

# Glasfasern im Wohngebäude und in der Wohnung Enabling Connected Homes with Indoor Fibre Solutions

Anurag Jain, Veit Kölschbach

OFS Fitel LLC., Norcross, GA, USA, OFS Fitel Deutschland GmbH, Bonn

ajain@ofsoptics.com, vkoelschbach@ofsoptics.com

## Kurzfassung

Die wachsende Nutzung bandbreiteintensiver Dienste wie Video-Streaming, Videokonferenzen, Gaming, Telemedizin und Internet of Things, veranlasst Immobilieneigentümer und Wohnungsgesellschaften, sich in immer stärkerem Maße mit der Aufgabe zu befassen, ihr Eigentum „smart ready“ zu machen. Das bedeutet Gebäude zukunftssicher hinsichtlich der Anbindung an Datennetze auszulegen. Das Internet beeinflusst Tagesablauf und Lifestyle der Menschen in ihren Wohnungen in immer stärkerer Weise. Diese Trends spiegeln sich auf der Ebene der Kommunikationsinfrastruktur wider, die die Grundlage für alle diese Dienste darstellt. Der Marktanteil von optischen Glasfasern (LWL-Fasern) wächst schnell. Die Vorteile von Glasfasern liegen auf der Hand und sind bereits vielfach diskutiert worden. Dieser Aufsatz wird die Treiber und die Anforderungen an die Infrastruktur von Glasfasernetzen in Bestandsgebäuden und in Neubauten diskutieren.

## Abstract

With online video streaming, video conferencing, gaming, education, telehealth and the advent of the Internet of Things (IoT) creating a surge in application usage, real-estate developers and property owners are looking at emerging technologies to make their properties smart ready for the future. The lifestyle and Internet experience of residential tenants is constantly improving with an incredible amount of technology making its foray into their daily lives. The communications infrastructure is at the heart of such change, which is now accelerating the adoption of fibre optics both to and inside residences. This future proof technology with almost unlimited capacity, operating at the speed of light, allows telecom providers to service the insatiable demand for bandwidth by these high touch applications. This white paper will discuss the drivers, techniques and benefits of installing indoor optical fibre solutions in brownfield and new construction buildings.

## 1. Einleitung

Mehrgeschossige Wohngebäude und Bürogebäude (MDU = Multi Dwelling Unit) weisen sehr hohe Dichten an potentiellen Breitbandnutzern auf. In den Wohnungen sind es Videostreaming und Gaming mit hoher Bildauflösung (High Definition TV) und in Bürogebäuden sind es Videokonferenzen, sowie höchste Bildauflösung beispielsweise in medizinischen Anwendungen, die größte Bandbreiten erfordern.

Hinzukommen die wachsende Vernetzung von Elementen der Haustechnik für Smart Homes, die von der Bundesregierung und den Ländern vorangetriebene Digitalisierung der Verwaltungsdienste und stärkerer Einsatz digitaler Lehr- und Lernmedien. Ziel der Regierung ist, dass bis Ende 2022 alle Verwaltungsleistungen auch online in Anspruch genommen werden können [1].

Daher wird allerorten der Ausbau von durchgängigen Glasfasernetzen, Fibre-to-the-Home (FTTH) oder Fibre-to-the-Cabinet (FTTC), vorangetrieben und damit das existierende Kupferkabelnetz ersetzt. [2][3]. Dieser Aufsatz wird in erster Linie die Infrastruktur der Glasfasernetze in Gebäuden diskutieren, für die der Anschluss an das Glasfasernetz bereits realisiert ist.

## 2. Herausforderungen und Treiber

Die mitunter beeindruckend dicken Bündel von Kupferdatenkabeln in Gebäuden lassen bei vielen Eigentümern den Wunsch nach besseren Verkabelungslösungen aufkommen. Glasfaserkabel bieten nicht nur übertragungstechnische Vorteile wie große Bandbreite und Reichweite, sondern auch geringere Abmessungen, geringeres Gewicht und Flexibilität.

Die Kombination der Eigenschaften macht es möglich, optische Kabellösungen bereitzustellen, die Eigentümern und Mietern einige Probleme ersparen:

- dezente, unauffällige Kabelführung
- einfache, schnelle Installation,
- Monteure ohne Fachausbildung
- keinerlei Beeinträchtigung von Oberflächen, Anstrichen und Tapeten
- flexible Lösung für unterschiedlichste bauliche Gegebenheiten

Jede optische Verkabelungslösung muss so ausgelegt sein, dass Verteilung oder Unterverteilung möglich ist. Es kommen Gebäudeverteiler (GV) und gegebenenfalls Etagenverteiler (EV) zum Einsatz.

### 3. Realisierungsmöglichkeiten

Ist ein Gebäude an das Glasfasernetz eines Netzbetreibers angeschlossen, folgt der nächste logische Schritt, das Gebäude selbst mit Glasfasern zu versorgen.

Die Art der Gebäudeverkabelung variiert erheblich. Es gibt eine Reihe von Faktoren, die für verschiedene Gebäude zu spezifischen Lösungen führen:

- Gebäudetyp
- Neubau oder Bestand
- Verfügbarkeit von Schächten und Leerrohren
- Kabelverteilung
- Verkabelungslösungen

#### 3.1. Gebäudetyp

So schön Vielfalt im Allgemeinen ist, für die Verkabelung von Gebäuden sind damit individuelle, auf das jeweilige Gebäude abgestimmte Lösungen notwendig. Die Gebäude weisen unterschiedliche Architektur, Höhen oder Geschossanzahlen auf. Eine Einteilung in Gebäudeklassen findet man beispielsweise in der Landesbauordnung NRW. Die Spannweite geht vom Einfamilienhaus über Mehrfamilienhäuser bis hin zu Hochhäusern.

Aufgrund der vielen unterschiedlichen Gebäudevarianten ist es im Regelfall notwendig, vor den Installationsarbeiten eine Begehung durchzuführen, um eine passende Netzwerklösung zu finden.

#### 3.2. Neubau oder Bestand

Für Neubauten (greenfield) ist die effizienteste Art, eine optische Verkabelung zu realisieren, dann gegeben, wenn in der Bauplanung die Verkabelung bereits vorgesehen ist und diese gleichzeitig mit der Baumaßnahme installiert wird [4].

In genutzten Bestandsgebäuden (brownfield) hingegen bedeutet es für die Verkabelung einen wesentlich höheren Aufwand, geeignete Wege für die Kabelführung zu bestimmen. Sanierungen oder größere Umbaumaßnahmen bieten die Gelegenheit greenfield-ähnliche Bedingungen vorzufinden. Daher

hängt die Wahl einer geeigneten Verkabelung auch von der Bauphase ab.

#### 3.3. Verfügbarkeit von Rohren

Das Vorhandensein von belegten Rohren oder Leerrohren im Gebäude ist ein weiterer bestimmender Faktor für die Verkabelung. In manchen Fällen können zusätzlich zu vorhandenen Kupferkabeln geeignete Glasfaserkabel in die Rohre eingebracht werden. Aber es gibt auch zahlreiche Fälle, in denen keine Rohre zur Verfügung stehen. Dann werden andere Verlegungsarten notwendig oder es müssen Kabel an der Außenseite des Gebäudes, Fassaden-Kabel, verlegt werden.

#### 3.4. Kabelverteilung

Die Glasfaserkabel müssen im Gebäude zu den einzelnen Wohnungen geführt werden. Es können Punkt-zu-Punkt und Punkt-zu-Multipunkt Topologien abgebildet werden. Dazu können in den Verteilern Rangierfelder, passive optische Splitter oder Spleißverbindungen eingesetzt werden.

Übliche Strukturen für die Kabelverteilung sind:

- a. Zentrale Verteilung  
Beispielsweise befindet sich im Kellergeschoss ein Gebäudeverteiler, der für hohe Faser- und Kabelanzahlen ausgelegt ist. Von hier aus werden Kabel mit geeigneter Faserzahl direkt in den verschiedenen Etagen zu den einzelnen Wohnungen bzw. Nutzern geführt.
- b. Unterverteilung  
Kabel mit höherer Faseranzahl werden zu einer Etage geführt und dort wird auf einzelne Kabel für jede Wohnung umgesetzt. Dies kann in einem Etagenverteiler geschehen oder in einem Sammelpunkt, in dem die Fasern gespleißt werden.
- c. Mischformen von a und b

#### 3.5. Verkabelungslösung

Es gibt unterschiedliche Varianten für Gebäudeverkabelung. Die Randbedingungen und Vor- und Nachteile der einzelnen Lösungen gehen aus Tabelle 1 hervor. Lösungsvarianten mit konfektionierten Kabeln und Verbindungskabeln sowie eine nahezu „unsichtbare“ Verkabelungslösung mit Verklebung sollen genauer betrachtet werden.

Wegen der besonderen Bedeutung soll auch auf die zum Einsatz kommenden Fasern eingegangen werden. Der verfügbare Platz für Kabel ist begrenzt, Dosen und Bauteile sollen kleine Abmessungen aufweisen, Rohre können teilweise belegt sein oder weisen scharfe Biegungen auf. Beeinträchtigungen von Sicht- oder Oberflächen müssen vermieden werden. All diese Anforderungen machen die biegeunempfindliche Einmodenfaser zur Glasfaser der Wahl. Besonders die extrem biegeunempfindlichen Fasern gemäß ITU-T

G.657.B3 können hier ihre Vorzüge zur Geltung bringen.

	Installation Technique	Riser, Hallway, Tenant	Discrete	Need Conduit	Non-disruptive to Decor	Fast Install Time	Flexible
Air Blown Cables	Equipment Air blows connectorized cable in conduit	X X X		X			-
Pushable Cables	Push and pull of connectorized cable in conduit	X X X	only if conduit exists	X	only if conduit exists	only if conduit exists	-
Assemblies	Pull connectorized multifibre or single fibre cable in conduit	X X X		X			-
Track System	Raceway with multifibre or single fibre cable	- X X	X	-	X	X	X
Adhesive System	Glue invisible multifibre or single fibre cable	X X X	X	-	X	X	X
Micro Module	Pull cables in risers only for fibre breakout	X - -	X	-	X	X	X

Tabelle 1 Mögliche technische Lösungen für die Gebäudeverkabelung

#### 4. Konfektionierte Kabel und Anschlusskabel

Den Idealfall stellt die Verkabelung des Gebäudes in der Bauphase dar. Ein Netzbetreiber und Baufirmen arbeiten zusammen und erstellen eine durchgängige Verbindung bis in die Wohnräume. Beim Einzug in die fertige Wohnung muss sich der Kunde nur noch mit einem Netzbetreiber in Verbindung setzen, um den Anschluss in Betrieb zu nehmen.

Für den Idealfall sind vorkonfektionierte Kabel und Bauteile eine sehr kostengünstige Lösung, um vom Gebäudeverteiler in jede Etage und von dort mit Anschlusskabeln in die Wohnungen zu gelangen. Genutzt werden können Schächte, vorhandener Raum in Decken und vorinstallierte Leerrohre. Die Kabel können ohne Stecker, einseitig oder beidseitig konfektioniert sein.

Für eine einfache "plug and play" Lösung sind beidseitig konfektionierte Kabel die beste Wahl. Diese Lösung setzt auch die geringsten Fachkenntnisse für die Installation voraus.

Bild 1 zeigt schematisch die Verkabelung von einem Etagenverteiler mit Anschlusskabeln zu den einzelnen Wohnungen.

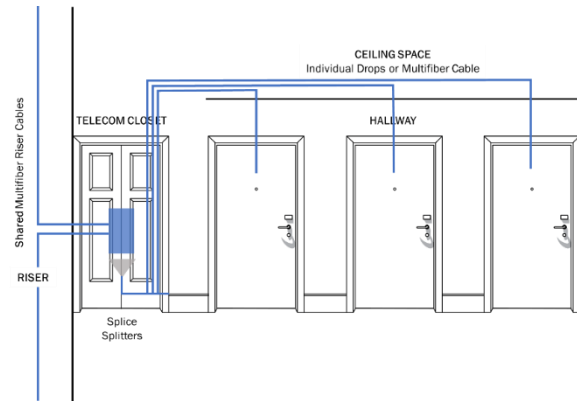


Bild 1 Strukturierte Verkabelung im Neubau

#### 5. Kabel mit Verklebung

In Bestandsgebäuden ist im Allgemeinen ein größerer Aufwand nötig, um geeignete Wege für die Kabelführung zu finden. Der Schlüssel für eine hohe Akzeptanz seitens der Eigentümer, Vermieter und Mieter ist dabei möglichst keine oder sehr geringe Beeinträchtigung des Erscheinungsbildes von Wänden oder Sichtflächen.

2009 hat OFS eine nahezu unsichtbare Verkabelungslösung entwickelt. Zunächst wurde ein System für die Verkabelung in einer Wohnung basierend auf einer Faser entwickelt. Später wurde das System um eine höherfaserige Horizontal-Verkabelung für die Etagen erweitert. Das Verlegen beider Kabel ähnelt dem Verfugen mit Silikon-Kartuschen. Ein sehr kleines Kabel wird entlang der Kanten von Wänden, Decke oder Fußleiste mit einem Kleber befestigt.

##### 5.1. Fasertypen

Beide Kabel, das für die Wohnung und das für den Gebäudeflur, basieren auf extrem biegeunempfindlichen Fasern von OFS. Die Fasern von OFS übertreffen hinsichtlich Biegeverhalten die Anforderungen der Norm G.657.B3. Daher können die Kabel um Ecken geführt werden und die Abmessungen der Gehäuse für Abzweigdosen und Gf-TA (Glasfaser-Teilnehmer-Abschlussdose) können entsprechend kleine Bauformen aufweisen. Die Norm sieht als kleinsten Radius für die Biegeprüfung einen Wert von 5,0 mm vor. Die OFS G.657.B3 Faser ist zusätzlich für einen Biegeradius von 2,5 mm spezifiziert. [5].

Die Faser ist mit der G.652.D Faser im Sinne der Norm kompatibel. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die maximale Zusatzdämpfung bei Biegung der Fasern.

Radius des Biegedorns	Biegezusatzdämpfung
5 mm, 1 Windung	≤ 0,10 dB bei 1550nm ≤ 0,20 dB bei 1625nm
2,5 mm, 1 Windung	≤ 0,20 dB bei 1550nm ≤ 0,30 dB bei 1625nm

Tabelle 2 Biegeverlust (Makrobiegung) der OFS G.657.B3- Faser

### 5.2. EU-Bauproduktenverordnung (BauPVO)

Die EU-Bauproduktenverordnung sieht harmonisierte Anforderungen hinsichtlich des Brandverhaltens von Innenkabeln vor. Jedes EU-Mitgliedsland legt für die verschiedenen Gebäudetypen und Nutzungsarten die Anforderungen innerhalb der vorgegebenen Euroklassen für die Kabel fest. Das Ein-Faser-Kabel und das mehrfasrige Kabel für die Horizontalverkabelung erfüllen die Anforderungen nach B2ca.

### 5.3. Wohnungsverkabelung

Innerhalb der Wohnung wird ein Modul in der Nähe der ONT (ONT = Optical Network Terminal) platziert. Das Modul bildet die Gf-TA. Üblicherweise wählt man eine Stelle neben einer 230-Volt-Steckdose. Das Modul nimmt eine Spule mit einem konfektionierten Kabel mit G.657.B3 Faser auf.

Im Fall der Ein-Faser-Lösung besteht das Kabel aus einer Ader mit einem Durchmesser von 900 µm. Dieses nahezu unsichtbare Kabel weist ein hervorragendes Verhalten bei engen Biegungen auf und erlaubt eine Verlegung um viele Ecken. Beispielsweise sind Installationen mit 30 Innenbögen und 30 Außenbögen möglich. Wobei der Bogen jeweils 90° und der minimale Biegeradius 2,5 mm betragen.

Das Kabel wird von der Spule abgewickelt und mit dem vorkonfektionierten Stecker in ein weiteres Modul (POE = Point of Entry) geführt, welches sich außerhalb der Wohnung im Gebäudeflur oder Treppenhaus befindet.

Für die Installation wird ein wasserbasierter Kleber entlang der Linien aufgebracht, auf denen das Kabel geführt werden soll, und das Kabel an den Kleber angedrückt. Begonnen wird auf der POE Seite. Eine genaue Messung der Kabellänge ist nicht nötig, da die verbleibende Mehrlänge von der Spule aufgenommen werden kann. Das zweite Ende des vorkonfektionierten Kabels wird dann in die Kupplung im Modul gesteckt. Damit kann die ONT mit einem Patch-Kabel angeschlossen werden. Der Kleber härtet nach rund 30 Minuten aus und wird dann klar.

Bild 2 zeigt die Verbindung von dem POE zur ONT und dazwischen das Modul mit beidseitig konfektioniertem Kabel.

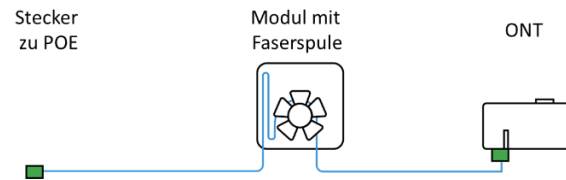


Bild 2 Verbindung zwischen POE und ONT

### 5.4. Flur-/Treppenhausverkabelung

Auch für die Verkabelung im Flur und Verteilung zu den einzelnen Wohnungen ist ein nahezu „unsichtbares“ Kabel entwickelt worden. Abhängig von der Faseranzahl hat das Kabel einen Durchmesser von 2,0 mm oder 2,3 mm. Es kann maximal 16 OFS G.657.B3-Fasern mit 250 µm Coating aufnehmen.

Sind Rohre oder Schächte im Steigebereich vorhanden, können die Kabel konventionell verlegt werden.

Auf einer Etage (horizontaler Bereich) werden die Kabel ganz ähnlich verlegt wie bei der Wohnungsverkabelung. Dadurch bleibt die Zahl unterschiedlicher Komponenten gering. Auch der Arbeitsablauf ist sehr ähnlich. Durch die extrem guten Biegeeigenschaften der Faser können die Kabel um viele Ecken geführt werden, ohne das Zusatzdämpfungen auftreten, die die Übertragung beeinträchtigen können.

Wenn festgelegt ist, wo die POE-Dosen für eine Anzahl von Wohnungen angebracht werden sollen, wird das Kabel ausgelegt und provisorisch fixiert. Für jeden POE wird eine bestimmte Mehrlänge empfohlen, die in dem POE-Modul abgelegt wird. Durch einen Mittenanschnitt wird die für die jeweilige Wohnung bestimmte Faser aus dem Kabel herausgeführt. Mit einem Fusionsspleiß wird ein Pigtail angeschweißt oder, wenn das Dämpfungsbudget es zulässt, ein mechanischer Spleiß ausgeführt. Damit ist für die Wohnungsverkabelung die Möglichkeit einer einfachen „plug and play“ Lösung gegeben.

Bild 3 zeigt das Schema für die horizontale Verkabelung vom Etagenverteiler zu den POE mit dem nahezu „unsichtbaren“ Kabel. Nach der Installation ist das Kabel unauffällig und beeinträchtigt das Erscheinungsbild des Flures in keiner Weise.

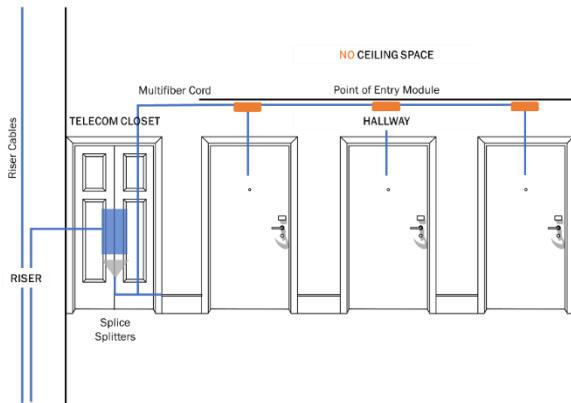


Bild 3 Horizontale Verkabelung im Bestandsgebäude (Verkabelung in der Bauplanung nicht vorgesehen)

## 6. Beispiele aus der Praxis

In Bild 4 sind mehrere Fotos vor und nach der Installation zusammengestellt. Die Bilder wurden kürzlich bei einer Installation für 6 Wohneinheiten in Irland aufgenommen. Die Kabelführung ist unauffällig. Das Erscheinungsbild des Flures und des Treppenhauses ist nicht beeinträchtigt.

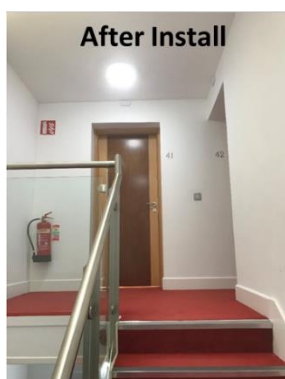
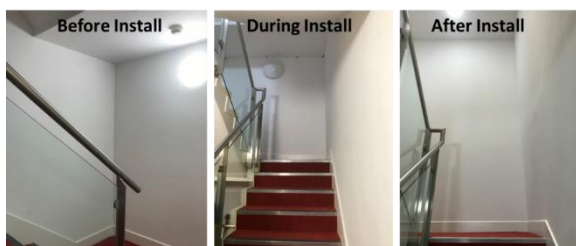
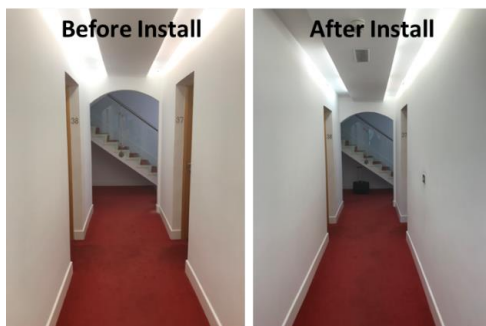


Bild 4 Fotos von einem Installationsbeispiel

Für die Hauptbereiche des Gebäudes wird die Verkabelung im Folgenden kurz erläutert.

- Erdgeschoss (37 und 38):* Das Innenkabel wird entlang der Decke geführt, um die beiden gegenüberliegenden Wohnungen zu versorgen. Dann wird es zum Anschluss der Wohnungen in den oberen Etagen ins Treppenhaus geführt. In jeder POE ist etwa 1 m Mehrlänge abgelegt.
- Treppenhaus:* Das Kabel wird entlang der Treppenwangen und entlang der Wände über 2 Etagen geführt. Während der Installation wird das Kabel provisorisch mit Malerkrepp fixiert (mittlere Abbildung).
- Zweite Etage (41 und 42):* Die letzte Wohnung auf der zweiten Etage wurde nach allen anderen Wohnungen angeschlossen. Es wurde ein mechanischer Spleiß eingesetzt. Die gemessene Gesamtdämpfung für die Strecke vom Gf-AP (Glasfaser-Abschlusspunkt) im Keller bis zur Gf-TA im zweiten Stock beträgt 0,6 dB bei der Messwellenlänge 1550 nm. Das Kabel wurde über 150 Biegungen geführt.

Der Vergleich verschiedener Installationen in Europa zeigt, dass das Leistungsbudget bei Verwendung eines Pigtails oder eines Splice-on-Steckers etwa 0,3 dB besser ist als beim Einsatz des mechanischen Spleißes. Die Entscheidung, welche Technik zum Einsatz kommt, muss der Dienstleister aufgrund technischer und wirtschaftlicher Erwägungen treffen [6].

Die Bewohner zeigten sich mehrheitlich angetan von der Technik und dem gesamten Ablauf der Installation. Dieses Beispiel bestätigt die bisherige Erfahrung, dass es eine hohe Akzeptanz für die beschriebene Lösung gibt. Im Anschluss an die Hausinstallation sendet der Netzbetreiber ein Service Team für die Installation des 900 µm-Kabels in den Wohnungen, für die Mieter oder Eigentümer einen Anschluss beauftragt haben.

Als zweites Beispiel soll kurz auf die Verkabelung eines Hotels hingewiesen werden, die eine wesentlich komplexere Aufgabe darstellt. Der Autor hat kürzlich an einer Arbeitsgruppe mitgewirkt, die Lösungen für Hotelbetriebe analysiert hat [7]. Es hat sich gezeigt, dass auch in diesem Fall die besonderen Eigenschaften der nahezu „unsichtbaren“ Lösung vorteilhaft sind:

- ausreichendes Leistungsbudget durch extrem biegeunempfindliche Faser
- dezente, unauffällige Kabelführung
- einfache, schnelle und saubere Installation

## 7. Zusammenfassung

Die wachsende Nutzung bandbreiteintensiver Dienste wie Video-Streaming, Videokonferenzen, Gaming, Telemedizin und Internet of Things, lässt die Nachfrage nach Glasfaseranschlüssen immer stärker wachsen.

Dabei sind die Anforderungen so unterschiedlich, dass für die Verkabelung individuelle, auf das jeweilige Gebäude abgestimmte Lösungen notwendig sind.

Dieser Aufsatz stellte die wesentlichen Treiber, Anforderungen an die Infrastruktur für Neubauten und Bestandsgebäude sowie verschiedene abgestimmte Verkabelungslösungen vor. Ausführlich wurde auf die Verkabelung in Bestandsgebäuden mit einem nahezu „unsichtbaren“ Kabel eingegangen. Die Verkabelung wird vom menschlichen Auge praktisch nicht wahrgenommen. Diese Lösung ist für alle Gebäude geeignet, in denen in der Bauphase keine Planung für die optische Verkabelung gemacht wurde und beispielsweise eine ausreichende Vorhaltung von Leerrohren nicht gegeben ist. Die Akzeptanz seitens Mieter und Eigentümer ist als hoch anzusehen, da das Erscheinungsbild der Wohnung unberührt bleibt.

## Literatur:

- 1) Digitalisierung gestalten; Umsetzungsstrategie der Bundesregierung; März 2019
- 2) Copper Switch-Off A European Benchmark, FTTH Council Europe, 13. März 2019
- 3) Openreach Consults UK Broadband ISPs on Copper Switch-Off, ISP Review, March 21, 2019
- 4) EN 50173-4:2018 (Informationstechnik - Anwendungsneutrale Kommunikationskabelanlagen - Teil 4: Wohnungen; Deutsche Fassung EN 50173-4:2018, VDE 0800-173-4)
- 5) OFS EZ-Bend Single Mode Optical Fiber, <https://fiber-optic-catalog.ofsoptics.com/Asset/EZ-Bend-Fiber-155-web.pdf>
- 6) Comparison: Splice-on vs mechanical splice on connectors, Cabling Installation and Maintenance, Connectivity, October 2012
- 7) Fiber Deep Alternative Architectures, HTNG, September 1, 2019