wieder mit einem LC/APC-Stecker an einer Duplexkupplung angeschlossen werden.

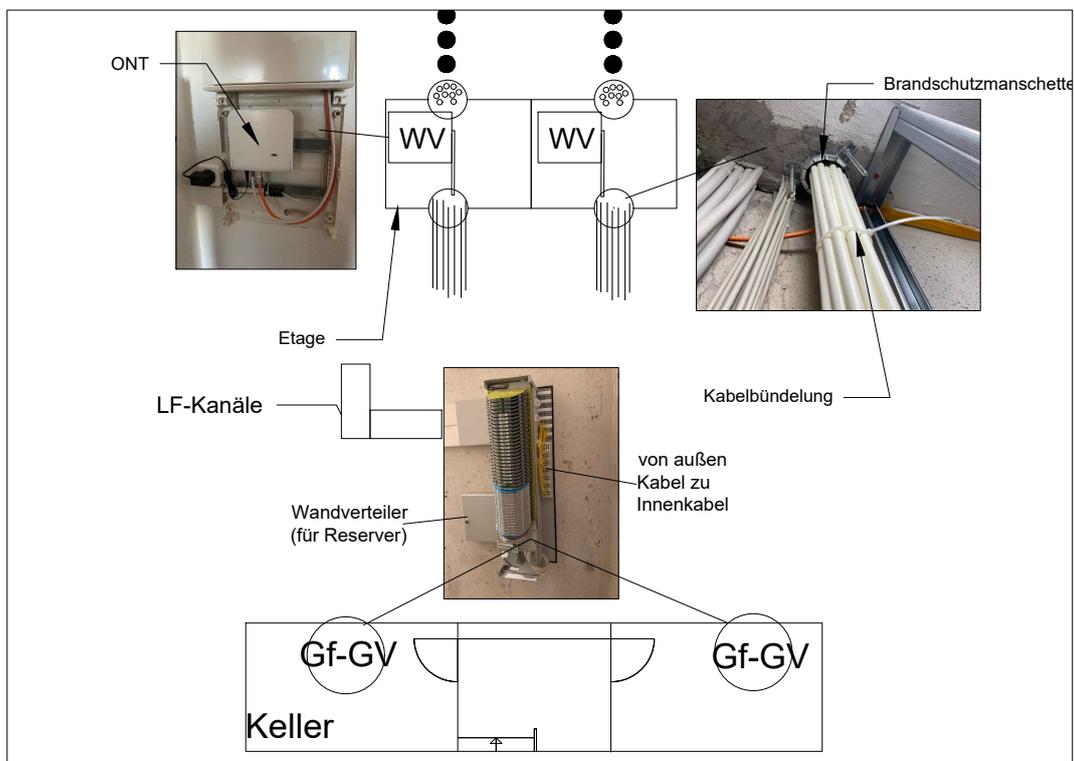


Abbildung 3.2: Illustration von NE4, eigene Skizze  
Quelle: Fotos von MWG-Media GmbH, 2021

### 3.2.2 NE5

Der für jede Wohnung angelegte Wohnungsverteiler befindet sich nah an der Steigzone, damit die Glasfaserkabel einfacher eingezogen oder eingeblasen werden können. Der Wohnungsverteiler dient als Gehäuse für den ONT oder Medienkonverter XON1200 SC<sup>16</sup>. Der Medienkonverter hat vier Ethernet-Ports und einen optischen WAN-Port. Daneben ist die Steckdose und der 230V/16A-Anschluss für die Medienkonverter. Jede Wohnung erhält zwei Glasfasern für TV und IP-Adresse. Die Netzwirkkabel Cat 5e SF/UTP und Koaxialkabel für TV (Koaxialkabel Astro) führen durch Sockelleistenkanäle und Kabelkanäle zu jedem Raum in der Wohnung und enden an einer 2-fach-Anschlussdose Cat.6A. und einer Antennendose (Astro MMD/MMX)<sup>17</sup> Die alten Sockelleisten werden demontiert und entsorgt.

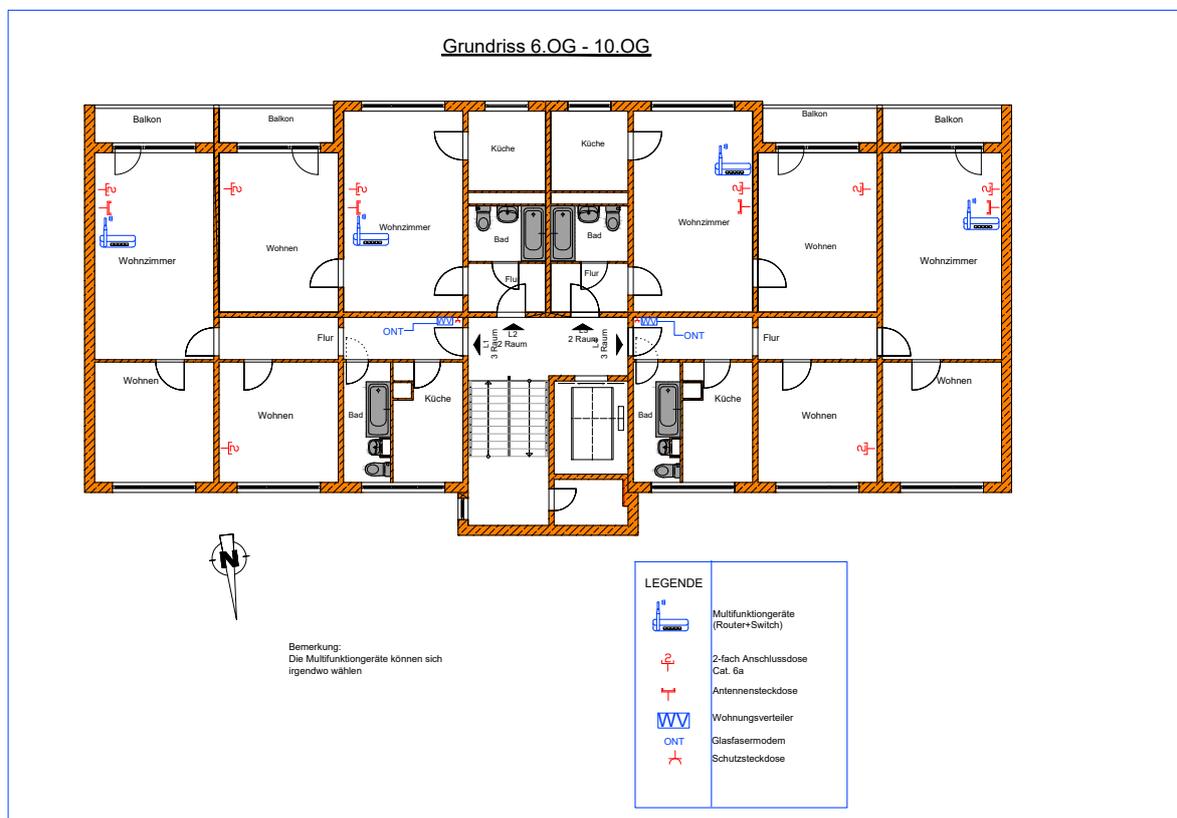


Abbildung 3.3: Illustration von NE5, eigene Skizze  
Quelle: MWG-Media GmbH, 2021

<sup>16</sup>XON1200 SC ist ein Produkt von HUBER+SUHNER BKtel. XON1200SC ist ein Gigabit Ethernet Medienkonverter für P2P FTTH Netze. Quelle: MWG-Media GmbH

<sup>17</sup>Astro ist eine deutsche Firma, die verschiedene Produkte für den TV-Empfang vertreibt, u.a Komponenten für Kabelnetze.

MMD Vgl. <https://www.astro-kom.de/de/produkte/85/details/235/gut-mmd-7-sat-de>

MMX Vgl. <https://www.astro-kom.de/de/produkte/93/details/658/gut-mmx-4-f-de>.

### 3.2.3 Kostenverteilung

Die Kostenverteilung wird für zwei Abschnitte betrachtet. Der erste ist vom Keller bis zum ONT in der Wohnung (NE4) und der zweite Abschnitt ist der Rest in der Wohnung selbst (NE5). Die Daten sind aus dem Rahmenvertrag für das Projekt Hanns-Eisler-Platz 6 bis 7, 39128 Magdeburg entnommen. Der Übersichtlichkeit halber sind in der Grafik nur Prozentwerte angegeben und beziehen sich auf einen ungefähren Kostenbetrag. Die Angaben der Kostenverteilung beziehen sich auf die FTTH-Materialien, die Brandschutzmaterialien und den Arbeitsaufwand.

#### Keller bis ONT (NE4)

Kostenverteilung passive optische Verkabelung vom Keller bis ONT (circa 35600 €)

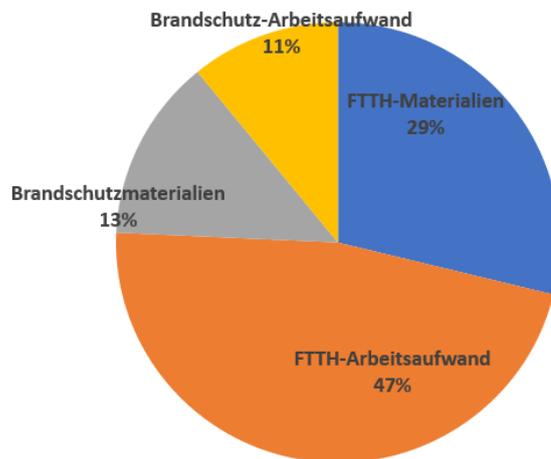


Abbildung 3.4: Prozentuale Kosten NE4, eigene Grafik  
Quelle: Rahmenvertrag von MWG-Media GmbH

In der Abbildung 3.4 kann die Kostenverteilung für die NE4 von FTTH-Netzwerken in dieser Art von Projekten und Gebäuden abgelesen werden. Die prozentualen Angaben beziehen sich auf die Kosten der passiven optischen Verkabelung von der Gf-GV bis vor die Tür der jeweiligen Wohnungen.

- 47 Prozent der Kosten sind **FTTH-Arbeitsaufwandskosten**. Darunter fällt die Installation der Mikrorohranlage im Treppenhaus, das Herstellen und Verschließen der Wand-/ Deckendurchbrüche und die Prüfmessungen der LWL-Kabel, die den größten Teil der Kosten verursachen. Die anderen Faktoren, die sich auf den Arbeitsaufwand auswirken, ist die Montage vom Verteilergehäuse im Keller, der Wohnungsverteiler, der LC/APC Duplex-Kupplungen bei der ONT, die Herstellung der Fusionspleiße an der Glasfaser im Wandverteiler im Keller und in den Wohnungen und die Verlegung

der LWL-Kabel. Der Stundenverrechnungssatz der Netzwerkinstallation, der für die Installation des Netzwerks erforderlich ist, wurde grob abgeschätzt und auf FTTH-Aufwand und Brandschutzaufwand verteilt.

- Danach kommen mit 29 Prozent die Kosten für die **FTTH-Materialien**. Darunter fallen der Gebäudewandverteiler, welcher mit seinem Gehäuse und dessen Inhalt den Großteil der Kosten verursacht, die Kabelkanäle und die Mikrorohre mit Zusatzrohren.
- Danach kommen mit 13 Prozent die **Brandschutzmaterialien**, wobei die Leitungsführungskanäle und die Brandschutzmanschette hier den größten Kostenanteil bilden.
- Letztendlich geht der **Brandschutz-Arbeitsaufwand** mit 11 Prozent ein.

#### In der Wohnung (NE5)

In diesem Diagramm finden sich keine Brandschutzmaterialien mehr, weil das Thema Brandschutz in der Wohnung keine Bedeutung für die Aufgabenstellung hat. Der Arbeitsaufwand macht fast 75 Prozent der Kosten aus. Die Verlegung der Koaxial- und Netzkabel verursacht die meisten Kosten. Kosten von Kabel- und Sockelleistenkanälen wurden auch berücksichtigt. Nach der Montage soll ein Funktionstest der Koaxialkabelanlage mit Signalmessung durchgeführt werden, was sich auf den Preis der Handwerksarbeiten auswirkt.

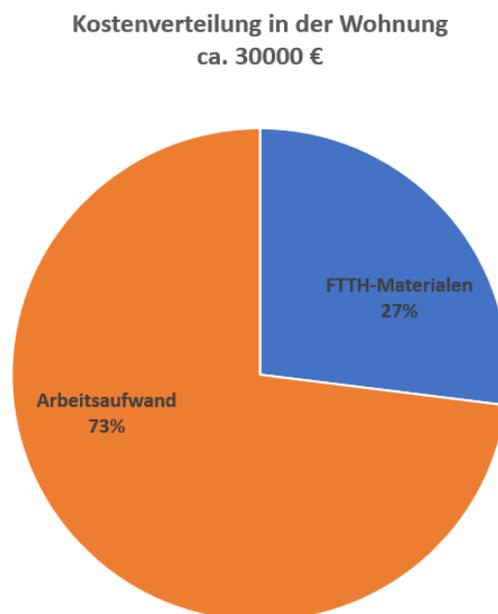


Abbildung 3.5: Kostenverteilung NE5  
Quelle: Rahmenvetrag von MWG-Media GmbH

## 4 Methode

Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, viele Vorschläge zur Kostenoptimierung bei Beibehaltung der Qualität zu analysieren. Hierzu wurden qualitative Analysen durchgeführt. Dazu wurde zunächst zwischen der bisher verwendeten Netzwerkstruktur und anderen verglichen. Dabei wurde folgenden Fragen nachgegangen. Welche Netzstrukturen gibt es neben den bisher verwendeten? Was sind die Vor- und Nachteile der jeweiligen Netzwerkstruktur? Wie wird die FTTH-Installation in der Steigzone ausgeführt?

Nach diesen Fragestellungen sollten die Varianten von Netzwerkstrukturen mit Blick auf geltende Richtlinien und mithilfe verschiedener Literatur untersucht werden. Am Anfang war die Literaturrecherche für diesen Abschnitt herausfordernd, da es zum Thema FTTH-Installation in Gebäuden in Deutschland nicht viel Literatur gibt und Informationen größtenteils nur auf den Unternehmenswebsites zu finden sind. Es gibt jedoch viel internationale Literatur, die aber selten zum Bautyp passten und oft den deutschen Gesetzen oder Verordnungen nicht entsprechen.

Zur Informationsbeschaffung wurde unter anderem die Expertise mehrere Fachleute genutzt. Zum einen gab es eine Kontaktperson bei der MWG Media GmbH, mit der sowohl Kontakt per E-Mail bestand als auch persönliche Treffen stattfanden. Ein Anderer war der Betreuer seitens der Hochschule, welcher mit seinen Hinweisen die Recherche in zielführende Richtungen lenkte.

Danach wurde die Umsetzung der NE4 analysiert. Die Analyse wurde nur von dem Glasfasergebäudeverteiler (Gf-GV) bis zum ONT betrachtet. Danach wurden die im Treppenhaus verwendeten Brandschutzmaterialien untersucht.

Während Untersuchung der Brandschutzmaterialien wurde als erster Schritt ein Interview mit einer Studentin im Studiengang Bauingenieurwesen an der HS Magdeburg-Stendal geführt, in dem die Bauordnungen, Normen und Begrifflichkeiten des Brandschutzes besprochen wurden. In dem Interview wurden viele theoretische Grundlagen für das Brandschutzkonzept besonders im Treppenhaus geklärt. Im nächsten Schritt wurden verschiedene mögliche Kombiabschottungssysteme<sup>18</sup> unter Beachtung der Musterbauordnung gesucht. Danach wurden die Kosten zwischen der verwendeten Brandschutzabschottung bei den Durchbrüchen für Mikrorohre im Bündel und anderen Varianten der Kombiabschottung verglichen. Für das Thema der Kombiabschottung wurde ein Interview mit einem Dozenten

---

<sup>18</sup>Kombischotts sind dann erforderlich, wenn Rohrleitungen und elektrische Leitungen durch gemeinsame Durchbrüche in feuerwiderstandsfähigen Wänden und Decken geführt werden. Quelle: ZELENKA, <https://zelenka-brandschutztechnik.de/kombiabschottungen/>, 2021

mit der Spezialisierung Gebäudebrandschutz vom Studiengang Bauingenieurwesen an der HS-Magdeburg-Stendal geführt.

## 5 Analyse von Lösungsoptionen

Die Übersicht über die Kostenverteilung im Abschnitt 3.2.3 verdeutlicht, dass der Arbeitsaufwand die meisten Kosten verursacht, dicht gefolgt von den FTTH-Materialien, danach kommen die Kosten für Brandschutzmaterialien und schließlich die des Brandschutzaufwands. In der Analyse wird kein Bezug mehr auf die Aufwandskosten vom Brandschutz genommen, weil angenommen wird, dass sich der Aufwand zur Installation und die damit anfallenden Kosten kaum ändern werden. Im Folgenden werden drei Ansätze für Einsparungen analysiert, zuerst bei den Brandschutzmaterialien, danach bei den FTTH-Materialien und zuletzt beim FTTH-Arbeitsaufwand.

### 5.1 Brandschutzmaterialien

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, den Anforderungen des Brandschutzes im Treppenhaus nachzukommen. Diese Anforderungen sind in der Musterbauordnung (MBO) nach Gebäudetyp festgelegt. Demnach müssen die Anforderungen für die Gebäudeklasse 5 nach MBO § 2(3) erfüllt werden. Das untersuchte Gebäude gehört laut MBO zur den Sonderbauten, aber wird durch die brandschutztechnische Bewertung der MWG-Media GmbH in die Gebäudeklasse 5 (GK5) eingestuft. Details sind in der Tabelle 5.1 angegeben.

Tabelle 5.1: Beschaffenheit des Bauteils nach MBO für ein Mehrfamilienhaus

Beschaffenheit des Bauteils	GK5 $\leq 22$ m OKFFB (Oberkante des fertigen Fußbodens)
Bauteil von Kellergeschossdecken MBO § 31(2)	F90
Bauteil von Obergeschossdecken MBO § 31(1)	F90
Raumabschließende Trennwände in Obergeschossen zum Beispiel Wohnungstrennwand MBO § 29	F90
Wände von notwendigen Fluren und Ausgängen ins Freie MBO § 36(4)	Obergeschoss: F30 Kellergeschoss: F90
Wände von notwendigen Treppenträumen MBO § 35(3)	F90-A

Quelle: Walraven Group: Brandschutz Planungsratgeber, Seite 9, 2016

Die bestehenden Wohnungskabel sowie die neu hinzukommenden Mikrorohre werden durch eine gemeinsame Deckenöffnung ins Treppenhaus geführt. Die wiederverschlossene Deckenöffnung muss in feuerbeständiger (F90) Qualität ausgeführt werden. Die Geschossdecken sollen den erforderlichen Feuerwiderstand (F90) sowie die erforderliche Mindestdicke von 150 Millimeter aufweisen. In den Deckenebenen werden Mörtelschotts verwendet, um die Deckenlücken feuerbeständig (F90) zu schließen. Die Verlegung der Mikrorohre in das Mörtelschott erfolgt mit einer zusätzlichen Brandschutzmanschette. Zwischen der Brandschutzmanschette und den vorhandenen Kabelbündeln ist ein Mindestabstand von 50 Millimeter einzuhalten. Die durch das Deckenschott zu führenden Rohrbündel werden von Geschoss zu Geschoss immer dünner, da pro Geschoss je Installationsschacht zwei Leerrohre für die Glasfaserkabel zu den umliegenden Wohnungen abzweigend werden. Es muss die kleinste Brandschutzmanschette verwendet werden, die zum jeweiligen Mikrorohrkabelbündel passt. Der Innendurchmesser der Hülse darf nicht mehr als 15 Millimeter größer sein als der Durchmesser des Bündels, da die Brandschutzmanschette sonst ihren Zweck nicht erfüllen kann, d.h. bei einem Brand das Kabel abzuklemmen und die Brandausbreitung zu verhindern.



(a) Mörtelschotts



(b) Brandschutzstein



(c) Brandschutzbandage



(d) Brandschutzschaum

Abbildung 5.1: Mögliche Brandschutzmaterialien für Abschottungssysteme  
Quelle: Hilti, Technisches-Handbuch-Brandschutzsysteme-Technische-Information, 2020

Dafür gibt es verschiedene Varianten. Anstatt einer Brandschutzmanschette können als zusätzliche Brandschutzmaßnahmen auch Brandschutzsteine, Brandschutzbandagen oder Brandschutzschaum verwendet werden. In Abhängigkeit von der erforderlichen Mindestdicke und der Größe der Durchbrüche für die Mikrorohrbündelung muss die Brandschutzlösung angepasst werden.

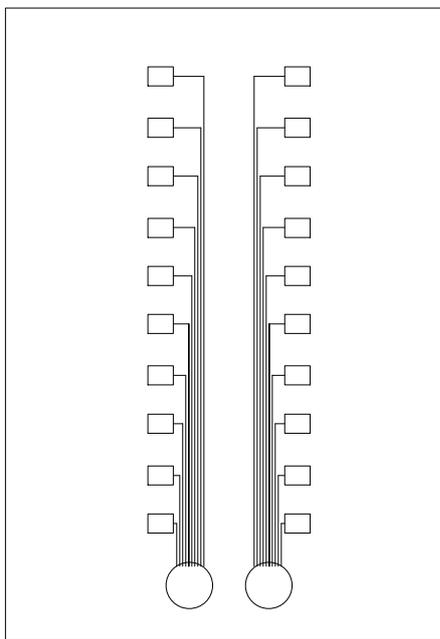
Eine kostenoptimierte Brandschutzlösung für die obersten zwei Geschosse wäre eine Kombiabschottung, bei der die Brandschutzsteine in das Mörtelschott eingesetzt werden, weil dort vier und später nur zwei Mikrorohre vorhanden sind. Eine andere Möglichkeit wären Brandschutzbandagen, welche zumindest ab der fünften Etage verwendet werden könnten. Die Brandschutzbandage kann als Kabelabschottung für die Mikrorohrbündel verwendet werden. Sie besteht aus einer flexiblen Bandage, welche mithilfe des Drahtes fixiert wird. Brandschutzschaum allein ist keine gute Variante, weil die Kosten in Bezug auf Volumen deutlich höher als bei anderen Lösungen sind.

## 5.2 FTTH-Materialien und FTTH-Arbeitsaufwand

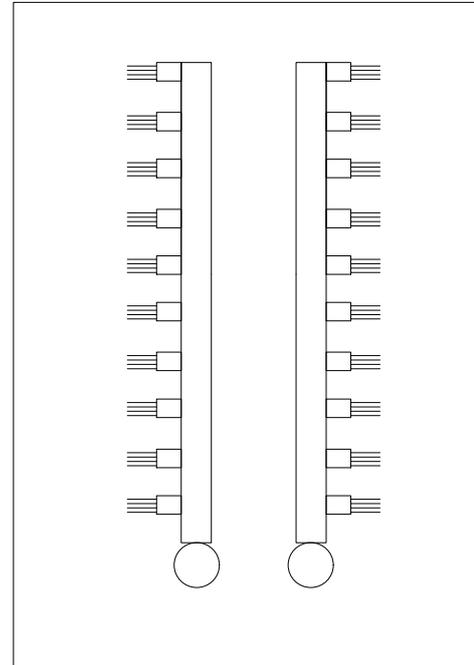
Zur Kostenoptimierung der FTTH-Installation ist eine Reduktion der Installationskosten, Erhöhung der Montagegeschwindigkeit und Reduktion der Betriebskosten über die gesamte Lebensdauer anzustreben. FTTH-Materialien und FTTH-Arbeitsaufwand werden in einem Abschnitt zusammengefasst, da die beiden voneinander abhängig sind. Der Arbeitsaufwand ist entscheidend von der angewendeten Netzstruktur abhängig, weshalb die Analyse mit einer Betrachtung von möglichen Netzstrukturen beginnt und mit einer detaillierten Beschreibung der Umsetzung in der NE4 endet.

### 5.2.1 FTTH-Netzwerkstrukturen

Es gibt verschiedene Netzwerkstrukturen, welche man für die Kostenoptimierung betrachten kann. Allerdings wird die Auswahl in dieser Arbeit schon von der Tatsache her eingeschränkt, dass die Verkabelung nach der Verkleidung mit Brandschutzverkoferung bzw. Brandschutzverkleidung auch für kleinste Wartungsarbeiten nicht mehr ohne größeren Aufwand erreichbar ist und damit schon eine eher nachteiligere Lösung ist. Trotzdem gibt es zwei Möglichkeiten, wie Kabel in Mikrorohren in der Steigzone verlegt werden können.



(a) erster Entwurf von MWG-Media



(b) zweiter Entwurf, Entwicklung der Cable Corning und R&D Dept., 2009

Abbildung 5.2: FTTH-Entwurf im Steigleitungsbereich  
Quelle: Eigene Skizze

Die linke Abbildung zeigt eine sternförmige Struktur, wie sie bisher auch realisiert wurde und in der Kabel in einzelnen Mikrorohren zu den jeweiligen Wohnungen verlegt werden. Es gibt mehrere Gründe, sich für diese Struktur zu entscheiden. Bei einer Störung eines LWL-Kabels werden die anderen Wohnungen nicht auch gestört. Ein weiterer Grund sind kleine Gesamtwerte der Dämpfung, da zwischen Gf-GV und ONT keine weitere Spleißverbindung hinzu kommt. Allerdings gibt es einen Nachteil und zwar die lange Gesamtstrecke aus LWL-Kabel und Mikrorohren, die Bündel aus Einzelrohren ergeben. Das bedeutet, dass es einen erhöhten Arbeitsaufwand beim Verlegen der Kabel gibt.

Die Netzwerkstruktur im rechten Bild ist möglicherweise als eine optimalere Struktur anzusehen, weil der Verlegeaufwand hierbei deutlich reduziert werden kann. Es wird ein Rohr verlegt, in welchem sich vorkonfektionierte Kabel befinden [17]. Das gesamte LWL-Kabel wird in einem Rohr entlang der Steigzonenverkabelung im Treppenhaus geführt und auf jeder Etage sind einzelne Abzweigungen für Anschlüsse vorgesehen. Die Abzweigungen sollen werkseitig mit Zugentlastungen installiert sein, damit keine extrinsischen Verluste auftreten. Dadurch kann die benötigte Zeit zur Montage und die damit anfallenden Montagekosten deutlich reduziert werden.

Im Hinblick auf das Brandschutzkonzept lässt sich feststellen, dass durch die einfache Form des Rohres ein Kombiabschottungssystem aus Brandschutzbandagen und etwas Brandschutzdichtmasse, oder auch Brandschutzschaum (siehe Abbildung 5.1) verwendbar ist. Bei dem Kabelstrang sind vier Adern pro Wohnung vorbereitet, sodass im Fehlerfall noch zwei Adern als Reserve verfügbar sind. Dieser vorkonfertierte Kabelstrang wurde vom Hersteller (zum Beispiel Corning) gründlich durchgeprüft und für die Verlegung mit einem Steigleitungsseil vorbereitet.

### 5.2.2 Umsetzung der NE4

Hier werden die verwendeten Kabeltypen sowie Kabelstecker, die Gf-GV, die Wandverteiler in den Wohnungen, die ONT und LWL-Kabel Messungen betrachtet.

#### Kabel-Typ

Als Kabel wird ein E9/125  $\mu\text{m}$  Kabel verwendet, welches von der ITU-T als G.657.A1/A2 genormt ist. Für Innenkabel werden das G.652.D oder das G.657.A (siehe Tabelle 2.2) empfohlen. Im Prinzip weisen beide Kabeltypen ähnliche Eigenschaften auf. Beide weisen einen reduzierten Wasserpeak auf. Der Dämpfungskoeffizient bei einer Wellenlänge von 1310 nm beträgt  $\leq 0.4 \text{ dB/km}$  und bei einer Wellenlänge von 1510 nm beträgt er  $\leq 0.3 \text{ dB/km}$ . Allerdings beschreibt G.657.A einen krümmungsunempfindlicheren Lichtwellenleiter. Das bedeutet, dass er mit kleineren Biegeradien verlegt werden kann. [18]. Wodurch dieser Fasertyp besonders für FTTH-Installationen geeignet ist.

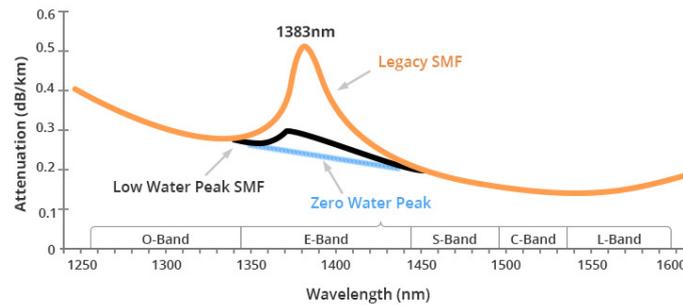


Abbildung 5.3: Dämpfungsverlauf einer Monomode-Faser  
 Quelle:FS|community, 2019 [19]

## Steckerverbinder

In der Gf-GV und den LWL-Abschlussdosen werden bedarfsorientiert Duplex-Kupplungen LC/APC an Pigtails verwendet. Eine andere Möglichkeit wäre SC/APC-Kupplungen zu verwenden. LC-APC Stecker bestehen aus einer Keramik-Ferrule mit 1,25 Millimeter Durchmesser. SC Stecker sind ähnlich aufgebaut, nur dass der Durchmesser der Keramik-Ferrule 2,5 Millimeter beträgt. LC und SC sind Push- und Pull-Stecker. Auf Grund seiner kleineren Bauform ermöglicht der LC-Stecker eine hohe Packungsdichte. Der LC-Stecker ist halb so groß wie der SC. Tatsächlich hat ein SC-Adapter die gleiche Größe wie ein Duplex-LC-Adapter. Weshalb der LC-Stecker für große Anzahl von Anschlüssen optimal ist [18].

## Glasfasergebäudeverteiler (Gf-GV)

Der verwendete Gf-GV kombiniert den BEP (siehe Abbildung 3.2) und einen Verteiler für 25 Wohneinheiten. Deswegen teilen sich dessen Kosten auf NE3 und NE4 auf. Im Verteiler finden sich je Spleißkassette vier Glasfasern, zwei Duplex-Kupplungen, zwei Patchkabel und zwei Pigtails. Weil die Enden vom Kabelstrang schon vorkonfektioniert sind, können die Kosten für die Duplex-Kupplungen und für beiden Pigtails eingespart werden.

## Multimediaverteilung

In einem Bestandsgebäude sind die Möglichkeiten für Verkabelungsstrukturen gegenüber einem Neubau deutlich eingeschränkt. Es ist vorteilhaft, einen kleinen Wohnungsverteiler in der Nähe zum Hausflur zu montieren, weil sich dadurch etwas Länge an LWL-Kabel einsparen lässt. Davon werden sternförmig die Anschlussdosen im Wohnzimmer mit Netzwerkkabel Cat 5e SF/UTP und Koaxialkabel versorgt. Die Wohnungsverteiler gibt es als Aufputz- oder Unterputzausführung, wobei in diesem Fall die Aufputzvariante genutzt wird, weil größere Baumaßnahmen in bewohnten Wohnungen, wenn möglich, zu vermeiden sind. Es ist geplant, dass der Wandverteiler nur das Fasermanagement beinhaltet. Die

anderen aktiven Netzkomponenten, also Endgeräte wie Router oder Switches, sollen offen im Wohnzimmer untergebracht werden. Beim Multimedia-Verteiler ist es erforderlich, dass die Tür mit Lüftungsschlitzen versehen ist, um die Abwärme des ONT abzuführen zu können. Das Gehäuse für das ONT muss die Schutzart IP30<sup>19</sup> aufweisen. Um Kosten zu reduzieren, hat sich MWG-Media anstatt normaler Multimediagehäuse für einen Unterverteilungssicherungskasten entschieden. Der kostet nur etwa die Hälfte von einem gängigen kleinen Multimediaverteiler.

### Optical Network Termination (ONT)

Bei der Auswahl von einem ONT muss auf die unterstützten Übertragungsverfahren für Lichtwellenleiter geachtet werden. Die gewählte ONT ist der XON1200 SC, welcher automatisch 100Base-BX und 1000Base-BX erkennt. Dies bedeutet, dass Übertragungsraten von bis zu 1 Gbit/s [20] möglich sind. Somit ist dieser als optimales Gerät anzusehen.

### Einzel-Faserlängenmessung und Dämpfungsmessung

Nach IEC 14763-3 ist eine Optical Time Domain Reflectometry (OTDR)-Prüfung aller Fasern nach Fertigstellung der NE4 vorgeschrieben. Dabei werden Messungen einseitig mit Vor- und Nachlauf-Faser bei 1310 nm und 1550 nm durchgeführt und dokumentiert. Es wurde geplant, dass die Fasern zum Erdgeschoss und zum obersten Geschoss bi-direktional vermessen werden. Zur Bewertung eines Stecker-Übergangs beim Übergang von NE3 zu NE4 gelten die Grenzwerte für die Einfüge-/Rückflussdämpfung<sup>20</sup>:

- Singlemode APC Klasse B/SM1: 0,12 dB/ 65 dB (Premium)
- Singlemode Klasse B/SM2: 0,12 dB/ 45dB (Premium)
- Singlemode Klasse C/SM2: 0,25 dB/ 45 dB (Premium)

Zur Bewertung der Leitung und Stecker zwischen Gf-GV und den Wohneinheiten müssen für Rückflussdämpfungen eingehalten werden von mindestens

- LC-APC auf LC-APC: -60 dB
- LC-APC auf SC-APC: -60 dB
- LC-APC auf SC-PC: -50 dB

Die Dämpfungen für die FTTH-NE4 sollten insgesamt nicht 1,2 dB überschreiten. Hier reicht es eigentlich, dass alle Geschosse einseitig mit Vor- und Nachlauf-Faser vermessen

---

<sup>19</sup>IP „30“: IP = International Protection; 30 bedeutet Schutz vor dem Zugang mit Werkzeug und kleineren festen Fremdkörpern ab einem Durchmesser von 2,5 mm.

Quelle: Profi-Guide, <https://www.jh-profishop.de/profi-guide/ip-schutzarten/>, 2015

<sup>20</sup>Vgl. Rahmenvertrag Leistungsverzeichnis der MWG-Media GmbH, 2021

werden, weil die Strecken bekannt sind.

### 5.2.3 Zusammenfassung der Diskussion

Die Resultate der Analyse von Lösungsoptionen wurden mit der MWG-Media GmbH zusammen diskutiert. Zuerst wurden die Optionen der unterschiedlichen Brandschutzmaterialien betrachtet. Die wichtigsten Aspekte bei diesen Überlegungen waren die Erfüllung der MBO-Vorgaben und das Vorliegen einer DiBT-Zulassung

Zum Thema vorgefertigten Kabalestrang (Riser Cable) gibt es noch Vorbehalte und offene Fragen, die mit der Firma *Corning Cable System* geklärt werden müssten.

- Wie hoch sind die Kosten für einen speziell anfertigten Strang?
- Wie gut lässt sich ein solcher Strang verlegen?
- Was passiert, wenn ein Strang während der Installation beschädigt wird, beziehungsweise, wie umständlich wäre die Reparatur
- Inwieweit man die OTDR-Messung am Ende einsparen könnte, da die Riser Cable bereits vom Hersteller geprüft wurden. Welche Kostenersparnis wäre damit möglich?

Beim Glasfasergebäudeverteiler konnte festgehalten werden, dass zumindest noch eine Reihe von Duplex-Kupplungen vom Netzbetreiber übernommen werden könnten, weil diese noch zur NE3 gezählt werden können.

## 6 Diskussion

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurden Möglichkeiten zur Kostenoptimierung bei FTTH-Installationen in Bestandsgebäuden bei der MWG untersucht. Zuerst wurden die Kosten eines Projektes beleuchtet, um an der Kostenverteilung feststellen zu können, bei welchen Posten Potenzial zu Kosteneinsparung besteht. Letztendlich wurde in vier Hauptposten unterschieden:

- Brandschutzmaterialien
- Brandschutzaufwand
- FTTH-Materialien
- FTTH-Arbeitsaufwand

Nach diesen Schwerpunkten wurden die NE4 im Detail analysiert.

Die Analyse wurde bei den Brandschutzmaterialien begonnen. Für die Brandschutzmaterialien wurden mehrere Lösungen gefunden. Anstelle von Brandschutzmanschetten, können sowohl Brandschutzbandagen, als auch auch Brandschutzsteine verwendet werden. Letztendlich müssen die Vorgaben nach MBO und DIBt erfüllt werden.

Danach folgte die Analyse der Netzwerkstrukturen. Hier kristallisierten sich zwei Strukturen als vorteilhaft heraus, und zwar einerseits die bisher verwendete Struktur, Punkt-zu-Punkt mit Einzelkabeln, und andererseits in Form eines *Riser Cable von Corning Cable System und R&D Dept.*

Als nächstes wurde die Umsetzung der NE4 analysiert. Dabei wurde sich auf Kabeltyp, Steckerverbinder, Multimediaverteilung, Optical Network Termination (ONT), Glasfasergebäudeverteiler (Gf-GV) und Einzelfaserlängen- und Dämpfungsmessung bezogen. Zum einen kann bei der Gf-GV Duplex-Kupplungen und Pigtails eingespart werden und zum anderen würde es bei der Abschlussmessung reichen bei allen Geschossen einseitig zu messen.

Die allgemeinen Anforderungen an eine FTTH-Installation in Gebäuden wurden aus dem FTTH-Handbook vom FTTH Council Europe [9] entnommen. Detailliertere Informationen zum Thema Glasfasertechnik, wie beispielsweise Normen oder auch Bauformen von Steckern, finden sich im „Leitfaden Fiber Optic“ von Dr. Dieter Eberlein [18].

Für die Installation der Mikrorohranlage im Treppenhaus muss die Rechtgrundlage nach MBO erfüllt sein und die verwendeten Materialien müssen generell das CE-Kennzeichen

tragen. Decken- und Bodendurchbrüche in den Etagen müssen mit Abschottungssystemen wiederverschlossen werden.

Das ursprüngliche Ziel der Arbeit war es, viele verschiedene Planungskonzepte zu vergleichen, um Möglichkeiten zur Kostenoptimierung festzustellen. Während des Schreibens stellte sich heraus, dass dieses Ziel nicht umsetzbar war, weil die geplante Brandschutzverkofferungen in den einzelnen Etagen keine andere Netzwerkstrukturen zuließen, als die bereits angewendete P2P-Struktur. Weil es nicht möglich war, das Grundkonzept der geplanten FTTH-Installation zu verändern, wurde sich in dieser Arbeit darauf konzentriert, im Detail Möglichkeiten zur Kosteneinsparung zu finden.

Diese Arbeit zeigt Potenzial für Einsparungen auf, welche in Zukunft genutzt werden könnten

- Beim Verteilergehäuse könnte gespart werden, indem mit dem Netzbetreiber verhandelt wird, dass dieser einen höheren Kostenanteil übernimmt, weil er zur Bereitstellung der NE3 verantwortlich ist
- Ob es möglich ist, bei den *Riser Cables* zu sparen, kann erst geprüft werden, nachdem die Firma *Corning Cable System* ein Angebot zu ihren Preis- und Lieferkonditionen vorgelegt hat.

## 7 Fazit

Um die Bedürfnisse des Kunden nach schnellem Internet und digitaler Technologie zu befriedigen plant die Wohnungsgenossenschaft MWG Wohnungen mit FTTH-Installationen zu versorgen. Das Problem sind die erheblichen Kosten, welche bei der FTTH-Installation anfallen. Hier setzt diese Arbeit mit der Analyse von Optionen an, welche Kosteneinsparungen möglich sind. Um diese Analyse zu unterstützen wurden zur Informationsbeschaffung viele Recherchen betrieben und einige Experteninterviews durchgeführt.

Die Analyse hat gezeigt, dass die geplante FTTH-Installation eigentlich für diesen Gebäudetyp schon sehr kostenoptimiert ist. Allerdings könnte man noch bei den Brandschutzmaterialien und bei den Glasfaser-Gebäudeverteiltern Kosten sparen.

## Literaturverzeichnis

- [1] TKG, Verlegung von Glasfaser wird zur Pflicht <https://www.golem.de/news/breitbandausbau-verlegung-von-glasfaser-wird-zur-pflicht-1601-118780.html>, 2016, letzter Besuch 12.12.2021
- [2] MWG, MWG-Wohnungsgenossenschaft Magdeburg <https://www.mwg-wohnen.de/die-mwg/ueber-uns>, letzter Besuch 12.12.2021
- [3] MWG-Media GmbH, MWG-Media GmbH <https://www.mwg-wohnen.de/die-mwg/mwg-media-gmbh>, letzter Besuch 12.12.2021
- [4] engineerguys: Bill Hammaek, Fiber optic cables: How they work [https://www.youtube.com/watch?v=OMwMkBET\\_5I&t=2s](https://www.youtube.com/watch?v=OMwMkBET_5I&t=2s), 2012, letzter Besuch 13.03.2022
- [5] Loibner H, *Planungsleitfaden Breitband*, Breitbandbüro des BMVIT, Wien, 2018
- [6] cable.co.uk, Worldwide broadband speed league 2021 <https://www.cable.co.uk/broadband/speed/worldwide-speed-league/#highlights>, 2021, letzter Besuch 22.12.2021
- [7] TKG, §77k Netzinfrastruktur von Gebäuden <http://www.gesetz.de/gesetze.aspx?gesetz=77k-TKG#t1>, 2004, letzter Besuch 27.12.2021
- [8] tagesschau, Warum Deutschland hinterherhinkt <https://www.tagesschau.de/inland/internet-breitband-101.html>, 2019, letzter Besuch 22.12.2021
- [9] Bull E, *FTTH Handbuch Ausgabe 5*, Europe, Fibre to the Home Council Europe, 2012
- [10] Gerschau L (Hrsg.), *Strukturierte Verkabelung /Komponenten, Kriterien, Standards*, Bergheim: DATACOM-Fachbuchreihe, 1995
- [11] Stelter. W, *Glasfaseranschluss von Gebäuden und Wohnungen*, Oldenburg: Elektropraktiker, 2010
- [12] White Paper, *Brandschutzkabel erhöhen die Sicherheit*, Köln, ZVEI, 2018
- [13] Verordnung (EU) Nr. 305/2011 Des Europäischen Parlaments und des Rates, Ratgeber zur Installation von Glasfasernetzen in Gebäuden, Version 2.0 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02011R0305-20140616>, 2011, letzter Besuch 12.01.2022

- [14] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, *Bausteine für Netzinfrastrukturen von Gebäuden, Breitbandausbau hochgeschwindigkeitsfähiger Inhouse-Netze nach §77k TKG Abs. 4 (Neubau)*, Berlin, 2021
- [15] Deutsche Telekom AG, Ratgeber zur Installation von Glasfasernetzen in Gebäuden, Version 2.0 <https://www.telekom.de/hilfe/downloads/glasfaser-ratgeber.pdf>, 2020, letzter Besuch 02.03.2022
- [16] WBM, Plattenbau - Damals. Heute. Morgen <https://www.jeder-qm-du.de/ueber-die-platte/plattenbau-typen/m10/>, 2020, letzter Besuch 02.01.2022
- [17] Tosik, G. Pawel K. Mirynowska M., *Flexible Bend Insensitive Riser Cable for Fast FTTH Deployments*, Poland, Corning Cable System, RD Dept., 2009
- [18] Dr. Eberlein D, *Leitfaden Fiber Optic 2.Auflage*, Dresden, Dr. M. Siebert GmbH, 2012
- [19] FS|community, Ist G.652 Singlemode-Fiber die richtige Wahl für Sie? <https://community.fs.com/de/blog/is-g652-single-mode-fiber-your-right-choice.html>, 2019, letzter Besuch 02.03.2022
- [20] elektro.net, Anwendungsneutrale Kommunikationsnetzwerke <https://www.elektro.net/94394/anwendungsneutrale-kommunikationsnetzwerke/?payed=1>, 2018, letzter Besuch 02.03.2022