Breitband-Netzwerktechnik für Wohnungen und Gebäude

- Faser-Funk-Lösungen für die Gigabit-Gesellschaft -

WHITE PAPER **25. Mai 2018**

Das Projekt F2NET - kurzgefasst

Die globalen gesellschaftlichen Trends, wie z.B. die alternde Gesellschaft, die Digitalisierung, die Sicherheit und die Gesundheit forcieren den Trend, immer und überall erreichbar zu sein. Daten- und Kommunikationsnetze sind ein notwendiger Baustein, um die Anforderungen, die die gesellschaftlichen Trends setzen, zu erfüllen.
Das ZIM-Kooperationsnetzwerk „**F2NET – Strukturierte Faser-Funk-Netzwerke in Gebäuden**“ widmet sich dem konkreten Einsatzgebiet der Vernetzung innerhalb von Wohnungen und Gebäuden und adressiert dabei insbesondere den Trend, der unter dem Begriff „SmartHome“ zusammengefasst ist und die Basis für zahlreiche Lösungen und Hilfestellung verschiedener gesellschaftlicher Herausforderungen erst realistisch ermöglicht. Hierbei werden durch die Integration zweier Übertragungsmedien die spezifischen Vorteile von optischen Kommunikationsnetzwerken (wie hohe Bandbreite, Stör- und Abhörsicherheit) und Funk-basierten Netzwerken (wie Mobilität, kein Eingriff in bestehende Bausubstanz) in einem gemeinsamen Netzwerk verbunden. Dies ist das erste integrierte Netzkonzept, das die Möglichkeiten der bisher bestehenden alternativen Netze zu einem Netz vereinheitlicht: „**Ein Netz für alle Dienste**“.
Ziel des Projektes ist, über die Weiterentwicklung der technologischen Basis und die Umsetzung einer Marketingstrategie F2NET in einem ersten Schritt in eine Beratungs- und Planungsgesellschaft - F2NET Forum bzw. Alliance - zu überführen, die dann in einem zweiten Schritt ein Systemhaus gründet, das für die Errichtung und den Betrieb von Gebäudenetzen eigenwirtschaftlich zuständig ist.

Die Partner im F2NET:

Wilhelm Rutenbeck GmbH & Co. KG
Netzwerktechnikum GbR
W+P Products GmbH
ITA/RWTH Aachen
Hochschule Ruhr-West
Techn. Hochschule Nürnberg
POFnetz GmbH
Bentz Consulting GbR
Hochschule Harz
HarzOptics GmbH
DieMount GmbH
Teleconnect GmbH
Sojitz Europe plc.

Inhaltsverzeichnis

1. Lösungen für Gigabit-Netzwerke in Gebäuden

2. Zukünftiger Bandbreite-Bedarf

3. Technologische Handlungsfelder

3.1 Passive Komponenten

3.1.1 Optisches Backbone - Lichtwellenleiter (LWL)
3.1.2 Kupferleitungen
3.1.3 Leerrohre und Hybrid-Kabel
3.1.4 Splitter und Spleiße
3.1.5 WDM-Komponenten

3.2 Aktive Komponenten

3.2.1 Funk-basierte Übertragung
3.2.2 Optisches Backbone mit integrierten LAN und WLAN-Accesspoints (WLAN-Mesh-Netzwerk)
3.2.3 POF-Medienkonverter
3.2.4 Switche und SFPs

3.3 Systemintegration

3.3.1 Netzebenen und Topologien im Gebäudebereich
3.3.2 IP-Heimnetzwerk
3.3.3 POF-Heimnetz mit aktiver Optoelektronik
3.3.4 Home-PON
3.3.5 Radio over Fiber (RoF)
3.3.6 Visible Light Communication (VLC)

4. Organisatorische Handlungsfelder

4.1 Etablierung des Netzwerkes

4.2 Zertifizierung und Standardisierung

4.3 Dienstleistung und Schulung

4.4 Demonstrations- und Anwender-Zentrum

4.4.1 Demo-Koffer
4.4.2 Demo-Wand
4.4.3 Anwenderzentrum

5. Innovationen und Projektideen

5.1 Wirtschaftliche Ziele
5.2 F&E-Themen
5.3 Weitere Ziele

6. Marketingkonzept

6.1 USPs von Faser-Funk-Netzwerken

6.2 Zielgruppen

6.3 Multiplikatoren

6.4 Medien

6.4.1 Projekthomepage
6.4.2 F2NET-Vernetzungs- und Austauschplattform
6.4.3 Social Media
6.4.4 Newsletter
6.4.5 Technologie-Sonderausgabe in Zeitungen
6.4.6 Anzeigen, Beileger
6.4.7 Messe- und Ausstellungsaktivitäten, Demonstratoren
6.4.8 Broschüren, Faltblätter, Flyer
6.4.9 Mailings
6.4.10 F2NET-Magazin

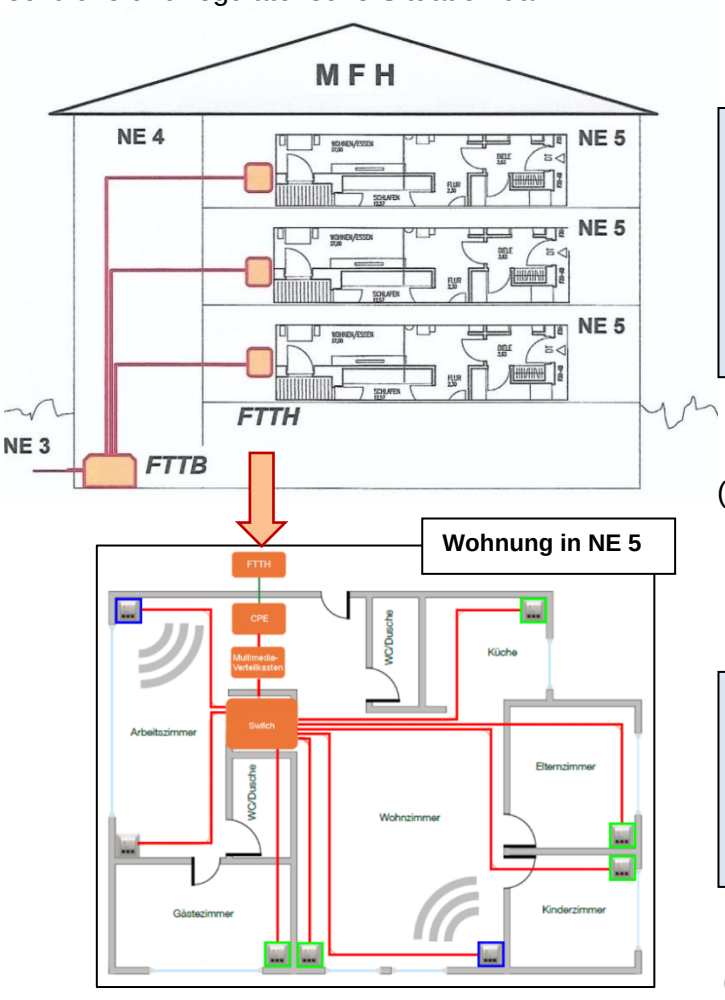
7. Zusammenfassung

Referenzen

Danksagung

1. Lösungen für Gigabit-Netzwerke in Gebäuden

Heutige Gebäudenetze aus einem Mix passiver Kupfer-Verkabelung und Funkstationen in den Wohnungen sind bei zunehmenden Glasfaser-Hausanschlüssen (FTTB = Fiber To The Building) und wachsender Mobilität nicht mehr zeitgemäß. Bis heute werden i. A. getrennte Datennetze für Anwendungen wie Fernsehen (Koaxialkabel), Telefon (Doppeladerleitung), Internet (Cat. 5-7 Kabel, WLAN) und Steuerung / Automatisierung (z.B. KNX) verwendet. Selbst wenn – wie in naher Zukunft erwartet und politisch gewollt – der Ausbau des Glasfasernetzes bis in die Wohnung fortschreitet (FTTH = Fiber To The Home), bleibt insbesondere in Mehrfamilienhäusern (MFH) die vertikale Anbindung zwischen dem Übergabepunkt im Keller an die einzelnen Wohnungen eine Herausforderung, will man die auf der Glasfaser (GOF) angebotene Bandbreite auch in den Wohnungen verfügbar haben. Im Gegensatz zu Einfamilienhäusern (EFH), bei denen FTTB und FTTH praktisch identisch sind (keine NE 4), stellen die Eigentumsverhältnisse in MFH zudem eine besondere rechtliche und regulatorische Situation dar.



Info: Im Gebäudebereich liegt i. A. die strukturierte Verkabelung vor; sie wird in Primär-, Sekundär- und Tertiärbereich bzw. Netzebenen eingeteilt. Zu unterscheiden sind Zugang zum Gebäude (Netzebene 3, NE 3), Netzabschnitt Keller bis in die Wohnung (Netzebene 4, NE 4) und Netz innerhalb der Wohnung (Netzebene 5, NE 5).

(a)

Info: FTTH bedeutet Glasfaser (GOF) bis in die Wohnung zum Wohnungs-Übergabepunkt (WÜP); Customer Premises Equipment (CPE) steht für Teilnehmernetzgerät und bezeichnet ein Teilnehmer-Endgerät in einem Computer- oder Telefonnetz.

(b)

Bild 1.1: (a) Mehrfamilienhaus (MFH) mit Netzebenen und FTTB/FTTH-Anschluss; (b) Beispiel einer zukünftigen Netzwerkstruktur für eine Wohnung (rot: optische Faser als Backbone; blau: Funkstation; grün: Multimedia (MM)-Dose)

Die Partner des Kooperationsnetzwerks F2NET bieten für diese Fälle zukunftsorientierte Lösungen an, bei denen (a) Lichtwellenleiter (LWL) konsequent als Backbone und (b) integrierte aktive Faser-Funk-Access Points (APs) zum Einsatz kommen. Diese Lösungen, die auf optischen Fasern und **einem** Daten-Netzwerkprotokoll (hier Ethernet) basieren, vereinfachen ganz allgemein die unterschiedlichen Strukturen von Datennetzen, so dass bisher ungenutzte Potenziale gehoben und Kosten optimiert werden können.

Aus Sicht des Nutzers ist der Hintergrund der hier angebotenen hybriden Faser-Funk-Systemen die allseits bekannte Tatsache, dass in heutigen Netzen die beim Kunden in den Wohnungen verfügbare Bandbreite letztlich durch die Bandbreite der Funkzellen begrenzt ist, die sich alle Teilnehmer teilen müssen. Auch ist die Reichweite von Funkstationen durch Hindernisse wie z. B. Wände beschränkt. Hinzu kommen anhaltende Diskussionen und Empfehlungen zu den gesundheitlich unbedenklichen Intensitäten elektromagnetischer Strahlung.

In diesem Projekt setzt F2NET daher auf eine möglichst kleinteilige Funkzellenstruktur (z.B. eine oder mehrere Funkzellen pro Raum, sog. „Femtozellen“). Als Verbindung dieser Funkzellen dient dann vorzugsweise ein optisches Backbone-Netzwerk, welches die einzelnen Funkzellen untereinander und bis zum nächsten GOF-Anschluss breitbandig verbindet. Für das Backbone-Netzwerk werden im Einzelfall (z. B. bei Bestands-Immobilien) grundsätzlich die unterschiedlichen optischen und elektrischen Medien miteinander verglichen und in Bezug auf die Anwendung bewertet. Eine wichtige Grundlage hierfür sind die bisher erzielten Ergebnisse aus den Diskussionen der sog. „MyPOF“-Gruppe (POF steht für Polymer optische Faser), einer Fachgruppe des OpTech-Net e. V. (www.optech-net.de).

Im Gegensatz zu Nutzern in EFH kommt auf die Bewohner/Eigentümer in MFH - abgesehen von den Eigentumsverhältnissen – ein technisches Problem zu, das aus politischen Gründen an Bedeutung gewinnt: Im vereinbarten Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD heißt es zwar: „Deshalb wollen wir den flächendeckenden Ausbau mit Gigabit-Netzen bis 2025 erreichen. Wir wollen den Netzinfrastrukturwechsel zur Glasfaser. Unser Ziel lautet: Glasfaser in jeder Region und jeder Gemeinde, möglichst direkt bis zum Haus…. Diese öffentlichen Fördermittel werden wir so einsetzen, dass ausschließlich Ausbauabschnitte förderfähig sind, die mit Glasfasertechnologie ausgebaut werden“ [1], dann wird heute aber oft die Frage gestellt: **Wenn die Glasfaser im Keller liegt, wie komme ich dann weiter bis in die Wohnung?** Die zukunftssichere Antwort von F2NET ist: **Optimal mit der Glasfaser.**

Für den Ansatz von F2NET ist diese Lösung von zentraler Bedeutung und im Hinblick auf die „Digitalisierung“ in Deutschland ebenfalls höchst aktuell. Die alternative Lösung ist allerdings oft: Nutzung der (evtl. schon im Bestand) vorhandenen Kupferleitungen, die heute durch die G.hn-Technologie Gbit/s-Datenraten erlaubt und ursprünglich speziell für Heimnetze entwickelt wurde. Wenn dann der Übergabepunkt „Glasfaser-Anschluss“ in der Wohnung liegt (FTTH), greift man in der Wohnung (Heimnetz) bis heute üblicherweise ebenfalls zum Kupfer, und ein WLAN wird über einen Router zentral zur Verfügung gestellt. Wir von F2NET installieren dagegen vorzugsweise auch in der Wohnung Lichtwellenleiter (LWL) als Grundstruktur mit integrierten Funkstationen und Multimediadosen mit Datenraten von mind. 1 Gbit/s am Wohnungsübergabepunkt (WÜP). Dies ist **zukunftssicher, bedeutet höhere Funktionalität und optimale Qualität, reduziert den Energieverbrauch und steigert den Wert der Immobilie.**

Info: Der G.hn-Standard – auch als „HomeGrid-Standard“ (http://www.homegridforum.org/) bezeichnet - erlaubt die digitale Übertragung über Strom-, Telefon- und Koaxialkabel mit Datenübertragungsraten von bis zu 1 Gbit/s, in Zukunft evtl. bis zu 10 Gbit/s. Vorteilhaft ist aus Sicht des F2NET, dass der G.hn-Standard heute nicht nur bei Kupfer- sondern auch bei optischen Übertragungsmedien verwendet wird - wie der POF, der Glasfaser (GOF) und sogar der optischen drahtlosen Kommunikation.

Dieses Konzeptpapier basiert auf bereits vorliegenden SWOT-Analysen zu den Partnern und den vertretenen Technologiefeldern [2], einer breiten Marktanalyse zu Netzwerktechnologien [3] und einer ausführlichen Bewertung zum Stand der Technik [4] sowie einer Analyse der Wettbewerber [5]. Beiträge aus [6] zum Thema Roadmap und Marketing-Strategie sind in diesem Papier aufgenommen worden. Dabei hat F2NET folgende Zielmärkte identifiziert:

a. Private Gebäude >> Schwerpunkt EFH
b. Wohnungswirtschaft >> MFH und Campusanlagen
c. Gewerbeimmobilien >> Büros und KMUs
d. Sonderbauten >> Hotels, Schulen, Seniorenheime, Krankenhäuser
e. Transportobjekte >> Schiffe, Bahnen, Busse
f. Industrie >> Fertigungen

Info: Das im Jahr 2016 verabschiedete DigiNetzGesetz* bildet für die Wohnungswirtschaft als Zielmarkt eine wichtige Grundlage, da es den Weg zum Ausbau digitaler Hochgeschwindigkeitsnetze klar erleichtert.
*DigiNetzG § 77k "**Netzinfrastruktur von Gebäuden**", Bundesgesetzblatt vom 09.11.2016

Die Märkte a. und b. der Wohnungswirtschaft stehen im Mittelpunkt. Die Lösungen werden sich aber auch über Module auf die Bereiche c. und d. übertragen und extrapolieren lassen. Die Märkte e. und f. müssen in jedem Fall gesondert betrachtet werden.

2. Zukünftiger Bandbreite-Bedarf

Ein weiterer Treiber der Handlungsfelder im F2NET stellt die zunehmende Breitband-Penetration von Haushalten in der EU dar, die bis 2020 eine Durchdringung von durchschnittlich 20 % erreichen soll. Ihr zugrunde liegt die wachsende Präsenz von vernetzten Endgeräten und Diensten, die diese Bedarfe hervorrufen. Wie in [5] beschrieben, lassen sich heute vier Anwendungen erkennen, bei denen Breitband-Anschlüsse erforderlich sind [7]:

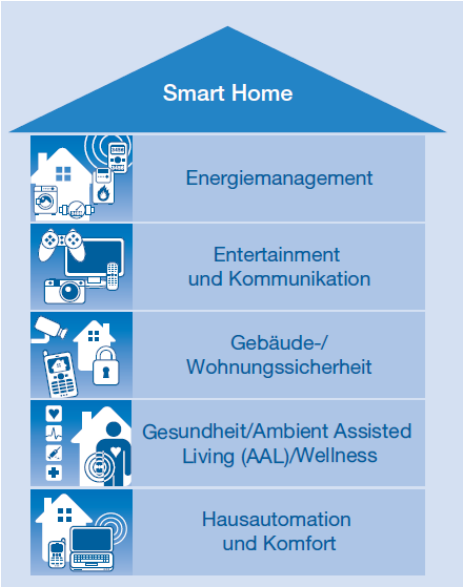
- Zugriff auf Daten in der Cloud
- Download von umfangreichen Software-Updates
- Video- und Audio-Streaming
- private Remote- und VPN-Zugänge
- symmetrische Verbindungen

Hinzu kommt, dass die Treiber inzwischen auch die Netzbetreiber selbst sind, die z. B. unter dem Begriff „Triple Play" zum Vollanbieter für Internet, Telefonie (VoIP) und Fernsehen (IPTV, Video on Demand) über einen Anschluss mutieren. Was früher zwangsläufig über mehrere Übertragungsmedien, Systeme und Anbieter verteilt war, soll in Zukunft mehr und mehr von einem einzigen Anbieter als „Multimedia-Anwendungen" kommen.

Und in einer Studie der USA wurden insgesamt 1.464 Experten nach ihrer Einschätzung zu sog: "***New killer apps in the gigabit age"*** bis zum Jahr 2025 befragt. Etwa 86% der Antworten waren JA zu folgenden Themenbereichen – in Kürze [8]:

- Der Wunsch nach dem "Zusammensein" im privaten und auch beruflichen Umfeld zu jeder Zeit und an jedem Ort
- Der Einsatz von „Augmented Reality" (AR) und „Virtual Reality" (VR) durch Simulation der Umwelt
- Die Mensch-Maschine-Verbindung für personalisierten Informationstransfer einschl. Dokumentation und Koordination in Realzeit, bis zu Industrie 4.0
- Die Bereiche Gesundheit, Medizin und Bildung
- Internet of Things (IoT), künstliche Intelligenz und neue digitale Werkzeuge

Viele dieser Themenfelder adressieren – wie oben gesagt - insbesondere auch den Trend, der unter dem Begriff „SmartHome" zusammengefasst ist und über die Vernetzung innerhalb von Gebäuden die Basis für zahlreiche Lösungen und Hilfestellung verschiedener gesellschaftlicher Herausforderungen erst realistisch ermöglicht.



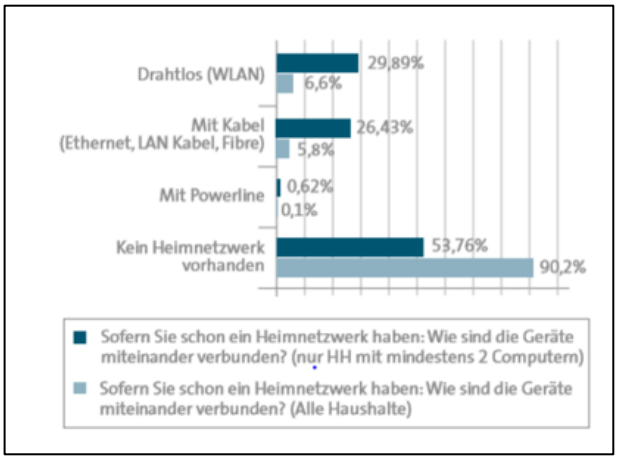


Bild 2.1: Szenarien im Smart Home und Technologien von Heimnetzen nach Bitkom (https://www.bitkom.org/); U. Pint, „Verkabelungsszenarien im Smart Home“, 12. ITG-Fachkonferenz Breitband-Versorgung in Deutschland, 18.-19. April 2018, Berlin [9]

Die folgenden Kapitel fassen unter der Zielsetzung einer aktuellen Roadmap zunächst die technologischen und anschließend die organisatorischen Handlungsfelder zusammen, die dann in einem weiteren Kapitel Ausgangspunkt der Innovationsstrategie und Basis zukünftiger Projekte sind. Darauf aufbauend wird abschließend ein Marketingkonzept dargestellt, welches die Schritte beschreibt, die notwendig sind, um die F2NET-Technologie den verschiedenen Zielgruppen näher zu bringen.

3. Technologische Handlungsfelder

Im Bereich der technologischen Handlungsfelder sind passive und aktive Komponenten einerseits und die Systemintegration andererseits von Bedeutung. Im Folgenden werden die für das Produkt „F2NET“ jeweils relevanten Komponenten und Netzwerktechnologien mit Zukunftspotential - **mind. 1 Gbit/s am Wohnungs-Übergabepunkt (WÜP) und vorzugsweise ebenfalls in der Wohnung** - zusammengefasst. Dann werden die aus dem Stand der Technik abgeleiteten organisatorischen Handlungsfelder beschrieben, die in konkrete Projektideen münden.

3.1 Passive Komponenten

Eine zentrale Rolle in Faser-Funk-Netzen spielt zunächst das Übertragungsmedium, das leitungsgebunden (LWL, Faser) und auch drahtlos sein kann (Funk). Die Partner von F2NET haben sich in der Diskussion darauf geeinigt, dass alle Übertragungsmedien (POF, GOF, Koaxial, Kupfer oder Funk - auch optisch) als gleichwertig, aber auch in hybrider Form zu betrachten sind; die verschiedenen Medien stellen lediglich Alternativen dar, im Mittelpunkt stehen immer die Kundenanforderungen und Anwendungen, d. h. Zielmärkte. Bei der Einbindung von Kabel-TV-Netzbetreibern liegen auf Grund der Infrastruktur jedoch in jedem Fall besondere Anforderungen vor.

3.1.1 Optisches Backbone - Lichtwellenleiter (LWL)

Im Hinblick auf die technisch-technologischen Ziele spielt das optische Backbone die zentrale Rolle, d. h. der Lichtwellenleiter zusammen mit den Komponenten. Die **Glasfaser**

(GOF) ist zwar in der Weitverkehrstechnik nicht mehr wegzudenken; selbst in der letzten Meile spielt sie aber noch nicht überall die zentrale Rolle – auch wenn die FTTB/H-Technik die höchsten Bandbreiten bis ins Haus liefern kann. Für Gebäudenetze ist sie allerdings nur bei der Verkabelung von Gebäuden untereinander und zwischen Stockwerken zurzeit von Bedeutung. Im Privatbereich (NE 5 im EFH und MFH) sind Glasfasern aber noch nicht die bevorzugte technische Lösung. Die SM (Single Mode) GOF ist als konfektioniertes Kabel und mit SFP- (Small Form-factor Pluggable) Transceivern heute allerdings derart preisgünstig geworden, dass **F2NET ihren Einsatz auch in NE 5** in Erwägung zieht. Wirtschaftlich betrachtet, müssen allerdings noch die Installationskonzepte erarbeitet werden, die man möglicherweise aus den POF-Entwicklungen ableiten könnte. Mit dem "Cuba BiDi 1310/1550nm SM GOF" hat die Fa. DieMount GmbH [10] beispielsweise versucht, einen ersten Schritt in diese Richtung zu gehen - als Ansatz für weitere Entwicklungen auf der Basis strukturierter Verkabelung mittels hochfaserigen LWL-Kabel.

Faser-basierte Übertragungsstrecken im LAN-Bereich lassen sich in drei Bereiche unterteilen, die durch die verwendeten Fasern bestimmt werden und hier im Folgenden betrachtet werden [6].

	Polymer Optische Fasern (POF)	**Multi-Mode Fasern (MM-GOF)**	**Single-Mode Fasern (SM-GOF)**
Durchmesser	980 µm	50 µm, 62,5 µm	9 µm
Standard	IEEE 802.3bv	IEEE 802.3ba	IEEE 802.3bm
Datenrate	≤ 1 Gbit/s	100 Gbit/s	100 Gbit/s
Reichweite	≤ 50 m	≤ 150 m	≤ 10 km
Wellenlänge	650 nm	850 nm	1550 nm

Tabelle 3.1: IEEE 802.3 Standards für LWL [11]

POF: Im Bereich der Netzwerke, die auf der Polymer-optischen Faser (POF) basieren, ist der aktuelle Standard IEEE 802.3bv. Hiernach sind Übertragungsraten von bis zu 1 Gbit/s für Übertragungsstrecken von bis zu 50 m spezifiziert.

Mit optischen Fasern auf POF-Basis (Lieferant von AsahiKASEI-Fasern: Sojitz Europe plc./Düsseldorf; s. auch [12]) lassen sich Wohnungen und kleinere Gebäude effektiv verkabeln. Die Weiterentwicklung hin zu höheren Datenraten ist jedoch notwendig zur Sicherstellung der Zukunftsfähigkeit dieser Technologie. In konkurrierenden Standards, die für Netzwerke auf Basis von Kupferkabeln erstellt wurden, wie IEEE 802.3an, sind Datenraten von 10 Gbit/s über 100 m allerdings bereits definiert (s. u.).

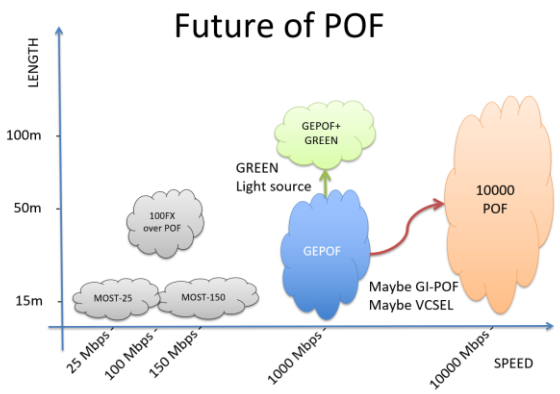


Bild 3.1: Bandbreiten und Übertragungs-reichweiten verschiedener POF Standards [11]

Diese stellen somit einen Benchmark für die POF-Technologie dar. Wann ein entsprechender Standard für die POF definiert und veröffentlicht werden wird, steht derzeit noch aus, wobei bei den heutigen POF-Anschlüssen noch zwei Außendurchmesser unterschieden werden müssen: POF mit 1,0/1,5 mm und 1,0/2,2 mm.In diesem Zusammenhang und im Hinblick auf die Weiterentwicklung der POF ist zudem der Einsatz von Gradienten-index-Fasern (GI-POF) oder von strukturierten Fasern/Multikern POF zu prüfen [12, 13].

GOF: Die Glasfaser-basierte Vernetzung bietet die höchste Bandbreite bei gleichzeitig höchster Übertragungsreichweite und stellt somit die zukunftsfähigste Netzwerktechnik dar. Sie ist heute schon Standard für NE 4 und wird von F2NET bevorzugt.

Neben der Single- bzw. Mono-Moden-Glasfaser (SM-GOF) ist die Multimoden-Glasfaser (MM-GOF) im Bereich der strukturieren Gebäudevernetzung ein sinnvoller Kompromiss zwischen hohen Bandbreiten und erzielbaren Übertragungsreichweiten. Mit einer in den Standards 802.3ba und 802.3bm spezifizierten Datenrate von bis zu 100 Gbit/s stellt sie die Grundlage für bereits kommerziell erhältliche Komponenten dar [11]. Die Aussicht auf derartige Datenraten sollte auch für die kommenden Jahre ein ausreichender Grund für die Nutzung im Gebäude sein. Zu erwähnen bleibt, dass eine Weiterentwicklung mit Datenraten im Bereich von bis zu 1.000 Gbit/s - insbesondere für Rechenzentren - bereits weltweit im Gang ist [14].

3.1.2 Kupferleitungen

Bevor auf die verschiedenen Kupferleitungen und deren Rolle in Gebäudenetzen eingegangen wird, muss zunächst auf die Standards der G.x-Familie eingegangen werden.

G.x-Familie: Die **G.hn**-Norm wurde von der Internationalen Fernmeldeunion Sektion Telekommunikation (ITU-T) entwickelt und wird vom Industrieverband „HomeGrid Forum“ (http://www.homegridforum.org/). G.hn wird daher auch als „HomeGrid-Standard“ bezeichnet und ist heute oft bekannt für die „kommende Generation“ der Heimnetzwerk-Technologie. Der Standard unterstützt die digitale Vernetzung über Strom-, Telefon- und Koaxialkabel mit Datenübertragungsraten von bis zu 1 Gbit/s. **G.fast** unterstützt zudem Vectoring, was insbesondere das Übersprechen in mehradrigen Kabeln bei höheren Frequenzen reduziert, und **G.now** erlaubt die Übertragung über Telefonleitungen oder Koaxialkabel bis zu 200 m.

Twisted Pair / Cat-x: Twisted-Pair-Kabel und die dazugehörigen Steckverbindungen sind genormt und in verschiedenen Standards bzw. Klassen eingeteilt. Den jeweiligen Kategorien sind Einsatzszenarien und Qualitätsvorgaben zugeordnet.

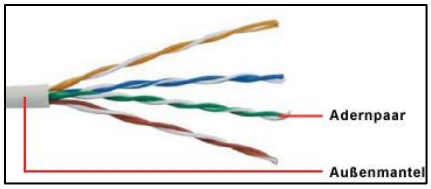


Bild 3.2: Twisted-Pair-Kabel [15]

Info: Zwei Kupferkabel, die in jedem Haus anzutreffen sind, sollten noch erwähnt werden: (a) Übliche Telefonkabel sind vieradrig, wobei je zwei Drähte zusammengedrillt sind. In Gebäuden spielen diese Kabel eine sehr große Rolle, da alle xDSL-Technologien darauf basieren. Auch G.hn bzw. G.now benötigen diese in Gebäudenetzen. (b) Stromkabel finden Verwendung für Power Line Communication (PLC).

Cat-5-Kabel sind die heute überwiegend eingesetzte Ethernet-Verkabelung – sie wird für Ethernet, Fast-, Gigabit-Ethernet (GBE) und mitunter auch für 10-Gigabit-Ethernet verwendet. Wegen der Signalfrequenzen von 100 MHz müssen bei der Verlegung und der Montage HF-technische Randbedingungen beachtet werden; außerdem darf ein minimaler Krümmungsradius nicht unterschritten werden. Cat-5-Kabel werden i. A. für die strukturierte Verkabelung mit Fast- oder Gigabit-Ethernet für Strecken bis ca. 100 m in Netzwerken verwendet. Für 1000BASE-T (Gigabit-Ethernet) wird ein Cat-5e-Kabel benötigt.

Cat-6-Kabel werden in neueren strukturierten Netzwerk-Verkabelungen eingesetzt, wobei im Bereich Ethernet mit 1 Gbit/s Cat-5 bzw. Cat-5e ausreicht. Im Vergleich zu Cat-5-Kabeln enthalten Cat-6-Kabel dickere Adern und mehr Folien- und Geflecht-Schirmung, was bei der Installation zu einem größeren Aufwand führt. Cat-6A-Kabel (Cat. 6 augmented) sind für 10-Gigabit-Ethernet (10GBASE-T), Frequenzen bis 500 MHz und Strecken bis 100 m ausgelegt.

EIA/TIA 568	ISO/IEC 11801	EN 50173	Bandbreite	Anwendung
Cat. 1	**-**	**-**	0,4 kHz	Telefon- und Modemleitungen
-	**-**	**Class A**	100 kHz	Telefon- und Modemleitungen
Cat. 2	**-**	**Class B**	4 MHz	Terminal-Systeme, ISDN
Cat. 3	**-**	**Class C**	12,5 - 16 MHz	10Base-T, 100Base-T4, ISDN, analoges Telefon
Cat. 4	**-**	**-**	20 MHz	Token Ring (16 MBit)
Cat. 5	**Cat. 5**	**Class D**	100 MHz	100Base-TX, SONET, SOH
Cat. 5e	**Cat. 5e**	**Class D**	100 MHz	1000Base-T
Cat. 6	**Cat. 6**	**Class E**	250 MHz	1000Base-T, 155-MBit-ATM, 622-MBit-ATM
Cat. 6A	**Cat. 6_A**	**Class EA**	500 MHz	10GBase-T (bis 55 Meter)
-	**Cat. 7**	**Class F**	600 MHz	10GBase-T (bis 100 Meter)
-	**Cat. 7_A**	**Class FA**	1.000 MHz	10GBase-T
-	**Cat. 8**	**Class G**	1.600 - 2.000MHz	40GBase-T und 100GBase-T

Tabelle 3.2: Übersicht über Standards und Kategorien bei Twisted-Pair-Kabeln, EIA/TIA 568 (USA); ISO/IEC 11801 (international); EN 50173 (Europa) [15]

Cat-7-Kabel sind bei 10-Gigabit-Ethernet notwendig (oder Cat-6_A). Diese Technik gilt als zukunftsweisend und ist nicht sehr viel teurer als die Ausrüstung mit Cat-6-Kabeln. Die Kategorie 7_A ist bis 1000 MHz spezifiziert, d. h. für Anwendungen, die über 10 Gbit/s hinausgehen. Im Unterschied zu den Kabeln der Kategorie 5 und 6 sind alle vier Aderpaare eines Cat-7-Kabels einzeln geschirmt.

Cat-8-Kabel sind eigentlich ohne Bedeutung, da der nächste Schritt das Glasfaserkabel auch im Bereich der letzten hundert Meter zum Arbeitsplatz ist. Kupferkabel haben aber auf diesen Strecken gegenüber Lichtwellenleitern (LWL) zurzeit noch klare Vorteile: (a) Die Gesamtkosten einer Verkabelung sind oft geringer, (b) die Handhabung ist wesentlich leichter, und (c) die PoE-Fähigkeit (Power over Ethernet) von Twisted-Pair-Kabeln ist vorteilhaft. In vielen Fällen wird eine Strecke von 100 m nicht mehr erreicht, die 40 Gbit/s-Marke kann aber auf ca. 50 m bei 2 GHz Bandbreite erreicht werden.

Koaxialkabel: Im Gegensatz zu Cat-Kabeln sind Koaxialkabel unsymmetrisch. Durch ihren Aufbau bedingt, dringen Störspannungen kaum in das Kabel ein, und magnetische Störfelder können praktisch nicht in den Außenraum gelangen. Koaxialleitungen wurde in der Netzwerktechnik lange Zeit für Bus- oder Ring-Verkabelungen eingesetzt; technisch haben sich jedoch strukturierte Stern-Verkabelungen auf Basis von Twisted-Pair-Kabel inzwischen durchgesetzt. Koaxialkabel werden durch ihren Wellenwiderstand charakterisiert, der für eine minimale Dämpfung 75 Ohm beträgt.

Es gibt einige grundsätzliche Probleme bzw. Randbedingungen bei der Übertragung auf Kupferkabeln:

- Höhere Frequenzen bedeuten immer eine Reduktion der nutzbaren Kabellänge.
- Auf Kupferkabeln treten bei längeren Leitungen messbare Signalverluste auf.
- Im Vergleich zu optischen Kabeln leiden Kupferverbindungen grundsätzlich an Übersprechen (z. B. bei mehradrigen Kabeln) und externen Störsignalen. Daher sollten Netzwerkkabel nicht direkt neben Stromkabeln verlegt werden.
- Neben der Beeinflussung der Datenübertragung durch elektromagnetische Felder ergibt sich ein weiteres Problem durch die physikalische Verbindung des Netzwerkschirmes mit dem Schutzleiter des zugehörigen Stromnetzes.
- Auch sollte beachtet werden, dass bereits Cat-5-Kabel PoE unterstützen, was ebenfalls zu EMV-Problemen führen kann.

3.1.3 Leerrohre und Hybrid-Kabel

Die Verlegung von Leerrohren bei Neubauten oder Renovierungen bzw. Modernisierungen in Gebäuden ist heute ein Muss. Dies erlaubt zu späterer Zeit die geeignete Verkabelung nachträglich einzuziehen oder modernen Entwicklungen ohne großen Aufwand zu folgen, wenn z. B. alte Kupferleitungen durch breitbandige Übertragungsmedien wie LWL zu ersetzen sind, was unmittelbar zur Wertsteigerung der Immobilie führt.

Da die Datenübertragung in Lichtwellenleitern (GOF oder POF) nicht durch äußere elektrische oder magnetische Felder gestört werden kann, können diese LWL parallel mit Leitungen aus dem Energienetz verlegt werden. Im Handel sind erhältlich: Leerrohre jeglicher Art, durch die später Leitungen verlegt werden können, z. B. Glattrohre (7/4 mm bis 12/8 mm) für GOF zwischen Gebäuden, in der NE 4 von Wohngebäuden und in Infrastrukturen in Gewerbe- und Industrieanlagen. Wellrohre vergleichbarer Durchmesser sind ebenso anwendbar. Erhältlich sind ferner Leerrohre für NE 4 und NE 5, die bereits 2 x POF-Kabel enthalten und Hybridkabel mit 2 x POF. Darüber hinaus gibt es Hybridrohre, die neben einem Kupferkabel (Koax- oder symmetrische Kabel) ein Leerrohr (Glattrohr 7/4 mm) an-extrudiert haben sowie Hybridleitungen von POF und Kupfer als gebündeltes Element oder auch als Kabel mit Kabelmantel.

FRÄNKISCHE

Bild 3.3: FFKuS DATALIGHT Kunststoff-Wellrohr aus PVC mit hochgleitfähiger Innenschicht, Kunststoffmantel und integrierter 2,2 mm Polymer Optischer Faser nicht flammenausbreitend. Die optische Faser kann für Datenübertragungen mit einer Übertragungslänge bis zu 90 m und einer Geschwindigkeit von bis zu 1.000 Mbit/s eingesetzt werden (Fränkische Rohrwerke, [16])

DATALIGHT ist eine registrierte Marke der Fränkischen Rohrwerke [16], die gemeinsam mit Partnern im Wohnungs- und Zweckbau auf die Datenübertragung mittels eines standardisierten Lichtwellenleiter-Systems setzen: Das System greift bei Übermittlung der Daten auf den internationalen Standard Gigabit Ethernet over POF (Standard IEEE802.3bv) zurück. Der hausinterne Datenverkehr sowie Triple Play Anwendungen werden somit bereits in die nächste Generation der Vernetzung geführt.

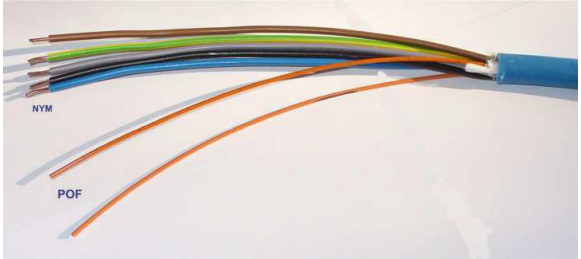


Bild 3.4: Hybridkabel NYM der Fa. EuroLAN GmbH [17] mit 2xPOF und 5x1,5E

3.1.4 Splitter und Spleiße

Zu den passiven Komponenten, die bei der Installation von F2NET-Netzwerken Verwendung finden, zählen optische Techniken zu Splittern und Verbindungen von Fasern. Derartige Techniken und Produkte sind im Bereich der Glasfasertechnik etabliert, werden aber in naher Zukunft aus Kosten- und Aufwandsgründen noch nicht im Heimbereich (NE 5) einsetzbar sein. Lediglich in den Netzebenen NE 3 und NE 4 setzen sich vorkonfektionierte GOF-Kabel derzeit durch [18, 19]. Hier sei z. B. auf die Anbieter von GOF-Komponenten im Bereich MATV (master antenna television (z. B. https://www.onevisionltd.co.uk/matv-systems)) verwiesen - das sind beispielsweise Gemeinschaftsantennenanlagen als lokale Breitbandkabelsysteme, über die TV-Kanäle in Wohnanlagen, Krankenhäuser, Universitäten und Institute übertragen werden - oder auf die FEMTOtech GmbH (http://www.femotech.de/), die hochwertige Sonderlösungen für die hier gewünschte LWL-Technik produziert.

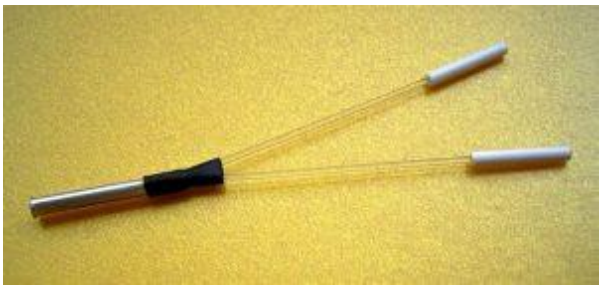


Bild 3.5: 1x2 POF-Splitter, Standard mit Ferrulen [10]

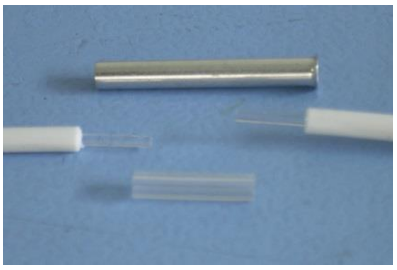


Bild 3.6: POF-Spleiß-Kit ohne Index-Matching-Gel [10]

Im Rahmen von F2NET ist die Fa. DieMount GmbH [10] Experte für diverse POF-Produkte, die für Heimnetze interessant sind: passive POF-Komponenten, POF-gekoppelte LED, verschiedene POF-Splitter und POF-Spleiß-Technik.

3.1.5 WDM-Komponenten

Passive Komponenten umfassen vor allem auch optische Produkte wie Multiplexer/Demultiplexer (MUX / DEMUX), wenn es um den Wellenlängen-Multiplex (WDM, Wavelength Division Multiplex) geht. Dies führt zu höheren Brutto-Datenraten und ist in der Glasfaser-Übertragungstechnik fest etabliert. Diese WDM-Technik ist im Heimbereich noch nicht marktfähig, auch wenn es schon zahlreiche Arbeiten, insbesondere für POF-Netze, zu diesem Thema gibt - mit interessanten Anwendungen im Sensorbereich und bei „Remote Powering“, eine Technologie, wie sie bei Kupferkabeln unter PoE bekannt ist. Dabei wird Lichtenergie über eine separate Wellenlänge parallel zu den Daten übertragen und am Empfänger nach Filterung über eine photovoltaische Zelle effizient in elektrische Energie umgewandelt. Dieses Thema ist für Zukunftsprojekte (Kapitel 5) vorgesehen.

3.2 Aktive Komponenten

Faser-Funk-Netze sind die Grundlage des F2NET-Ansatzes. Daher spielen die Funktechnik und die Weiter-Entwicklung von integrierten Faser-Funk-Komponenten sowie entsprechender Medienkonverter eine zentrale Rolle.

3.2.1 Funk-basierte Übertragung

Für die Zielgruppen des Kooperationsnetzwerkes „F2NET – Strukturierte Faser-Funk-Netzwerke in Gebäuden“ existiert für die Vernetzung von Computern und anderen Endgeräten in den Wohnungen heute nahezu ausschließlich der WLAN-Standard. Darüber hinaus sind zwar noch zahlreiche andere Funknetzwerke für die Steuerung und Automatisierung in Gebäuden zu finden, deren einzelne Standards ebenfalls nach den 802.11 Standards konvergieren.

Bereits 1997 wurde der erste IEEE WLAN-Standard 802.11 eingeführt, der verschiedene proprietäre Systeme zur Rechnervernetzung ablöste. Seitdem hat sich die Bandbreite um mehrere Zehnerpotenzen vergrößert, und verschiedene Unterstandards betreffen Protokolle, Modulationen und Trägerfrequenzen. So wurden neben dem anfänglichen Frequenzbereich um 2,4 GHz inzwischen auch die Bereiche 5 GHz und 60 GHz sowie 0,8-0,9 GHz festgelegt.

	2016	**2018**	**2019**
Standard	IEEE 802.11ah	IEEE 802.11ay	IEEE 802.11ax
Bruttodatenrate	≤ 357 Mbit/s	≤ 176 Gbit/s (4xMIMO)	≤ 4804 Mbit/s
Trägerfrequenz	800-900 MHz	60 GHz	2,4 GHz, 5 GHz
Abdeckung	Gebäude	Raum	Mehrere Räume

Tabelle 3.3: Künftige IEEE 802.11 Standards [11] (MIMO bedeutet Multiple Input Multiple Output)

Heute sind kommerzielle Accesspoints (APs), Router und Endgeräte in der Regel nach den Standards IEEE 802.11ac (Frequenzbereich 5 GHz) und 802.11n (2,4 GHz) zertifiziert. Bei zahlreichen Endgeräten, insbesondere aus dem Non-Consumer Bereich, sind auch noch vielfach die Standards 802.11g und 802.11a vertreten. Bereits heute sind aber auch schon verschiedene Accesspoints oder WLAN-Router nach dem Standard IEEE802.11ad im Bereich von 60 GHz kommerziell erhältlich.

Diese ermöglichen eine zukunftssichere Netzwerkinfrastruktur. Mit Blick auf die Entwicklung mobiler Endgeräte wird dem Standard IEEE802.11ax im üblichen Frequenzbereich von 2,4 GHz und 5 GHz die höchste Bedeutung in den kommenden Jahren zugeschrieben. Dieser wird ergänzt durch den Standard 802.11ay für den Bereich 60 GHz, wo höchste Bandbreiten und eine Beschränkung der Funkzellen auf einzelne Räume gefordert sind. Man darf darüber hinaus mit dem Einsatz von 5G-Netzen zu und in Gebäuden ab etwa 2020 rechnen.

3.2.2 Optisches Backbone mit integrierten LAN und WLAN-Accesspoints (WLAN-Mesh-Netzwerk)

Das Produkt von F2NET sieht für jeden einzelnen Raum Funkzellen (sog. „Femtozellen“) vor im Sinne eines sog. „Mesh-Netzes“. Da ein einzelnes WLAN-Netz für eine Wohnung i. A. nicht ausreicht - in einigen Zimmern ist die Datenrate gering oder fehlerhaft - werden im sog. „Mesh“ (deutsch: Maschen) mehrere WLAN-Netze zu einem einzigen Netz zusammengefasst, das dann nur noch einen Namen und ein Passwort hat. Mit Mesh erreicht man somit Höchstgeschwindigkeiten - beim Surfen, Video oder Gaming - bis in die letzte Ecke eines Zimmers.

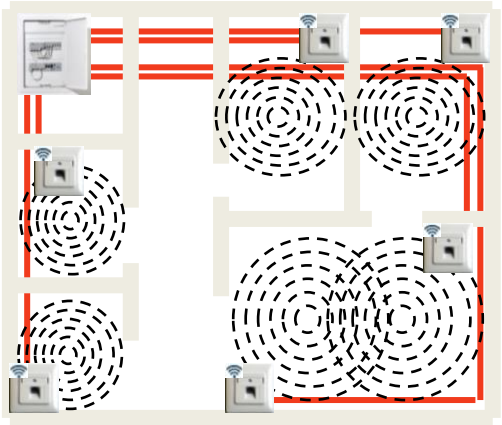


Bild 3.7: Skizze eines LAN und WLAN-Mesh-Netzwerks im Heimbereich [9]

Das Produkt von F2NET sieht derartige WLAN-Mesh-Netzwerke vor – im Bild 3.7 eine Wohnung mit verschiedenen Räumen, die mit mind. einem LAN-Anschluss (über Multimedia-Wanddosen) und einem WLAN ausgestattet sind, wobei alle Datenleitungen zur Unterverteilung zählen.

Die funktechnischen Vorteile dieses Netzwerkes sind: (a) Reichweite anpassbar an die Raumgröße, (b) wenig Überlagerung mit Nachbarräumen und (c) Möglichkeit für Datenroaming. Diese Vorteile könne noch ausgebaut werden durch eine gezielte Weiterentwicklung der integrierten Faser-Funk-Komponenten hinsichtlich der Funkfrequenzen oder der Antennen-Charakteristik, z. B. mithilfe der MIMO-Technik und der Intelligenz der Access-Points, so dass zudem der Energieverbrauch gesenkt werden kann.

Neben Änderungen der Hardware ist dann aber auch eine einheitliche Management-oberfläche verschiedener Geräte für die Akzeptanz der Komponenten förderlich. Dies ermöglicht ein Hersteller-übergreifendes Bedienungskonzept, welches das Management eines Netzwerkes durch den Anwender deutlich erleichtert und Fehlerquellen aufgrund von Fehleingaben minimiert.

WLAN-UP: Eine von der Wilhelm Rutenbeck GmbH & Co. KG angebotene Unterputzdose (UP) enthält einen WLAN-Accesspoint in der Datendose mit einem Datenauslass RJ45 und einem 2,2 mm POF-Anschluss, s. Bild 3.8 [20]. Dieser WLAN-Accesspoint findet weltweit als erster in einer handelsüblichen UP-Installationsdose Platz und soll bis zu einer Datenrate von 1 Gbit/s weiterentwickelt werden.

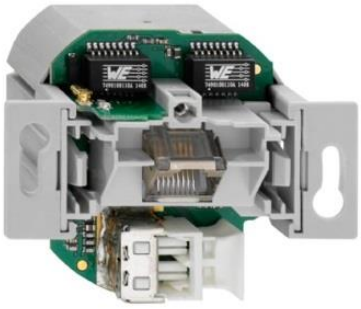


Bild 3.8: WLAN-Accesspoint in der Datendose mit 150 Mbit/s - 802.11 b/g/n und 100 Mbit/s integriertem Datenauslass (RJ45), [20]

Neben der Fa. Wilhelm Rutenbeck GmbH & Co. KG ist die Fa. Homefibre Digital Network GmbH [21] Kooperationspartner der Fa. FRÄNKISCHE Rohrwerke Gebr. Kirchner GmbH & Co. KG (kurz: Fränkische Rohrwerke [16]) unter der Marke DATALIGHT [22].

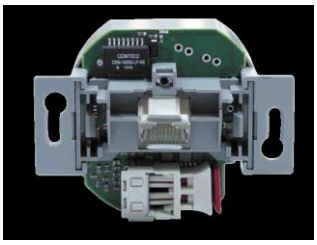


Bild 3.9: UP-Netzwerkdose OMA111WLAN [21, 22] mit
- *1x POF Port mit OPTOLOCK™ Schnittstelle*
- *1x Ethernet Port – RJ45 Standard*
- *1x integriertes WLAN*

3.2.3 POF-Medienkonverter

Mit der Übertragung von Gigabit Ethernet über die Polymer Optische Faser ergeben sich innovative Lösungen für F2NET-Produkte, nachdem die Gigabit Technologie von KDPOF (https://www.kdpof.com/) im Rahmen einer IEEE-Arbeitsgruppe nunmehr standardisiert wird. Die Fa. Homefibre [21] hat hier eine ausgezeichnete Marktposition, wobei Technologie, Produkte sowie Anwendungen nach internationalen Standards intensiv getestet werden. Dabei interessiert vor allem der wirkliche Datendurchsatz, wie er z.B. in RFC 2544 definiert ist. Homefibre und DATALIGHT Produkte werden bereits nach diesen Kriterien gemessen [21, 22].

Optische Netzwerkanschlussdose 1 Gbit/s: Optische Gigabit-Netzwerkanschlussdosen zum Einbau in Unterputzdosen oder Aufputzrahmen (AP) werden inzwischen von Homefibre [21] mit folgenden Merkmalen angeboten: 2x RJ45-Buchsen und 1x optischer Anschluss für Duplex-POF-Kabel. Dieser Integrierte Medienkonverter und mit einem integrierten Gigabit Ethernet Switch ist für eine Spannungsversorgung von AC 110-240V ausgelegt, s. Bild 3.10.

Bild 3.10: Optische Netzwerkanschlussdose 1 Gbit/s – GIGABIT (homefibre, [21, 22]) mit:
- *Optischem Stecker für 2,2mm Duplex POF*
- *Standards IEEE 802.3 und IEEE 802.3u*
- *Datenanschluss 2 x RJ 45*
- *Übertragungsgeschwindigkeit 1 Gbit/s*
- *LED-Wellenlänge typ. 650 nm*

Fast Ethernet POF Medienkonverter Optospider™ Cuba 650nm duplex OC: Der Optospider™ Cuba wurde von der Fa. Diemount GmbH [10] für die optische Datenkommunikation in Heimnetzwerken entwickelt. Seine Merkmale: kein elektrischer Energieverbrauch, wenn das Endgerät ausgeschaltet ist, bzw. sich im Standby Zustand befindet; geeignet für das POF Duplex Kabel mit 2 LWL-Adern; metallisches Gehäuse für die EMV Abschirmung,

Bild 3.11: Optospider™ Cuba 650nm für das POF Duplex Kabel mit 1.5 mm bzw.2.2 mm Außenmantel [10]

Dieser Medienkonverter führt die Datenkonversion zwischen Twisted-Pair-Kabeln (100Base-TX) und Standard POF-Kabeln in einem Ethernet-Netzwerk (IEEE 802.3u) durch. Die Datenübertragung in Hin- und Rückrichtung erfolgt auf je einem der beiden Adern des POF-Duplex-Kabels. Da die neuen Medienkonverter in ihrer äußeren Form an eine große Zigarre erinnern, erhielten sie den Namen „Cuba“. Eine Weiterentwicklung zielt auf die Verkleinerung der Gehäuse-Abmessungen und weitere Einsatzgebiete.

Bild 3.12: Fast Ethernet POF Medienkonverter Optospider™ Cuba 650nm duplex 1.5mm/2.2mm mit PPoE Injektor [10]

Das PPoE (Passive Power over Ethernet) Konzept: Jeder Optospider™ Cuba verfügt über ein elektrisches Patchkabel mit RJ45-Stecker, über das neben der Datenübertragung zugleich auch die Stromversorgung mittels PPoE erfolgt. An den Pins 4 und 5 des Steckers liegen dabei 5V an, an den Pins 7 und 8 die Masse der Stromversorgung. Sind an dem Endgerät keine PPoE vorbereiteten Ports vorhanden, wird ein PPoE-Injektor zwischengeschaltet. Über das mit einem USB-Stecker abgeschlossene Kabel des Injektors können auf diese Weise 5V extern eingespeist werden. Stromquelle dafür kann ein freier USB-Anschluss im Endgerät oder ein USB-Netzteil mit USB-Buchse sein. Die Verwendung eines freien USB-Anschlusses hat den Vorteil, dass sich auch der Cuba-Medienkonverter automatisch ausschaltet, sobald das Endgerät ausgeschaltet ist.

3.2.4 Switche und SFPs

Optischer POF-Switch: Als Beispiel sei der OMS1026RR - GIGABIT ETHERNET SWITCH von Homefibre [21] erwähnt: Er ist ein Layer 2-Switch, erfüllt IEEE 802.3u sowie IEEE 802.3az und ist kompatibel zu Ethernet Gigabit IEEE 802.3bv (Gigabit Ethernet über Polymerfaser A4a2 (*IEC 60793-2-40 .ed.3:2009*h) [24]).

Bild 3.13: OPTICAL MEDIA SWITCH OMS1026-220RR, [21]

- *Steckerloser POF Anschluss 2,2 mm*
- *6xPOF Gigabit Port / steckerlos*
- *2xEthernet Port – RJ45 Standard*

Gigabit Switch mit SFP Ports: Aus der Glasfasertechnik bekannte und verfügbare Gigabit-Ethernet-Switche mit sog. SFP-Ports bringen Vorteile in Bezug auf Netzwerkflexibilität, Zukunftssicherheit und Kosteneffizienz, s. Bild 3.14. SFP steht dabei für „Small Form-Factor Pluggable“ und bezeichnet Transceiver - also Medienkonverter -, die sich in einen entsprechenden Switch-Port einstecken lassen, sodass verschiedene Schnittstellen verfügbar sind.

Bild 3.14: UBIQUITI NETWORKS Ubiquiti EdgeSwitch 12 Fiber (ES-12F) Mit 12 x SFP und 4 x RJ45, Switch-Kapazität 32 Gbit/s [23]

Der Hauptvorteil von SFPs ist daher die Flexibilität für die Übertragungstechnik im Netzwerk. Ein weiterer Vorteil ist, dass sich durch die sog. „Hot-Plug“-Version SFP-Module im laufenden Betrieb in die entsprechenden Schächte im Switch einstecken lassen und dieser dadurch ausgedehnt werden kann. SFP ist aber zurzeit leider noch kein Standard, das Modul

ist vielmehr Ergebnis eines so genannten Multi-Source Agreement (MSA), auf das sich mehrere Hersteller geeinigt haben. SFP-Module verschiedener Hersteller sind aber nur eingeschränkt untereinander kompatibel und Kompatibilität ist nicht garantiert. Es gibt SFPs mit unterschiedlichen Schnittstellen:

Bild 3.15 (a) *(b)* *(c)*

Bild 3.15 (a)SFP Kupfer: Small Form-Factor Pluggable SFP Modul zum Einsatz in Kupfer/Ethernet-Verkabelung [25]; (b): SFP Multimode: Small Form-Factor Pluggable SFP Modul für den Einsatz mit Multimode-Verkabelung (OM2, OM3, OM4) [25]; (c): SFP POF Duplex Optospider™ Transceiver für 1,0/1,5mm POF, 100 MBit/s [10]

Die Optospider™ POF SFP-Familie von einsteckbaren POF-Fast Ethernet Transceivern wurde von der Fa. DieMount GmbH [10] entwickelt. Sie passen in die wachsende Zahl von 100BASE-FX SFP unterstützenden Netzwerk-Produkten. Die Optospider™ POF-SFPs sind dabei mit voller Funktion kompatibel mit folgenden Switchen [10]:

- ZyXEL ES-3124F mit 24 100BASE-FX SFP Ports, 2 GbE SFP Ports, 2 dual personality GbE Ports zur Verteilung optischer Signale (FTTH) in Gebäuden mit bis zu 24 Wohnungen.
- WizLAN WM-825 FCF mit 8 100BASE-FX SFP ports, 1 GbE SFP port, 1 10/100/1000Base T RJ-45 Port als zentraler Switch für bis zu 8 GOF-Verbindungen.
- ZyXEL ES-315F mit 1 100BASE-FX SFP port, 4 100BASE-TP Ports als Hausübergabepunkt für eine POF Inhaus-Verkabelung.

Neueste SFP+: Diese Module sind in der Entwicklung für 10 Gigabit Ethernet und 8 bzw. 16 Gigabit-FibreChannel-Anwendungen, siehe z. B. (https://www.fs.com/de/c/10g-sfp-plus-63).

3.3 Systemintegration

3.3.1 Netzebenen und Topologien im Gebäudebereich

Mit Einführung des Kabelfernsehens in Deutschland wurde die Aufteilung in verschiedene Netzebenen vorgenommen, s. Bild 3.16. Ausschlaggebend waren hierbei technische und ökonomische Kriterien. Für F2NET sind die Netzebenen 3, 4 und 5 von Bedeutung. Die Netzebene 3 (NE 3) ist das eigentliche Breitbandverteilnetz zu den privaten Haushalten, Wohnanlagen oder Wohnungsgesellschaften bis zur Grundstücksgrenze bzw. dem Hausübergabepunkt - bei Glasfaseranschlüssen (FTTB) der optische Abschlusspunkt des Liniennetzes (oAPL). Die Netzebene 4 (NE 4) umfasst die *vertikalen* Verbindungen vom Gebäudeverteiler (GVt) zu den angeschlossenen Wohnungsübergabepunkten WÜP) - bei Glasfasern die FTTH-Anschlüsse am optischen Teilnehmer-Abschluss (oTA) - und stellt i. A. ein eigenständiges Netz dar. Die Netzwerkelemente sind ein Gebäudeverteiler im Keller sowie jeweils ein Gehäuse in jeder Wohnung als Abschlusspunkt des Glasfasernetzwerkes. Bis zu diesem Netzwerkabschluss besteht eine durchgehende Verbindung auf physikalischer

Ebene. In den Wohnungen selber spricht man von der Netzebene 5 (NE 5) – bei Glasfasernetzen ist dies das FITH- (Fiber In The Home-) Netz bzw. das lokale LAN und WLAN-Netz (Local Area Network bzw. Wireless LAN).

Unter dem Titel „Zielbild zur Installation von zukunftsfähigen Glasfasernetzen in Gebäuden. Ratgeber für Planung und Bau“ hat die Deutsche Telekom Technik GmbH 2016 eine Broschüre herausgegeben, die die zentralen technologischen Fragen von Glasfasernetzen in Gebäuden beschreibt [26].

Im Gebäudebereich ist zwischen verschiedenen Zuständigkeiten klar zu unterscheiden, sobald es um Infrastrukturfragen, Eigentum oder auch um Geschäftsmodelle geht. Dies gilt insbesondere für Mehrfamilienhäuser (MFH), wenn Mieter/Bewohner der Wohnungen nicht zugleich Eigentümer sind und bei Abstimmungen zu allgemeinen Installationen die Eigentümerversammlung das entscheidende Wort hat. Auch die Netzbetreiber haben infolge von Eigentumsrechten Einfluss auf die Auslegung und den Betrieb der Gebäudenetze.

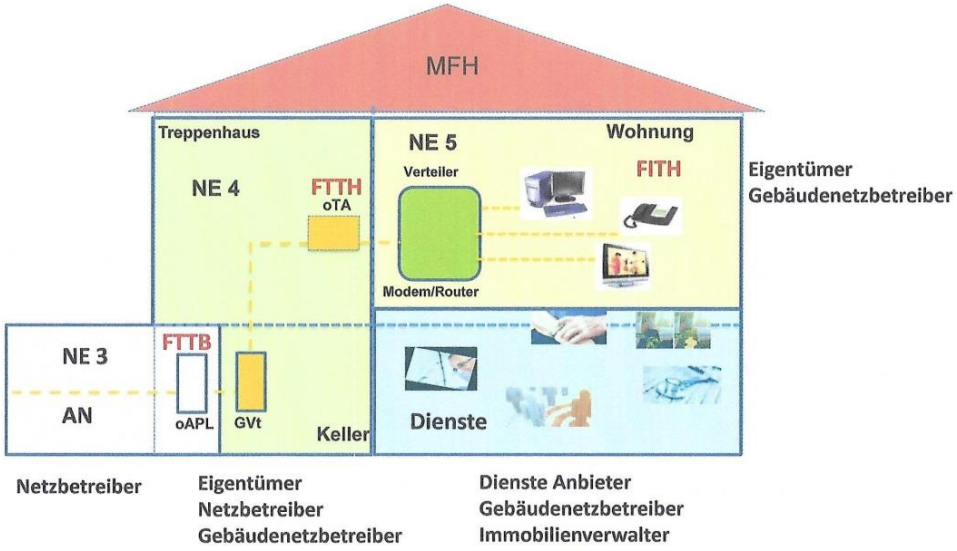


Bild 3.16: Netzebenen und Zuständigkeiten im MFH (Bentz Consulting)

Ein lokales Netz kann technisch unterschiedlich aufgebaut werden. Typischerweise erfolgt die Verkabelung eines LANs jedoch als strukturierte Verkabelung, wobei Ethernet der am weitesten verbreitete Standard ist. Dabei erfolgt derzeit die Übertragung entweder elektrisch über Twisted-Pair-Kabel (Cat-5 oder höher) oder optisch über Lichtwellenleiter (LWL).

Bei Ethernet liegt die klassische Sternstruktur zu Grunde; bei großen Strecken wie in den Netzebenen NE 3 und mitunter auch NE 4 der Gebäudeverkabelung kann jedoch z. B. aus Kostengründen eine Linienstruktur von Vorteil sein. Beim sog. „Industrial Ethernet“ (ein Oberbegriff für den Ethernet-Standard bei der Vernetzung von Geräten in der industriellen Fertigung) will man beispielsweise eine Linienstruktur und damit eine Bustopologie nachbilden; dann sind alle Geräte direkt mit demselben Übertragungsmedium, dem Bus, verbunden, und es gibt keine aktiven Komponenten zwischen den Geräten und dem Medium. Ethernet ist jedoch seit dem Umstieg vom sog. „Yellow Cable“, einem ungewöhnlich dicken Koaxialkabel, auf das flexiblere und leistungsfähigere Twisted-Pair-Kabel eigentlich kein Bus mehr und damit streng genommen nicht mehr linienstrukturfähig; denn durch die Nutzung von Twisted-Pair-Kabeln wurde zugleich die Stern-Struktur in Ethernet-Netzwerken verankert. Dennoch gibt es immer wieder Überlegungen, eine Linienstruktur mit Komponenten der Sternstruktur nachzubilden, was zur Segmentierung führt, wenn die Netzwerkknoten „in Reihe geschaltet“ werden und jeder Teilnehmer mit Linienstrukturkomponenten ausgestattet wird. Wie das geht, kann am Beispiel der im Markt dominierenden Industrial-Ethernet-Lösungen in [27] nachgelesen werden.

3.3.2 IP-Heimnetzwerk

Im Bereich Systemintegration geht es um den Aufbau des Faser-Funk-Netzwerkes. Das Bild 1.1.b ist ein sog. aktives optisches Netzwerk (AON): Es besteht aus passiven optischen Fasern in einer Sternstruktur als Backbone mit aktiven Funkstationen und Multimedia (MM)-Dosen sowie einem aktiven zentralen Switch. Da ein derartiges optisches Netzwerk mit verteilten aktiven Komponenten arbeitet, ist es nicht erforderlich, zusätzliche passive Schnittstellen zu installieren, was Installationskosten reduziert bzw. den Verkabelungsaufwand erleichtert [21].

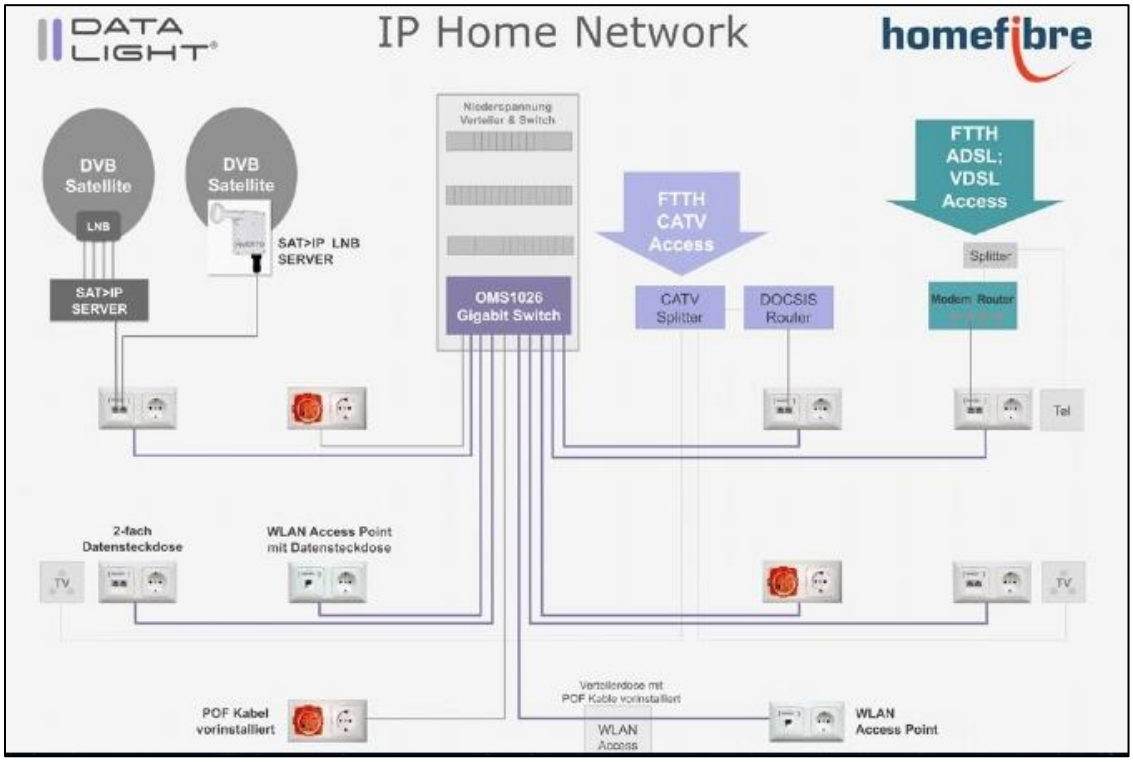


Bild 3.17: IP-Home-Netzwerk (DATALIGHT/Homefibre [21])

Zugangstechnologien wie Internet und IP-TV über FTTH, xDSL, CATV können über Zugangsrouter in das Heimnetzwerk eingespeist werden. Der Zugangsrouter hat dabei auch wichtige Funktionen wie Firewall und DHCP Server integriert. Auch SAT-IP kann über einen eigenen Server in das Heimnetzwerk eingespeist und je nach Ausführung können in einem Privathaus 4-8 oder mehr Programme gleichzeitig über das IP-Netzwerk übertragen werden. Modem und SAT-IP Server können zudem je nach örtlicher Platzierung über jede Datensteckdose in das IP-Heimnetzwerk eingespeist werden [21, 22].

Derartige Netze benötigen optische Switche im Zentrum des Netzes und über Netzteile im Dauerbetrieb gespeiste Medienkonverter, was einen hohen Energieverbrauch erfordert.

Alternative passive optische Netzwerkstrukturen (PON) sind dagegen im Wide Area Network Bereich (WAN-Bereich) zur Minimierung von System-, Energie- und Betriebskosten häufig anzutreffen; Ein WAN (Weitverkehrsnetz) ist dabei ein Rechnernetz, das sich im Unterschied zu einem LAN über einen sehr großen geografischen Bereich erstreckt. Im LAN-Bereich wie auch bei APOLAN (Association for **Passive Optical LAN**) werden hingegen Punkt-zu-Punkt Verbindungen eingesetzt, da die Netzwerkstruktur vereinheitlicht ist.

3.3.3 POF-Heimnetz mit aktiver Optoelektronik

Die seit vielen Jahren am Markt verfügbaren Systeme für den Aufbau eines POF-Heimnetzwerkes setzen fast alle optische Switche im Zentrum des Netzes und über Netzteile im Dauerbetrieb gespeiste Medienkonverter voraus. Mit einem alternativen Ansatz dazu hat die Fa. DieMount GmbH [10] neue Medienkonverter „Cuba“ entwickelt, welche – wie oben erläutert - durch PPoE (passive Power over Ethernet) ihre Stromversorgung aus dem angeschlossenen Endgerät heraus beziehen. Entsprechend den verschiedenen POF-Kabeltypen gibt es Cuba-Medienkonverter in verschiedenen Ausführungsformen. Sie können als Teil des Verbindungskabels zwischen Endgerät und POF verwendet werden. Separate Netzteile werden dann nicht benötigt, und optische Switche können durch elektrische Switche mit PPoE-Speisung ersetzt werden. PPoE stellt somit die Low-Cost Variante des echten PoE nach IEEE Standard dar. Die Fa. DieMount GmbH hat inzwischen eine Reihe von PPoE-Produkten entwickelt, um die Kosten für POF-Netzwerke zu reduzieren.

Wenn beispielsweise eine passive POF-Infrastruktur vorhanden ist, kann jede benötigte POF-Leitung durch Verbindung der Kabelenden mit einem opto-elektronischen Wandler aktiviert werden. Die benötigten Schnittstellenwandler bzw. POF-Medienkonverter müssen zum Betrieb mit Strom versorgt und können mitsamt ihrer Stromversorgung in die Infrastruktur eines Gebäudes integriert werden. Dafür gibt es verschiedene, teilweise sehr unterschiedliche Konzepte. Im Folgenden wird ein Installationskonzept vorgestellt, in dem die POF-Medienkonverter grundsätzlich vom Endgerät aus stromversorgt werden.

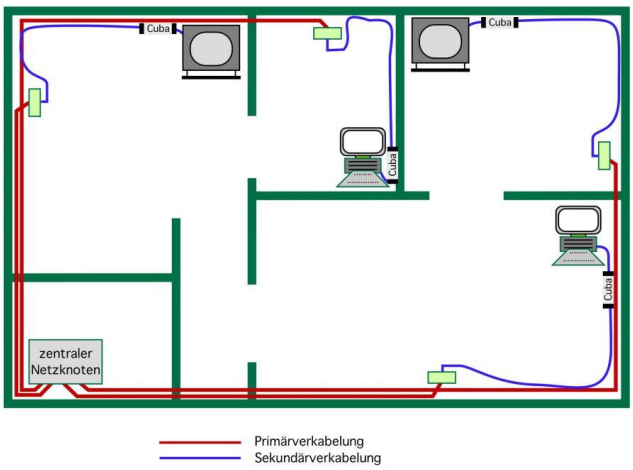


Bild 3.18: Von der Fa. DieMount GmbH konzipiertes Netzwerk unter Verwendung der „Cuba“-Transceiver [10]

Der Grundgedanke eines solchen Netzes ist die Trennung des Netzaufbaus in eine rein passive Primärinstallation (in der Skizze: rote Linien) und in eine Sekundärinstallation, welche die aktiven Netzwerkelemente und Elektronik einschließt (in der Skizze: blaue Linien). Die Verantwortung für die Primärinstallation und damit die grundlegende Infrastruktur liegt dann beim Hauseigentümer, über Art und Umfang der Sekundärinstallation entscheidet aber allein der Wohnungsnutzer. Somit hat der Hauseigentümer nur geringe Investitionskosten für die passive Infrastruktur, und der Nutzer hat jede Freiheit, auf Basis der Primärinstallation diejenige Netzstruktur anzuschaffen, die er aktuell benötigt. Da der Wohnungsnutzer allein die Gestaltung seiner Wohnräume und den jeweiligen Bedarf an Datenvolumen kennt, kann nur er diese Aufgabe durchführen.

Die Struktur Primär/Sekundärinstallation bietet sich somit insbesondere dann für Wohnobjekte an, wenn es sich bei Hauseigentümer und Wohnungsnutzer nicht um die gleiche Partei handelt; d.h., wenn der Hauseigentümer seinen späteren Mieter und dessen Bedarf an Breitbandvernetzung nicht kennt, ihm aber dennoch eine vorbereitete Infrastruktur für die Einrichtung eines Breitbandnetzes anbieten will.

Eine Primär/Sekundärinstallation kann mit folgenden Geräten ausgestattet werden:

• Am zentralen Netzknoten wird typischerweise ein PPoE-Switch verwendet, an den z. B. Optospider™ Cuba-duplex 1.5 mm oder 2.2 mm angeschlossen werden. Die Steckerbuchse richtet sich nach dem Typ des verwendeten POF-Duplex-Kabels.

• Auf der Nutzerseite kommt bei der Sekundärinstallation typischerweise ein Optospider™ Cuba 650nm duplex pigtail zum Einsatz. Er hat ein fest fixiertes POF-Pigtail von typisch 3 m Länge, welches dazu vorgesehen ist, die Sekundärinstallation innerhalb des Raumes von der Endgeräteseite bis hin zum Abschluss der Primärinstallation zu übernehmen.

Da die passive, sternförmige, Datenleitung-gebundene, hybride Verkabelungsstruktur im F2NET das übergeordnete Thema ist, hat ein entsprechender Demonstrator die Form eines "Triptichons" (s. Abschnitt 4.4.2): Im Mittelteil, dem Zentrum des Triptichons, stehen ausschließlich passive Datenleitungen ohne Elektronik. Nur in den Seitenteilen beim Nutzer und im Zentralpunkt kommt Elektronik vor. Somit kann jede favorisierte Lösung im Hinblick auf die Integration verschiedener Medien studiert werden.

Letztlich ist die Idee hinter der neuen Ausrichtung, eine Infrastruktur für Elektronik anzubieten, die hybrid mit jedem Leitungsmedium funktioniert. Die Schnittstellen RJ45 und SFP sind dann die Kernelemente (Details siehe [10]). Hinsichtlich einer passiven optischen Verkabelung sollten noch Produkte aus der Serie OptoXSTM der Innovience International BV (https://www.innovience.com/nl/) erwähnt werden. Hierbei handelt es sich um Standard-Steckdosen mit POF-Kabeln und integrierten POF-Auslässen und externe aktive Module/Medienkonverter, die über die Steckdose mit Strom versorgt werden und den Anschluss an die POF bieten. F2NET verfolgt diesen Weg der PON-Strukturen durch die Entwicklung von POF-Wanddosen (z. B. im SMI-Format) und passenden POF Steckern.

3.3.4 Home-PON

Inzwischen werden Passive Optical Network- (PON-) Strukturen, die eigentlich für Access-Netze „erfunden“ wurden, auch in Gebäudenetzen zum Einsatz gebracht. Als Beispiele seien „APOLAN“ (http://apolanglobal.org/) und „AgilePOL“ genannt, wobei die AgilePOL-Lösung von Huawei (http://e.huawei.com/en/) eine ähnliche Netzwerkstruktur sowie aktive und passive Geräte für die FTTH-Lösung nutzt. Dabei werden Gigabit Passive Optical Network-(GPON) Komponenten nachgenutzt. Ausgangspunkt ist also, dass die Faser ins Gebäude „wandert“, inzwischen intensiv angetrieben von renommierten Firmen, wie z.B. Tellabs (https://www.tellabs.com/) und Huawei. Für derartige Lösungen wurde 2011 der Name „HomePON“ eingeführt und vorgeschlagen, **G.hn als Basis für optische Faserheimnetze** zu verwenden.

Ausgangspunkt von HomePON [28] ist, dass im Haus/Gebäude ein Netzabschluss (NT) vorhanden ist, welcher über eine Gigabit-Ethernet- (GbE) Schnittstelle (aktuell 1 GbE, zukünftig >1 GbE, also 2,5 G, 5 G und 10 G) verfügt. Ziel ist, dieses GbE-Signal über das Heim-/Gebäudenetz an die einzelnen Verbraucher zu verteilen, die u.a. auch WLAN-APs sein können.

Dabei kann die Infrastruktur im Gebäude sehr vielfältig sein, ebenso die bautechnische Ausführung, d.h. es können durchaus Stahlbetondecken/-wände vorhanden sein, die eine („bequeme“) WLAN-Nutzung einschränken, so dass die WLAN-Abdeckung in Gebäuden nicht unproblematisch ist. Lösung ist der Aufbau eines sog. verteilten „Multi-Room“ AP-Netzes, wie es F2NET vorsieht, d.h. es wird immer mehr Small Cells, Homespots und Hotspots geben müssen, welche dann entsprechende Backbones benötigen. Die AVM Computersysteme Vertriebs GmbH (bekannt durch ihre FRITZ!-Produkte) vermarket einen derartigen Ansatz als Mesh WiFi (https://avm.de/mesh/).

Brown- und Greenfield-Anwendungen: Bei Brownfield-Anwendungen (Bestands-Immobilien) für Heimnetze wird davon ausgegangen, dass eine kupferbasierte leitungsgebundene Verkabelung vorhanden ist (z.B. Telefondose in jedem Zimmer, TV-Anschluss in ausgewählten Räumen, Möglichkeit für Powerline Communication (PLC)). Für Gebäude, die in den letzten Jahrzehnten errichtet/ausgerüstet wurden, kann davon ausgegangen werden, dass sie über eine Cat-Verkabelung verfügen. Ausgangspunkt bei Neubauten/Rekonstruktions-Objekten (Greenfield-Anwendungen genannt) ist dagegen, dass über kurz oder lang die Faser zum Einsatz kommen wird. Für die In-Haus-Verkabelung geht es dabei insbesondere um biegeunempfindliche Fasern, die inzwischen von mehreren Unternehmen angeboten werden. Die Frage, die in diesem Zusammenhang zu stellen ist, ist nicht, ob man Bitraten bis 10 Gbit/s benötigt oder nicht, die Frage lautet vielmehr: wann ist der Zeitpunkt dafür da, wo 10 Gbit/s benötigt werden? Ob in diesem Zusammenhang von 5 oder 10 Jahren gesprochen wird, ist dann auch nicht mehr so wichtig; entscheidend ist, dass man schon heute beim Netzaufbau (auch in Heimnetzen) darauf achten muss, dass man zukunftssicher agiert, d.h. auf seiner Roadmap vorsieht, dass Anpassungen an höhere Bitraten möglich sind und dass nicht das Heimnetz zum Flaschenhals wird. Bei Neubauten steht die zukunftssichere **Installation von ausreichend Leerrohren** im Zentrum der Planung.

HomePON-Anforderungen [28]: Hier eine Zusammenfassung der besonderen Anforderungen an die unter „HomePON“ betrachteten zukunftssicheren Heimnetze:

- Es wird ein Kombinetz zwischen „wired“ und „wireless“ erforderlich sein.
- „wired“ Backbone – heute (anfänglich) GbE mit Option auf 2,5 G, 5 G und 10 G; Diese Bitraten sind begründet mit hohen Bitraten im Accessnetz und hohen (internen) Bitraten im Heimnetz (z.B. externe Festplatten- oder Mediaserver-Anbindung). Wired Backbone kann dabei durchaus „hybrid“ sein, d.h. es muss nicht ein einheitliches Übertragungsmedium Verwendung finden.
- „wireless“ APs für mehrere Frequenzbereiche (je nach Anwendung), hochbitratig nach IEEE 802.11ac, 11ad oder Visible Light Communication (VLC) sowie Unterstützung von Standards wie Bluetooth Low Energy (BLE), ZigBee oder Z-Wave.
- pro Zimmer/Raum mehrere Anschlüsse (laut Deutscher Telekom AG auf 3,75 m Raumumfang ein Anschluss und min. eine Netzwerk-Doppeldose pro Raum). Die Anzahl der erforderlichen Anschlüsse bestimmt die Anzahl der Nodes bzw. Anzahl der Ports eines Ethernet-Switches.
- optisch erweiterbar (z. B. mit Wavelength Division Multiplex (WDM) Technik)
- Roadmap des Standards G.hn bis 10 Gbit/s
- Unterstützung der Normung und Standardisierung der Übertragungsverfahren

HomePON (G.hn optisch): Wenn bei Greenfield Anwendungen nicht „nur“ drahtlos (WLAN oder visible light communication (VLC) möglich sind, ist ein leitungsgebundenes Backbone-Netz erforderlich. Dies sollte mit Ausblick auf die Zukunft faserbasierend ausgebildet werden/sein müssen. HomePON basiert auf der Nachnutzung der G.hn-Technologie für die optische Übertragung. In [29] sind im Annex B die Zusammenhänge im Detail beschrieben. Hinsichtlich der Netzstruktur bringt G.hn „automatisch“ mit: Punkt-zu-Multipunkt (P2MP) bzw. MP2MP (je nach Kopplertyp), wobei P2MP in NE 4-Anwendungen und MP2MP in NE 5 benötigt werden. Mit G.hn ist mittlerweile die Übertragung von nahezu 2 Gbit/s möglich ist, wobei die Bandbreitenzuweisung bei G.hn nach Bedarf erfolgt, d.h. es kann z.B. einzelnen Verbrauchern über Quality of Service- (QoS-) Mechanismen mehr Bandbreite zugewiesen werden bzw. individuelle Upstream/Downstream- (US/DS-) Bitratenverhältnisse eingestellt werden. Bei G.hn wird Bitratenerhöhung (über Profile) bereits praktiziert (z.B. von 100 MHz

zu 200 MHz). Auch 424 MHz und 848 MHz stehen auf der Roadmap, und damit sollen 10 Gbit/s als Summenbitrate erreichbar werden.

Marketingmäßig sind die Hauptargumente für HomePON wie folgt:

- Zukunftssicherer, erweiterbar, flexibel – 10 Gbit/s in Aussicht
- Energieeffizient
- Sehr gutes Preis/Leistungs-Verhältnis
- Verfahren patentiert
- Verstecktes Design (verschwindet in der Wand), keine Stand-alone-Geräte
- Einfache Netz-Überwachung (z.B. Smartphone-App)

3.3.5 Radio over Fiber (RoF)

Beim Radio over Fiber (RoF) Verfahren, heute auch oft als Fiber-Wireless (FiWi) bezeichnet, werden hochfrequente Signale optisch übertragen. Dabei wird das Signal über elektro-optische Wandler auf einen optischen Träger aufmoduliert, über optische Fasern transportiert und an einem anderen Ort mittels optisch-elektrischer Wandler (Fotodioden) zurückgewandelt. Als LWL kommen POF, Multimoden- (MM) und Monomoden-GOF in Frage. Auch Radio over Visible Light (RoVL) ist denkbar.

Ein vollständiges RoF-System besteht in der Regel aus einer zentralen Steuer- und Verwaltungseinheit (Central Station (CS)) und mehreren Basisstationen (BS), an die zugehörige Sende- und Empfangsantennen angeschlossen sind. Die gesamte Administration und Signalerzeugung ist dabei in der CS zentralisiert, wohingegen die BS ausschließlich der Änderung der Trägermedien dienen. Im Gegensatz zum Einsatz aktiver BS, z.B. den Accesspoints (APs) bei der bekannten WLAN-Technologie, hat diese Zentralisierung Vorteile beim Einsatz von mehreren BS, die zentral gesteuert werden und zu einem gemeinsamen Netzwerk gehören. In den LAN-Segmenten von Gebäuden und Wohnungen, die auch das Projekt F2NET anspricht, ist eine Tendenz zu räumlich kleineren Funkzellen erkennbar (Femtozellen). Dies ist verschiedenen Gründen geschuldet. Der Hauptgrund liegt im steigenden Bandbreitenbedarf durch schnellere oder mehr Endgeräte in den Funkzellen. Dieser Tendenz wird durch die Aufspaltung einzelner Zellen in mehrere Zellen mit geringerer räumlicher Ausdehnung Rechnung getragen. Gleichzeitig werden die Trägerfrequenzen erhöht, z.B. 60 GHz, deren Ausbreitung durch die Luft oder Wände begrenzt werden.

Zahlreiche Forschergruppen aus dem In- und Ausland haben RoF-Labormuster und RoF-Prototypen entwickelt. Auch wurde z.B. für den LTE-Bereich bereits 2010 von der Firma NTT Docomo ein kommerzielles RoF-System entwickelt [30].

Das ITU-Dokument “Supplement 55 to ITU-T G-Series Recommendations – Radio over Fibre (RoF) technologies and their applications” [31] beschreibt zwar den prinzipiellen Aufbau und realisierte Laboraufbauten. Ein darüber hinaus gehender internationaler Standard, der eine Interoperabilität der Komponenten verschiedener Hersteller sicherstellt, ist aber bisher nicht bekannt. Ein breiter Marktdurchbruch dieser Technologie als Ergänzung oder Ersatz z.B. für bestehende WLAN-Systeme im Gebäude, wird unter diesen Voraussetzungen insbesondere im Vergleich zur sich weiterentwickelnden WLAN Technologie nach IEEE 802.11 daher für den InHaus-Bereich in naher Zukunft nicht gesehen.

3.3.6 Visible Light Communication (VLC)

Obwohl landläufig oft die Überzeugung herrscht, dass die Datenübertragung auf Basis von sichtbarem oder infrarotem (IR) Licht durch die Atmosphäre relativ neu ist, wird diese bereits seit Jahrzehnten im kommerziellen und militärischen Bereich angewendet. Aktuell unterliegen besonders Systeme mit sichtbarem Licht (Visible Light Communication, VLC) der Forschung, welche als Alternative zu HF-basierten WiFi-Systemen gesehen werden. Man

spricht dabei generell auch von optisch-drahtlos (OW, optical wireless) oder auch von Free Space Optics (FSO).

Heute am Markt erhältliche IR-FSO-Systeme übertragen Datenraten von mehr als 1 Gbit/s im Vollduplex-Betrieb zwischen einzelnen Gebäuden und Distanzen bis über 1 km – und das bei einem Bruchteil der Kosten einer Glasfaserstrecke im Boden. Anwendungen der FSO-Technik sind z. B.: Verbindung von LAN-Netzen einzelner Gebäude, Faser-Backup zur Datensicherung oder Backhaul (Rücktransport) im Mobilfunk.

Die Grundidee, die hinter der VLC-Technologie steht, ist die Idee einer Mehrfachnutzung der vorhandenen Raumbeleuchtung – also Licht im sichtbaren Bereich des Spektrums: **„Optischer Funk“ oder „Optical Wireless“.** Neben der statischen Lichtemission zur Beleuchtung eines Raumes wird also ein zusätzliches Datensignal aufmoduliert. Mit der Etablierung von Leuchtdioden für die Beleuchtung von Räumen stehen heute Lichtquellen zur Verfügung, die eine schnelle Modulation der Intensität ermöglichen, welche notwendig ist für diese Art der Datenübertragung. Inzwischen wurden verschiedene VLC-Prototypen mit roten, grünen, blauen und weißen (RGB oder blau mit Phosphor) LEDs realisiert. Auch optisches MIMO (Multiple Input Multiple Output) wurde studiert. In den Nakagawa Laboratorien der Keio-Universität in Japan wurde schon 2003 eine erste Übertragungsstrecke entwickelt, und im Jahr 2010 wurden im Labor (Siemens zusammen mit den Fraunhofer-Institut HHI/Berlin) bereits Datenraten von 500 Mbit/s über eine Entfernung von bis zu 5 m erzielt [32].

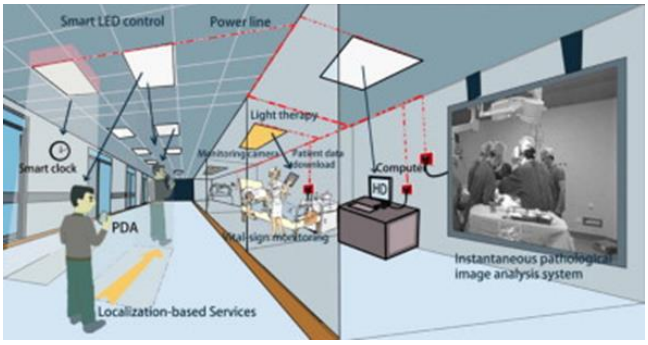


Bild 3.19: A hybrid power line (PLC) and visible light communication (VLC) system for indoor hospital applications [33]

Seit 2008 wird an der Standardisierung der Übertragung im Rahmen der IEEE 802.15.7 Organisation gearbeitet, welche 2012 zu einem ersten Standard führte. Dieser wird derzeit überarbeitet und soll zukünftig unter der Bezeichnung „Optical Wireless Communications“ firmieren, [34]. Derzeit wird mit einer Veröffentlichung des Standards IEEE802.15.7-2018 im November 2018 gerechnet, [35]. Hierbei sollen insbesondere Kamera-basierte Empfangssysteme eine entsprechende Rolle spielen, da die Senderseite gut entwickelt, die Empfangsseite derzeit aber noch Defizite bei der Umsetzung zeigen. Eine belastbare Aussage zu Datenraten und Randbedingungen für eine robuste Verbindung ist aber erst nach Verabschiedung der IEEE802.15.7-2018 wirklich möglich. Darüber hinaus arbeitet die ITU-T an einem Standard “G.vlc“, der ebenfalls auf der OFDM-Modulation (Optical Frequency Division Multiplex-Modulation) aufbaut.

Für den kommerziellen Erfolg sind zwei wichtige Bereiche offen: Zum einen fehlen derzeit noch entsprechende Adapter für Endgeräte, zum anderen ist die Realisierung eines Rückkanals vom Endgerät zur Infrastruktur noch offen.

Um eine Akzeptanz der Technologie bei den Nutzern zu erreichen, muss auch Kompatibilität des Systems zu vorhandenen Endgeräten sichergestellt sein. Der Einsatz von Adaptern stellt nur eine Möglichkeit für fest installierte oder stationäre Endgeräte dar. Für mobile Endgeräte,

wie einem Smartphone, ist aber eine Lösung ohne Adapter notwendig. Als Empfänger bietet sich im Smartphone ausschließlich die integrierte Kamera an.

Für die Problematik des Rückkanals wird noch keine wirkliche Lösung gesehen, die realistische Chancen auf eine kommerzielle Realisierung aufweist. Als Quelle kann aus heutiger Sicht nur die Beleuchtung des Displays oder das Kameralicht dienen. Aufgrund der gerichteten Strahlcharakteristik beider Systeme und der üblichen unvorhersehbaren Bewegung des Nutzers im Raum ist eine ununterbrochene optische Verbindung des Endgerätes zur Infrastruktur allerdings schwierig realisierbar.

Einer breiten Etablierung dieser Übertragungstechnologie wird aus den genannten Gründen daher zurzeit noch keine große Chance eingeräumt – die Anwendung adaptiver Optik oder des optischen MIMO könnte allerdings neue Ergebnisse für die Bewertung liefern.

Eine Nischenanwendung, wenn überhaupt, wird in der stationären Punkt-zu-Punkt Verbindung (z. B. 4k/8k Video/TV) oder Lokalisierungsdiensten in geschlossenen Räumen gesehen, in denen funkbasierte Systeme aufgrund baulicher oder regulatorischer Voraussetzung nicht realisierbar sind. Nach einer Studie des Marktforschungs-Unternehmens „MarketsandMarkets Research Private Ltd.“ vom Nov. 2015 befindet sich der VLC-Markt gegenwärtig in der Einführungsphase; die weltweite Marktgröße betrug in 2015 327,8 Mio. USD und soll bis 2020 auf 8,5 Mrd. USD angestiegen sein (Wachstumsrate 91,8 %), s. [36].

4. Organisatorische Handlungsfelder

Ziel im Bereich Organisation ist zunächst die Etablierung des Netzwerkes. Diese erstreckt sich über die Öffentlichkeitsarbeit bis zu den Handlungsfeldern mit den Themen:

- Zertifizierung und Standardisierung
- Dienstleistung und Schulung sowie
- Demonstrations- und Anwenderzentrum

4.1 Etablierung des Netzwerkes

Grundlage der Handlungsfelder und Maßnahmen ist die Struktur des F2NET, die eine Wertschöpfungskette darstellt und den Weg zur Etablierung des Netzwerkes bestimmt. Vertreten sind wissenschaftliche F&E-Institute, Dienstleister, Komponentenhersteller sowie Systemhäuser. **Kunden und Anwender sind die Nutzer der F2NET-Technologien**.

Als Zielgruppen sieht F2NET hier insbesondere Architekten, Bauträger, Handwerker, aber auch Fachplaner, Heimwerker, Berufsschullehrer, sowie Vertreter der Wohnungswirtschaft, Hotelbetreiber oder Fertighaushersteller.

Im Rahmen der **Öffentlichkeitsarbeit** sind folgende Maßnahmen auf den Weg gebracht:

- Ein LOGO und ein Poster sind erstellt; die Domäne f2net.org existiert. Das Poster wurde auf der 12. ITG-Fachkonferenz Breitband-Versorgung in Deutschland, 18.-19. April 2018 Berlin, gezeigt.
- F2NET ist bei LinkedIn, der Universität Duisburg-Essen (UDE) und dem Cluster NMWP.NRW (NanoMikroWerkstoffePhotonik) vernetzt.
- Die Webseite f2net.org sowie ein Flyer sind in Arbeit.
- Für Veranstaltungen des F2NET wird eine Projektmappe erstellt, die dann auch für die Anwerbung neuer Mitglieder (nach Phase 1) genutzt werden kann.
- Zusammen mit dem OpTech-Net e. V. wird von JS Deutschland eine Multimedia-Image-Broschüre erstellt, in der F2NET vorgestellt wird.

- Mit Unterstützung der Bundestechnologiezentrums für Elektro- und Informationstechnik (BFE) Oldenburg wird ein Video als Werbekampagne hergestellt, in dem das F2NET als „Problem-Lösung“ verkörpert werden soll.

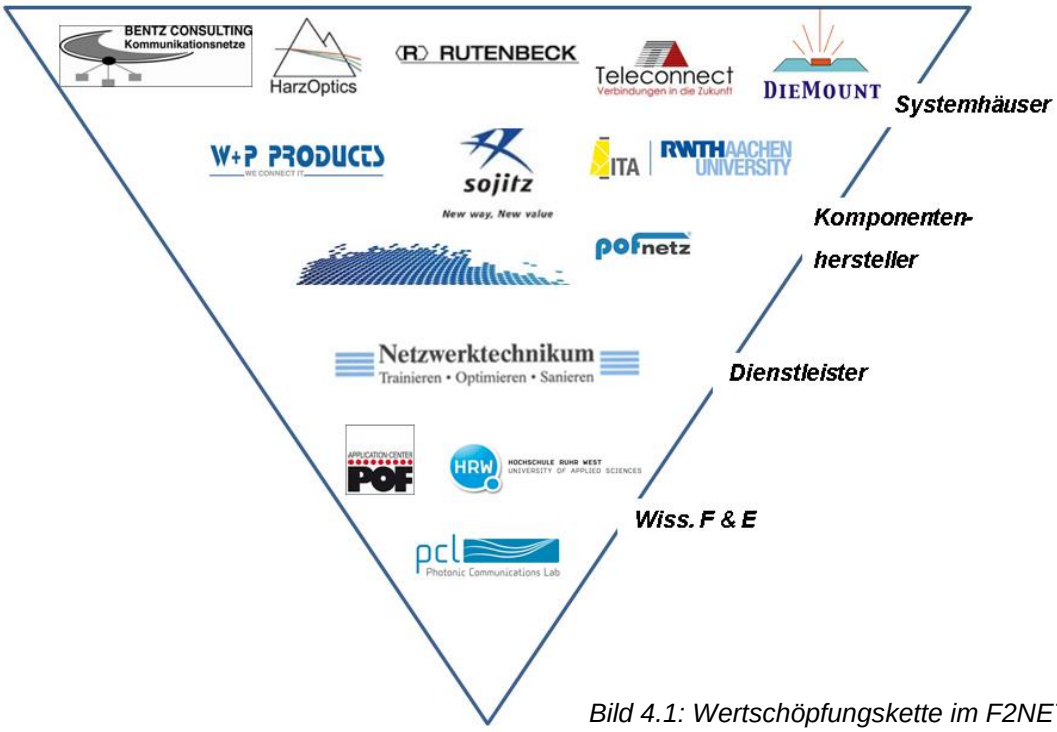


Bild 4.1: Wertschöpfungskette im F2NET

Folgende **Kooperationen** sind verabredet:

- Mitarbeit im Bundesverband Breitbandkommunikation (BREKO): Mitarbeit in der Arbeitsgruppe „Gebäudenetze“ im Arbeitskreis „Technik“
- Mitarbeit in der ITG-Fachgruppe „Access- und Home-Networks des ITG-Fachausschusses KT 2 „Kommunikationsnetze und -systeme“
- Mitarbeit im DKE-Normungsausschuss
- Kooperation mit dem Verband der Anbieter von Telekommunikations- und Mehrwertdiensten (VATM e. V.), dem Breit-Band-Büro des Bundes, und mit Gigabit.NRW
- Kooperation mit dem EBZ - Europäisches Bildungszentrum der Wohnungs- und Immobilienwirtschaft - in Bochum
- Mitarbeit im OpTech-Net e. V. und im NMWP.NRW e. V.

Es wurde eine Arbeitsgruppe **Markteinführung** gegründet, wobei es inhaltlich vornehmlich um folgende Bereiche geht:

- Messtechnik für Produktspezifikationen, insbesondere im Gbit/s-Bereich, sowie Qualitätsprüfungen, Zertifizierung und Standardisierung bis hin zur Definition einer neuen Norm für „F2NET“
- Erstellung von Planungs- und Installationsrichtlinien sowie Unterlagen zu Schulungen und für die Aus- und Weiterbildung
- Aufbau eines Anwenderzentrums für Testumgebungen und zur Demonstration von F2NET-Gebäudenetzen in realer Umgebung
- Entwicklung einer standardisierten Bedienoberfläche der Managementsoftware

4.2 Zertifizierung und Standardisierung

Zur Erhöhung der Akzeptanz bei Nutzern soll ein Gütesiegel - Zertifikat - angewendet werden, das die Qualität der Breitband-Ausstattung, aber auch die Kompatibilität der Komponenten und Systeme nachweist. Es stellt sicher, dass die Produkte miteinander harmonieren, und so der Anwender eine einheitliche Lösung nutzen kann und nicht auf ein proprietäres System eines einzelnen Herstellers angewiesen ist. Eine Möglichkeit ist die Vergabe des Breitband-Gütesiegels der dibkom, s. Bild 4.2.

Info: Der Breitband-Bedarf wächst mit den Anwendungen; doch leider fehlt oft die Infrastruktur. Als Planungs-grundlage dient z. B. die DIN 18015-1, die bereits mind. eine Datendose pro Raum bei strukturierter Verkabelung vorsieht

Bild 4.2: Gütesiegel Breitband in „Gold“, „Silber“ und „Bronze“ je nach Ausstattungswerten gem. RAL-RG 678 (dibkom, Deutsches Institut für Breitbandkommunikation GmbH, (https://dibkom.net/)

Folgende Mitgliedschaften existieren: VDI-GMA Arbeitskreis 8.15 „Prf. Kunststoff-LWL“ (Sojitz Europe plc., Wilhelm Rutenbeck GmbH & Co. KG); BREKO Gebäudenetze (Bentz Consulting GbR); VDE Fachausschuss FA KT4 (TH Nürnberg); DKE 734 (Univ. Duisburg-Essen); Wohnungswirtschaft (Bentz Consulting GbR); Homegrid Forum (Teleconnect GmbH).

Neben Änderungen der Hardware ist auch eine einheitliche Managementoberfläche verschiedener Geräte förderlich für die Akzeptanz der Komponenten. Dies ermöglicht ein Hersteller-übergreifendes Bedienungskonzept, welches das Management eines Netzwerkes durch den Anwender erleichtert und Fehlerquellen aufgrund von Fehleingaben minimiert.

Das F2NET-Konsortium verfügt in verschiedenen Laboren über eine breit ausgestattete Mess- und Prüftechnik in den folgenden Bereichen: Verkabelung, Netzwerkkomponenten, IT-Management speziell für LWL, opto-elektronische Komponenten, Elektronik, HF-Funktechnik, Mikro- und Millimeterwellentechnik. Es bestehen darüber hinaus gute Kontakte zu Partner-Unternehmen, falls spezielle Messgeräte nicht innerhalb der F2NET-Gruppe vorhanden sind.

Im Bereich Netzwerktester und Leistungsmesser für POF-Verkabelungen sind Pioniergeräte entwickelt worden und bei den Partnern verfügbar.

Bild 4.3: POF Installation Tester der Fa. DieMount GmbH [10]

Der neu entwickelte **„POF Installation Tester“** der DieMount GmbH kann z. B. den Nachweis erbringen, dass

• ein verlegtes POF Kabel eine für das Power-Budget des optischen Übertragungssystems ausreichend niedrige Dämpfung hat, und

• dass die optische Signalleistung am Kabelende für den Receiver ausreichend hoch ist

und so den Installateur bei der Durchführung dieser Aufgaben unterstützt. Dank des hohen Dynamikbereiches von 45 dB, der Unempfindlichkeit gegenüber Fremdlicht externer Lichtquellen und einer integrierten LED Sendelichtquelle mit den gleichen spektralen Eigenschaften eines Datentransceivers ist der „POF Installation Tester“ geeignet um festzustellen, ob die optische Dämpfung eines bereits im Gebäude verlegten Duplex- oder Simplex POF-Kabel ausreichend ist für den Betrieb eines Übertragungssystems mit definiertem Leistungsbudget.

Bild 4.4: POF MESSGERÄT OFT-820 N POF (Optokon, homefibre [21])

Der optische **Loss Tester OFT-820** der Firma Optokon (http://www.optokon.com/) wurde zum Messen von POF-Kabeln entwickelt. Er kann Leistungen bei zwei Wellenlängen messen, 650nm oder 850nm. Das Gerät kann zudem ca. 3000 Messergebnisse speichern, und die Daten können zur Dokumentation über eine PC Software ausgelesen werden.

Bei der **faseroptischen Sensorik** werden z. B. drei POF-gekoppelte LED-Module unterschiedlicher Wellenlänge benutzt, deren Licht dann über einen 1×3 Splitter auf eine gemeinsame Ader eines Duplexkabels zum Messobjekt geleitet wird. Dort wird es reflektiert, über die zweite Ader des Duplexkabels zurückgeführt und detektiert. Die Elektronik sorgt über Zeit- oder Frequenzmultiplex für die Unterscheidung der drei Wellenlängen.

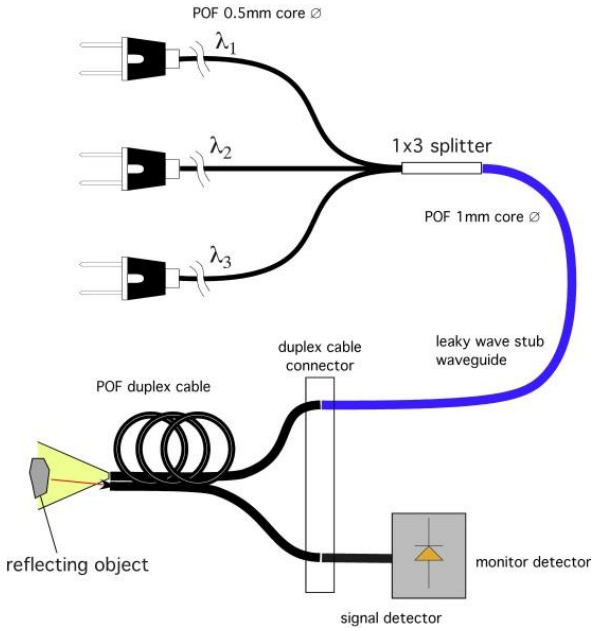


Bild 4.5: Messprinzip für die faseroptische Farbmessung mit POF-Kabel [10]

Das Messsystem bekommt auf diese Art die Information über das Transmissions- und Reflexionsverhalten des Messobjektes für jede der drei Wellenlängen.

4.3 Dienstleistung und Schulung

In diesem Bereich werden zwei Themen bearbeitet:

- Erstellung von Plänen und Richtlinien für die Schulung von z. B. Architekten und Installateuren. Hierzu entwickeln die Partner einen einheitlichen Anforderungskatalog, der auch als Basis für die zu planenden Messungen dient, die die Qualität und die Einhaltung der gegebenen Standards sicherstellt.

- Aufbau eines Maßnahmen-Katalogs für die Aus- und Weiterbildung

In Kooperation mehrerer Partner entstehen hier die Grundlagen für Schulungen und Lehrpläne. Ziel ist hierbei, auf e-Learning bzw. digitale Schulung zu setzen – sowohl im Unterrichtsbereich als auch bei Praktika und Prüfungen/Zertifizierung.

Für die Gebäudeplanung werden sog. Konfiguratoren in Verbindung mit Kalkulations-Software und Optimierungsstrategien bedeutsam. Diese Software soll gemeinsam entwickelt werden.

4.4 Demonstrations- und Anwender-Zentrum

Neben entsprechenden Publikationen (Flyer, Poster, Handbuch, Datenblätter, Best-Practice Beispielen, usw.) wird auch entsprechendes Demonstrationsmaterial zusammengestellt, das sowohl zur Anschauung, aber auch für praktische Übungen und Training geeignet ist.

4.4.1 Demo-Koffer

Ein Demo-Koffer zur Demonstration von POF-Netzwerken ist vorhanden und wird laufend aktualisiert, kann aber auch für Trainingszwecke verwendet werden.

Bild 4.6: Demo-Koffer der Fa. Wilhelm Rutenbeck GmbH & Co. KG [20]

Zum Inhalt des Demo-Koffers gehören: POF-Medienkonverter für 100 Mbit/s und 1 Gbit/s; Switch mit 5x1 Gbit/s; POF-Switch mit 1xRJ45 und 4xPOF; 4fach IP-Aktor; POF-UP-Switch 2x1 Gbit/s; POF-WLAN-Accesspoint 100 Mbit/s; proLock IP-POF; IP-Schaltaktor und ein passiver POF-Auslass. Demonstrieren lassen sich POF-Netzwerke mit integriertem WLAN-Accesspoint sowie Steuerung von Gebäude- und Hausautomatisierung bzw. das „berechtigte“ Öffnen/die Zutrittskontrolle von Türen/Zugängen mit elektrischen Stellantrieben.

4.4.2 Demo-Wand

Der Aufbau der DEMO-Wand wird in enger Kooperation mit den Machern der Webseite erfolgen. Ein struktureller Aufbau, wie er den allgemeinen Zielen des F2NET entspricht, ist

Struktureller Aufbau des Demonstrators für Gebäudenetze in F2NET:

Zentraler Netzwerksternpunkt	Passive Datenleitungen (ohne Elektronik)			Client Elektronik
Hybridintegration auf Basis RJ45 mit elektrischem Switch (PPoE): • CATx Kabel • Coax mit PpoE • Cuba POF • Cuba GOF • ? G.hn Master Node	RJ45 Stecker oder Buchse ??	CATx	RJ45 Unterputzdose mit Montagefoto	CATx Patch Kabel
	Coax Stecker	Coax Leitung	Coax Unterputzdose	Coax Verbindungskabel
	steckerlos	POF duplex 2.2mm oder 1.5mm	MikroAP Dose steckerlos Unterputzdose steckerlos Leerdose	Cuba POF duplex UP Elektronik mit CATx Patch Kabel
Hybridintegration auf Basis SFP Switch für 100Mbps und 1Gbps: • Kupfer SFP • Coax SFP • 100Mbps POF SFP • 1Gbps POF SFP • GOF SFP	steckerlos	POF simplex, 2.2mm oder „bare fiber"	MC Aufnahmehalterung	Cuba POF simplex
	LC Stecker	SM GOF simplex	MikroAP Dose LC Adapter Unterputzdose LC Adapter	Cuba GOF alles auch mit WLAN AP

Bild 4.7: Das Triptichon: Passive Netzwerkstruktur mit zentralem Knoten mit elektrischem Hybrid Switch und Client-Elektronik [10]

entworfen, s. Triptichon in Bild 4.7. Hinsichtlich des Aufbaus der Demo-Wand sind die Kontakte zum Fraunhofer-InHaus-Zentrum in Duisburg noch zu erkunden.

4.4.3 Anwenderzentrum

Im Vordergrund des Projektes stehen zwar zunächst technische Aspekte. Darüber hinaus sollen aber noch weitere Aktivitäten gestartet werden, um die Akzeptanz der Technologie zu erhöhen. Als Gradmesser für die Akzeptanz und das Verständnis für ein neues Produkt bei den Anwendern sind entsprechende Demonstrationen von Netzwerken einschließlich der Messtechnik in realer Umgebung in Vorbereitung. Dazu ist der Aufbau des Demonstrations- und Erprobungszentrum (DEZ) bzw. Anwenderzentrums geplant, die den Herstellern Testumgebungen bereitstellt und den Anwendern – insbesondere fachfremden - die Nutzbarkeit demonstriert und so eine erfolgreiche Markteinführung ermöglicht. Das DEZ soll im Fraunhofer InHaus-Zentrum/Duisburg errichtet werden.

5. Innovationen und Projektideen

5.1 Wirtschaftliche Ziele

Einige Projektideen wurden bereits besprochen:

1. Weiterentwicklung des WLAN-Accesspoints für 2,4/5 GHz IEEE 802.11ax (Projekt 1)
2. Digitale Schulungen (Kurse, Praktika, Prüfungen) aufbauen (Projekt 2)
3. Ein Faser-Funk-Netz für die digitale Schule 4.0 entwickeln (Projekt 3)
4. Medienkonverter (digital und Funk) mit GOF-Anschluss entwickeln (Projekt 4)
5. Entwicklung eines Planungs- und Konfigurationstools für Gebäudenetze (Projekt 5)
6. Ein HomePON-Netz auf GOF-Basis in Gebäuden mit bis zu 10 Gbps entwickeln (Projekt 6)
7. POF-Netz auf Basis MLT3 für 100m und 100Mbit/s mit grüner LED und Avago-Empfänger für lineare Übertragung realisieren und vermarkten (Projekt 7)

5.2 F&E-Themen

Themen aus dem Bereich Forschung und Wissenschaft, die noch eine längere Vorlaufzeit haben, aber für die zukünftige und nachhaltige Entwicklung von F2NET von großer Bedeutung sein können, sind:

a. Weiterentwicklung des Produktes „Cuba“ [10]: Prinzip der Stromversorgung über ein Cat-5/-6-Kabel und den Stecker RJ45 nutzen, um die Multimedia-Dose mit Energie zu versorgen
b. 60 GHz in Gebäuden: Entwicklung von HF-photovoltaischen Zellen, die ohne weitere Energiezufuhr optische in HF-Strahlungsenergie wandeln. Aufbau eines Moduls, das mit einer Antenne integriert ist; ergänzend Einsatz der RoF-Technik
c. WDM-Technologie nutzen, um über ausgewiesene Wellenlängen optische Leistung zu übertragen, die dann nach Filterung beim Empfänger in elektrische Leistung zur Stromversorgung genutzt werden kann – auch in Multimedia-Dosen
d. Entwicklung eines POF-3R-Repeaters (Bekannt im GOF-Bereich) für „Re-Timing“, „Re-Powering“ und „Re-Shaping“ der optischen Signale bei der >1Gbit/s-Übertragung
e. Sensorik und Aktorik: Komponenten für den „SmartHome“-Ansatz im F2NET

5.3 Weitere Ziele

- ✓ Festlegung einer eigenen **Marke** für das Produkt „Faser-Funk-Netzwerk“, so dass nach außen eine gemeinsame Gruppe sichtbar wird

- ✓ **Sommer 2018**: Gründung der **Beratungs- und Planungsgesellschaft „F2NET“** („F2NET Forum“ oder „F2NET Alliance“, auch als e. V.) mit den Tätigkeitsfeldern Beratung, Planung, Schulung, Förderberatung, Kostenkalkulation und Entwicklung eines Geschäftsmodells

- ✓ **Sommer 2018**: Akquise **weiterer (Kooperations-)Partner** (für Phase 2), z. B. Wohnungswirtschaft, SmartHome Initiative, dibkom - Deutsches Institut für Breitbandkommunikation Gmb, Fraunhofer InHaus-Zentrum, Microsens GmbH & Co. KG; BKtel Communications GmbH; Fränkische Rohrwerke Gebr. Kirchner GmbH & Co. KG, Deutsche Glasfaser Holding GmbH; FTTH Council Europe; ELDAT GmbH; Fuba Vertriebs-GmbH, homefibre GmbH, IMST GmbH, Netcologne AG, homefibre digital networks; usw.

- ✓ **In 2019**: In einem zweiten Schritt ist ein Systemhaus „F2NET“ zu gründen, das für die Errichtung und den Betrieb von Gebäudenetzen eigenwirtschaftlich zuständig ist.

6. Marketingkonzept

Grundlage des hier vorgestellten Konzeptes ist, dass insbesondere eine inhaltsgetriebene, zielgruppenspezifische Öffentlichkeitsarbeit die Basis für das Technologieverständnis in der heterogenen Gesamtzielgruppe legt.

Hinzu kommt ein weiterer technischer Hintergrund: Neben dem Wohnungsbau ist die Digitalisierung in Deutschland derzeit zentrales Thema. Auch im kürzlich veröffentlichten Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD ist der flächendeckende Ausbau von Gigabit-Netzen mit Glasfasertechnologie verankert [1]. In den vergangenen Jahren ist dem Trend der Digitalisierung in Deutschland nicht die Aufmerksamkeit zuteil gekommen, die notwendig wäre, um mit der internationalen Entwicklung Schritt zu halten, weshalb der aktuelle Schritt der Bundesregierung sehr zu begrüßen ist und durch das ZIM Kooperationsnetzwerk „F2NET“ eindeutig unterstützt wird.

Nur durch ein **konsequentes Weiterführen der Glasfasertechnologie in den Gebäuden** selbst kann das volle Potenzial des Glasfaser-Ausbaus in vollem Umfang genutzt werden. Über die Entwicklung der Technologien für Faser-Funk-Netzwerke hinaus kommt in diesem Kontext dem Marketing eine besonders wichtige Aufgabe zu: Ziel muss die zielgruppengerechte Ansprache der verschiedenen Akteure sein. Die Kommunikation muss hierbei inhaltsgesteuert und fachspezifisch erfolgen, da „Strukturierte Faser-Funk-Netzwerke in Gebäuden“ derzeit noch erklärungsbedürftige Produkte sind. Der Aufbau eines positiven Images ist ein gezieltes „Nebenprodukt“ der Kampagne, wobei es in erster Linie darum geht, den Technologiebereich in den Köpfen der Entwickler, Ausbilder und Anwender zu verankern und mit konkreten Inhalten aufzuladen.

Die besondere Herausforderung liegt hierbei an der Heterogenität und den damit einhergehenden unterschiedlichen Motivationen, sich dieser Technologie zu nähern: Während es den Architekten darum geht, kosteneffiziente Lösungen zu haben, die eine hohe Designfreiheit bei vergleichsweiser hoher Leistung im Gegensatz zu anderen Lösungen zulassen, benötigen Handwerker eine Technologie, die einfach und schnell zu verbauen und unempfindlich ist. Darüber hinaus sollten die Komponenten leicht erhältlich und lagerfähig sein. Andererseits geht es Vertretern von Wohnungsbaugesellschaften oder Hotelbetreibern darum, durch moderne, möglichst wartungsarme „Features“ den Wert von Immobilien beziehungsweise die Übernachtungskosten zu steigern.

Wichtig ist es dementsprechend im Hinblick auf die Entwicklung der Kommunikations- bzw. Marketing-Strategie, jeder der Zielgruppen eine eigene, für sie spezifische und auf die für sie relevanten Merkmale fokussierte Kommunikation zur Verfügung zu stellen und dennoch – wo sinnvoll – inhaltliche Überschneidungen zuzulassen, um eine stringente Kommunikation zu erreichen und keine inkompatiblen „Insellösungen“ zu schaffen. Das bedeutet: Die zentralen **USPs, sprich Verkaufsvorteile**, sollten über die gesamte Kommunikation einheitlich sein und mit entsprechend relevanten Informationen für die Zielgruppe spezifisch angereichert werden.

Ein besonderes Augenmerk sollte bei der Ansprache auf **Endverbraucher** liegen. Viele der USPs sprechen – adäquat aufbereitet – vor allem die Endverbraucher an. Eine in den Endkunden verankerte positive Einstellung zu Faser-Funk-Netzwerken wird dazu führen, dass diese Technologien als Verkaufsargument der anderen Zielgruppen genutzt werden kann. Eine strahlungsfreie, zukunftssichere und zuverlässige Netzwerkanbindung hebt den Wert von Immobilien, usw.

Ein einheitlicher Markenauftritt von F2NET bildet bei sämtlichen die Grundvoraussetzung für eine effiziente, professionelle Öffentlichkeitsarbeit. Im Einzelnen:

6.1 USPs von Faser-Funk-Netzwerken

Zu den USPs von Faser-Funk-Netzwerken in Gebäuden zählen:

- hohe Übertragungsgeschwindigkeiten
- zuverlässig
- keine Interferenzen, dadurch
- weniger störanfällig
- einfach zu installieren, einfache Abnahme
- wartungs- und verschleißfrei
- einfach nachrüstbar
- strahlungsfrei
- zukunftssicher
- sicher (schwer zu hacken)
- schnell

6.2 Zielgruppen

Dabei stehen folgende Zielgruppen im Fokus:

- Architekten und Fachplaner
- Handwerker
- Heimwerker
- Berufsschullehrer
- Aus der Wohnungswirtschaft
    - Wohnungsbaugesellschaften
    - Hausverwaltungen
    - Hausmeister-Services
    - Pflege-, Altenheime, Krankenhäuser, KiTas
- Im Rahmen öffentlicher Einrichtungen
    - Verwaltungen, Ämter
    - Schulen
    - Universitäten
    - Krankenhäuser
    - KiTas
- Handelsketten/Handelskonzerne
- Hotelbetreiber
- Fertighaushersteller
- Schiffe/Flugzeuge

- Endverbraucher

6.3 Multiplikatoren

Als Multiplikatoren für F2NET sind vor allem Interessenverbände, Vereine und die administrative Ebene (Abteilungen und Referate von Bundes- und Landesregierungen) geeignet, da sich die Kampagne in erster Linie auf den Transport von Inhalten („Strukturierte Faser-Funk-Netzwerke in Gebäuden“ sind erklärungsbedürftige Produkte) und nachgelagert auf imagebildende Maßnahmen fokussiert.

- Vereine
    - Verein Deutscher Ingenieure (VDI) e.V.
    - Verband Deutscher Architekten (VDA) e.V.
    - BREKO Verband
- Ausbildung
    - Handwerkskammern
    - Industrie- und Handelskammern (IHKs)
    - Berufsschulen
    - Fachhochschulen und Technische Hochschulen, oberflächlich auch Universitäten (Grundkenntnisse über Technologien)
- Hotellerie
    - Hotelverband Deutschland (IAH)
    - Deutscher Hotel- und Gaststättenverband e.V. (DEHOGA)
- Sonstige Branchen/Technologiebereiche
    - Smart Home, Homeautomation

6.4 Medien

6.4.1 Projekthomepage

Zentrales Element der gesamten Kommunikation sollte – sowohl aus Kosten- als auch aus Gründen der Reichweite – eine gut strukturierte Homepage sein. Auf der Homepage sollte direkt auf der Startseite eine „Aufteilung“ in Zielgruppen entstehen:

- Für Bauträger, Architekten, Planer
- Für Handwerker, Elektrohändler und Installateure
- Für Service-Provider, Software-Anbieter, IT-Dienstleister
- Für Endverbraucher

Auf der Startseite sollte bereits prominent (zum Beispiel über einen Bild-Slider mit Headlines) mit den zielgruppenübergreifenden USPs gearbeitet werden. Eine einfache Vorstellung der Technologie in Form einer Grafik mit zugehörigem Text oder – besser noch – eines YouTube-Erklärfilms bietet einen „leichten“ Einstieg in die Thematik. Eine Kontaktmöglichkeit für generelle Rückfragen sollte auch bereits auf der Startseite gegeben werden.

Die zielgruppenspezifischen Unterseiten steigen – auf die jeweiligen Bedarfe angepasst – tiefer in die Materie ein.

Für die Struktur der Website bieten sich folgende Punkte an:

- Über uns
  - Vorstellung F2NET
  - Vorstellung der Partner in kurzen Profilen
  - Kontakt zu Ansprechpartnern
  - Vorstellung von Kooperationspartnern (Multiplikatoren)

- F2NET
  - Für Bauträger, Architekten, Planer
  - Für Handwerker, Elektrohändler und Installateure
  - Für Service-Provider, Software-Anbieter, IT-Dienstleister
  - Für Endverbraucher

- Die Technik
  - Was steckt dahinter?
  - Planung und Installation
  - Gigabit-Netzwerke
  - Anwendungsszenarien
  - Neubau
  - Nachrüstung

- Anwendungsbeispiele
  - Einfamilienhaus
  - Mehrfamilienhaus
  - Wohnanlagen
  - Hotels, Gastronomie
  - Schulen, Universitäten
  - Einzelhandel
  - Bürogebäude

- Produkte:
  - Vorstellung von Produkten, die am Markt erhältlich sind sowie Bezugsquellen

- FAQs
  - Technologie
    - Installation
  - Anbieter/Dienstleister

- Download:
  - Download von Broschüren und Info-Material vom F2NET

- Kontakt und Impressum

6.4.2 F2NET-Vernetzungs- und Austauschplattform

Zur erfolgreichen Umsetzung der im ZIM-Kooperationsnetzwerk „Strukturierte Faser-Funk-Netzwerke in Gebäuden (F2NET)“ gehört vor allem der intensive Austausch zwischen den verschiedenen Interessengruppen vom Architekten über Fachplaner, Handwerker, Heimwerker bis hin zu Vertretern der Wohnungswirtschaft und Hotelbetreibern. Auch die Ausbildung, sprich (Berufsschul-)Lehrer müssen eingebunden werden, um die Ausbildung qualifizierter Fachkräfte mit hoher Kompetenz in den Bereichen Faser- und Funknetzwerke zu gewährleisten.

Durch den Austausch und die Vernetzung der Interessengruppen auf einer digitalen Plattform sind sowohl Informationen als auch Kooperationspartner und Anbieter von Leistungen jederzeit schnell aufrufbar

---

Durch den niedrigschwelligen Zugang zu entsprechenden Experten wird die Etablierung dieser Technologien nachhaltig unterstützt. Darüber hinaus bietet die Plattform auch Heimwerkern und Akteuren aus der „Maker“-Szene einen Zugang und damit die Möglichkeit, ihre innovativen Ideen mit „Professionals“ zu diskutieren. So werden die Faser-Funk-Netzwerk-Technologien auf allen Ebenen – vom Entwickler bis zum Anwender – diskutiert und dadurch kontinuierlich weiterentwickelt und schließlich etabliert.

6.4.3 Social Media

Die Social Media haben zum Erreichen der Zielgruppen eine große Relevanz bekommen. Für F2NET würde sich YouTube als zentraler Kanal für Erklär- und Best-Practice-Videos anbieten. Diese Videos können in die Website eingebunden werden (und auch offline für Präsentationen verwendet werden).

Darüber hinaus bietet Facebook einen guten Zugang zu den Endverbrauchern, um Vorteile zu kommunizieren, eine Community und ein positives Image aufzubauen. Darüber hinaus kann diese Community dann genutzt werden, um Produkte und Aktionen der Partner zu bewerben.

Twitter ist ein guter Kanal, um über die Aktivitäten innerhalb des ZIM-Kooperationsnetzwerks zu informieren. Zum Beispiel Neue Mitglieder, Beteiligung an Messen, Hinweis auf Förderprojekte, Subventionen, etc.

6.4.4 Newsletter

E-Mail-Newsletter sind ein preiswertes Medium, Informationen und aktuelle Nachrichten in die Community zu transportieren. Ein Nachteil ist jedoch, dass eine spezielle Ansprache von einzelnen Zielgruppen nur möglich wäre, wenn jede Zielgruppe einen eigenen Newsletter

erhielte. Dadurch würde jedoch der Aufwand um ein Vielfaches steigen, weshalb der Versand eines einzelnen Newsletters an ALLE Abonnenten mit einem Mix an Informationen die realistischere Variante wäre.

6.4.5 Technologie-Sonderausgabe in Zeitungen

Wochenzeitungen wie zum Beispiel „Die Zeit“ und auch Fachzeitungen wie die „VDI Nachrichten“ veröffentlichen regelmäßig themenspezifische Sonderausgaben beziehungsweise Sonderbeilagen. Eine redaktionelle Aufbereitung der Technologien erhöht die Glaubwürdigkeit und die Relevanz.

6.4.6 Anzeigen, Beileger

Über Anzeigen und Beileger in entsprechenden Magazinen ist es möglich, auf kompakte Art mit werblicher Ansprache die Bekanntheit von F2NET zu erhöhen und ein positives Image als kompetenter Ansprechpartner aufzubauen. Der Vorteil der Beileger und Anzeigen ist, dass mit Zeitschriften und Zeitungen die Zielgruppen sehr direkt angesprochen werden können. Beileger hätten den Vorteil, mehr Informationen als Anzeigen transportieren zu können.

6.4.7 Messe- und Ausstellungsaktivitäten, Demonstratoren

Die Präsentation der Faser-Funk-Netzwerk-Technologien auf Messen, Kongressen etc. dient der Information eines Fachpublikums. So kann die Technologie in das „Relevant Set“ bei Entscheidungsträgern gelangen.

6.4.8 Broschüren, Faltblätter, Flyer

Analog zur Homepage werden für sämtliche Aktionen und auch als unterstützendes Material für Netzwerk-Partner Broschüren für die verschiedenen Zielgruppen aufgebaut. Auch hier wird eine einheitliche Systematik die Effizienz der Öffentlichkeitsarbeit erhöhen. Zum Beispiel könnten Broschüren über die Technologie informieren. Auf der letzten Seite gibt es die Möglichkeit, Flyer (2-Seiter) der dementsprechend relevanten Netzwerkpartner oder von relevanten einzulegen. So werden die in der Broschüre gegebenen Informationen modular mit Ansprechpartnern verbunden, und das modulare System ist zudem mit geringem finanziellen Aufwand durch neue Flyer aktualisierbar. Faltblätter, zum Beispiel im DIN-Lang-Format können aufgrund des geringeren Gewichts und geringerer Produktionskosten in größeren Stückzahlen verteilt werde. Dafür ist allerdings die Detailtiefe in den Faltblättern geringer als in den Broschüren.

6.4.9 Mailings

Über Kooperationspartner und Multiplikator-Netzwerke kann über Mailings (Papier ebenso wie digital) eine große Zahl potenzieller Interessenten angesprochen werden. Auch hier ist eine sehr zielgruppenspezifische Ansprache möglich. Diese Mailings können entweder in regelmäßigen Abständen, ähnlich dem Newsletter, oder punktuell zu speziellen Themen erstellt werden.

6.4.10 F2NET-Magazin

Je nach Größe und Aktivität des F2NET-Netzwerks könnte ein eigenes Magazin, welches in regelmäßigen Abständen erscheint, ein gutes Medium sein. Die Ziele dieser Form der Außendarstellung wären das Vergrößern des Netzwerks, die Information der Zielgruppen über aktuelle Entwicklungen, Trends, etc. sowie die Präsentation der Netzwerk-Mitglieder. Da der Aufwand, ein Magazin zu erstellen, jedoch hoch ist und durch das regelmäßige

Erscheinen im Gegensatz zu den meisten anderen vorgeschlagenen Medien nicht punktuell, sondern regelmäßig entsteht, ist bei diesem Medium der Return on Invest dementsprechend schwierig zu messen – und zu erreichen.

7. Zusammenfassung

Im hier vorgestellten Kooperationsnetzwerk „F2NET – Strukturierte Faser-Funk-Netzwerke in Gebäuden“ werden durch die Kombination zweier Übertragungsmedien die spezifischen Vorteile von optischen Netzwerken auf LWL-Basis (wie hohe Bandbreite, Stör- und Abhörsicherheit) und Funk-basierten Netzwerken (wie Mobilität, kein Eingriff in bestehende Bausubstanz) in einem gemeinsamen strukturierten Netzwerk verbunden. Neben den unterschiedlichen Übertragungsmedien werden vier verschiedene Netzwerk-Technologien einschließlich ihrer Komponenten beschrieben. Die ersten beiden Technologien beschäftigen sich mit Faser-gebundenen und WLAN-Netzwerken. Die beiden weiteren Technologien sind die Radio over Fiber (RoF) und die Visible Light Technologie (VLC).

Die ersten beiden Technologien betreffen bereits im Gebäude etablierte Technologien. So sind Faser-gebundene Übertragungsstrecken bei gewerblich genutzten Gebäuden heute schon Standard. Die Glasfaser-basierte Technologie bietet mit Datenraten von bis zu 100 Gbit/s genug Ressourcen, um auch zukünftig das Medium der Wahl zu sein. Sie wird ergänzt im Heimbereich durch die Polymer-optische Faser, da sie Vorteile bei der Verlegung aufweist. Dem Trend der zunehmenden Zahl von mobilen Endgeräten trägt andererseits die aktuelle Weiterentwicklung der WLAN-Technologie Rechnung. Neben der steigenden Datenrate in den aktuellen Frequenzbereichen kommen neue Frequenzen hinzu, die zusätzliche Möglichkeiten wie die Beschränkung auf einzelne Räume - in Form von Femtozellen - bieten. Neben den Übertragungsmedien spielen aktive Komponenten wie Medienkonverter und Switche eine zentrale Rolle, wobei die Schnittstellen eine entscheidende Rolle spielen. So sind passive und aktive optische Heim-Netzwerke denkbar.

Des Weiteren werden mit RoF und VLC zwei Technologien für die InHaus-Vernetzung beschrieben, die den kommerziellen Status noch nicht erreicht haben, insbesondere in den vergangenen Jahren aber immer wieder als zukunftsweisend beschrieben wurden. Fehlende Standards stellen neben den Kosten für diese Technologien ein Haupthemmnis dar, welche im Hinblick auf die rasante Weiterentwicklung der ersten beiden Technologien aus heutiger Sicht auch nicht als aufholbar erscheinen lassen.

Neben den technologischen Fragestellungen wird in einer Übersicht der Stand der organisatorischen Handlungsfelder erläutert, die über aktuelle Projektideen zu einem Innovationskonzept führen und den weiteren Weg des Netzwerks F2NET betreffen.

Darauf aufbauend wird ein Marketingkonzept dargestellt, welches die notwendigen Schritte beschreibt, die notwendig sind, um diese komplexe Technologie den verschiedenen notwendigen Zielgruppen näher zu bringen.

Referenzen

[1] „Ein neuer Aufbruch für Europa - Eine neue Dynamik für Deutschland - Ein neuer Zusammenhalt für unser Land, Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD“, Berlin (www.t-online.de; 07.02.2018)

[2] SWOT-Analyse (AP1.1); int. Sachbericht des F2NET (31. Jan. 2018) und *SWOT-Analyse der Netzwerkpartner im Rahmen des Projektes „F2NET – Strukturierte Faser-Funk-Netzwerke in Gebäuden“,* NMWP.GMBH (U1; 15.01.2018)

[3] Markt- und Marktpotentialanalyse im Rahmen des Projektes „F2NET – Strukturierte Faser-Funk-Netzwerke in Gebäuden“, NMWP.GMBH (U3; 31.01.2018)

[4] Recherchen zum Stand der Technik im Rahmen des Projektes „F2NET – Strukturierte Faser-Funk-Netzwerke in Gebäuden“, NMWP.GMBH (U2; 31.01.2018)

[5] „Marktanalyse / Wettbewerber“, F2NET-Sachbericht / AP 1.2, Duisburg (28.02.2018)

[6] „Roadmap und Marketingkonzept im Rahmen des Projektes F2NET – Strukturierte Faser-Funk-Netzwerke in Gebäuden“ NMWP.GMBH (U5; 20.03.2018)

[7] https://www.elektronik-kompendium.de/sites/kom/1304161.htm; (27.02.2018)

[8] http://www.pewinternet.org/2014/10/09/killer-apps-in-the-gigabit-age/ (17.01.2018)

[9] U. Pint, „Verkabelungsszenarien im Smart Home“, Vortrag auf der 12. ITG-Fachkonferenz Breitband-Versorgung in Deutschland, 18.-19. April 2018 Berlin

[10] http://www.diemount.com/, Details: http://www.diemount.de/willkommen/datentechnik-pof/primaersekundaernetz-installation/

[11] http://ieee802.org/11/ und http://www.ieee802.org/3/GEPOFSG/public/Tutorial/Presentation_v1.4.pptx

[12] „Polymer Optical Fibres - Fibre Types, Materials, Fabrication, Characterisation and Applications “, C.A. Bunge, T. Gries und M. Beckers (Hrg.), Elsevier Ltd. 2017

[13] "POF Market & Technology Assessment Study 2016”, Information Gatekeepers Inc. (2017)

[14] http://www.ieee802.org/802_tutorials/2012-07/BWATutorial_D1_12_0716.pdf

[15] https://www.elektronik-kompendium.de/sites/net/0603191.htm

[16] https://www.fraenkische.com/de/

[17] http://www.eurolan.de/

[18] “3M: Schneller Anschluss von Glasfaserleitungen”, 19. Januar 2018 | Von LANline/jos.

[19] https://www.lichtleiterkabel.com/de/lwl-kabel-konfektioniert-uebersicht-nach-laenge.html

[20] http://www.rutenbeck.de/produkte/c/line21R-systemkomponenten-fuer-die-nachinstallation.html

[21] https://www.homefibre.at/

[22] https://www.datalight-system.com/de/system/

[23] https://www.idealo.de/preisvergleich/OffersOfProduct/5760641_-edgeswitch-12-fiber-es-12f-ubiquiti.html#gallery

[24]http://www.ieee802.org/3/GEPOFSG/public/Sep_2014/Tsukamoto_GEPOF_01b_0914.pdf

[25] http://shop.fiber24.net/

[26] https://geschaeftskunden.telekom.de/blobCache/umn/uti/336192_1462358843000/blobBinary/planung-und-bau-von-glasfasernetzen.pdf

[27] https://www.computer-automation.de/feldebene/bildverarbeitung/artikel/89421/

[28] A. Bluscke (teleconnect GmbH (https://www.teleconnect.de)), priv. Mitteilung

[29]http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103200_103299/103247/01.01.01_60/ts_103247v010101p.pdf

[30]https://www.nttdocomo.co.jp/english/binary/pdf/corporate/technology/rd/technical_journal/bn/vol12_4/vol12_4_024en.pdf

[31] https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.Sup55-201507-I!!PDF-E&type=items

[32] http://idwf.de/-BV0nAA

[33] https://doi.org/10.1016/j.compind.2015.01.006

[34] https://mentor.ieee.org/802.15/dcn/18/15-18-0162-01-0000-802-15-summary-overview-status-2018-03.pptx

[35] https://mentor.ieee.org/802.15/dcn/18/15-18-0154-01-007a-15-7m-closing-report-march-2018.pptx

[36] http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/visible-light-communication-market-946.html?gclid=CKuAnPiJxssCFUko0wod7S0OVg

Danksagung

Die Arbeiten zu diesem „White Paper“ wurden im Rahmen des ZIM-Programms gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages (FKZ: 16 KN 075101). Wir möchten die Gelegenheit nutzen und uns bei den Netzwerkpartnern für die Unterstützung bei den durchgeführten Arbeiten bedanken.

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

ZIM Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand

Kooperationsnetzwerk 16 KN 075101: Projektlaufzeit 20.11.2017-31.10.2018

Koordinator: Prof. Dr.-Ing. A. Stöhr

*Netzwerkmanagerin: Dr. I. Jäger**

Universität Duisburg-Essen, ZHO / Optoelektronik

*Kontakt: irina.jaeger@uni-due.de

Tel.: +49 203 379-4639