

# Nachhaltigkeitsvergleich der Zugangsnetz-Technologien FTTC und FTTH

**TECHNISCHE HOCHSCHULE MITTELHESSEN**

13 Mai 2020

Verfasst von: Prof. Dr.-Ing. Kristof Obermann

# Nachhaltigkeitsvergleich der Zugangsnetz- Technologien FTTC und FTTH

---

## Inhalt

EXECUTIVE SUMMARY .....	2
PROJEKTZIEL.....	3
HINTERGRUND UND UMFANG DER UNTERSUCHUNG .....	4
BISHERIGE UNTERSUCHUNGEN .....	6
NACHHALTIGKEIT VON FTTC UND FTTH NETZEN .....	7
VERGLEICH STROMBEDARF UND GEWICHT DER SYSTEMTECHNIK.....	9
VERGLEICH STROMBEDARF .....	10
VERGLEICH GEWICHT .....	12
DEUTSCHLANDWEITE PLANUNG .....	13
STÄDTISCHE GEBIETE.....	19
LÄNDLICHE GEBIETE .....	22
BEISPIEL FÜR HALBSTÄDTISCHE GEBIETE: HALTERN AM SEE .....	25
FAZIT.....	28
REFERENZEN .....	29
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....	30

## Haftungsausschluss

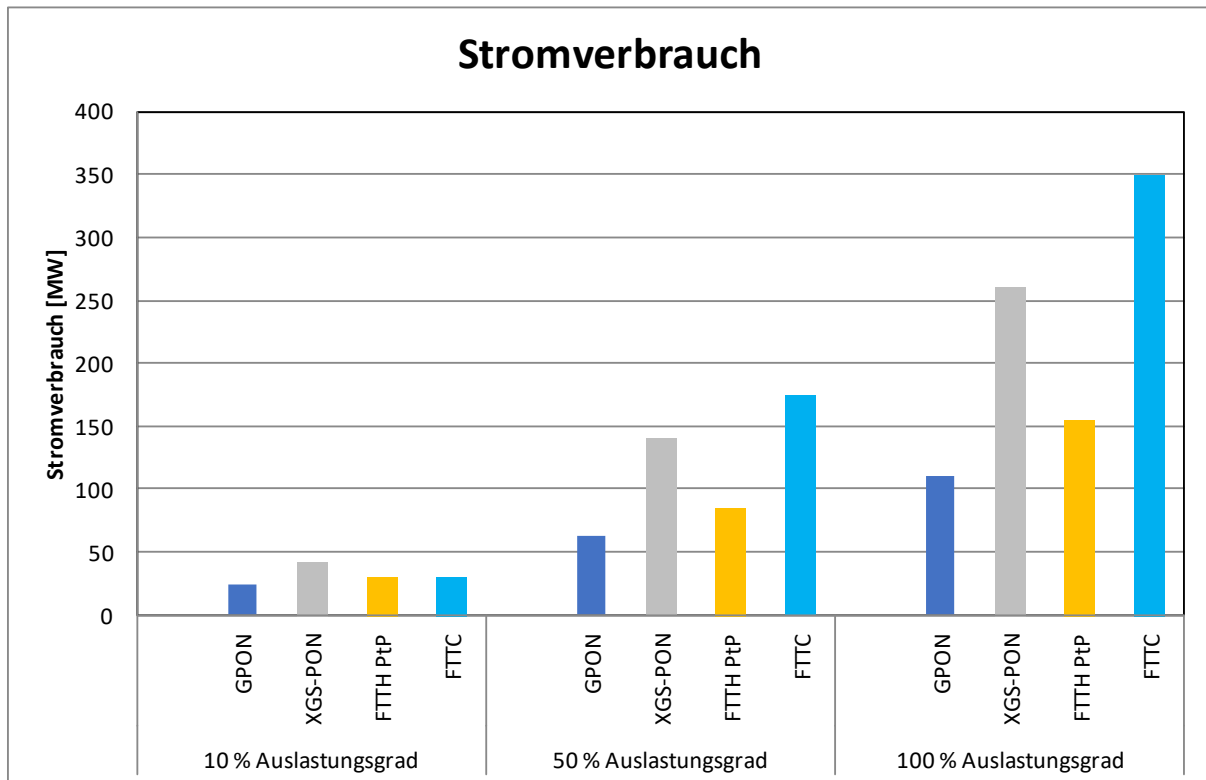
Die in dieser Publikation veröffentlichten Informationen spiegeln die Meinung des Autors wieder und stimmen nicht notwendigerweise mit den Ansichten des BREKO überein. Es wird keine Gewähr für die Richtigkeit der in diesem Bericht enthaltenen Daten gegeben und keine Verantwortung für ihre etwaige Verwendung übernommen. Die Wiedergabe der hier zur Verfügung gestellten Texte ist zulässig, sofern ein Hinweis auf die Quelle sowie die Unverbindlichkeit erfolgt.

## Executive Summary

Ziel des Gutachtens ist eine Untersuchung der Nachhaltigkeit der Zugangsnetz-Technologien FTTC (VDSL2 Vectoring, Super Vectoring) und FTTH in den Varianten GPON und Punkt-zu-Punkt. Hierzu wurde der Strombedarf und das Gewicht für die Systemtechnik für die folgenden Szenarien ermittelt: deutschlandweite Versorgung, städtische Gebiete, ländliche Gebiete und exemplarisch für halbstädtische Gebiete Haltern am See mit realen Daten der dort bestehenden Telekommunikationsnetze. Das Gewicht kann zumindest als Indikator genommen werden, um erste Aussagen über die benötigten Ressourcen für die Herstellung und Entsorgung zu bekommen. Die Kenngrößen Strombedarf und Gewicht wurden für verschiedene Auslastungsgrade sowohl absolut als auch bezogen auf die vermarktete Bitrate der jeweiligen Technologie dargestellt.

*Im Ergebnis wurde festgestellt, dass die hier betrachteten FTTH Technologien in jedem Szenario und für fast jeden Auslastungsgrad nachhaltiger als FTTC-Netze sind. Sie sind sowohl günstiger beim Stromverbrauch als auch in Bezug auf das Gesamtgewicht. Und das, obwohl bei FTTC einige optimistische und für FTTH sehr konservative Annahmen getroffen wurden.*

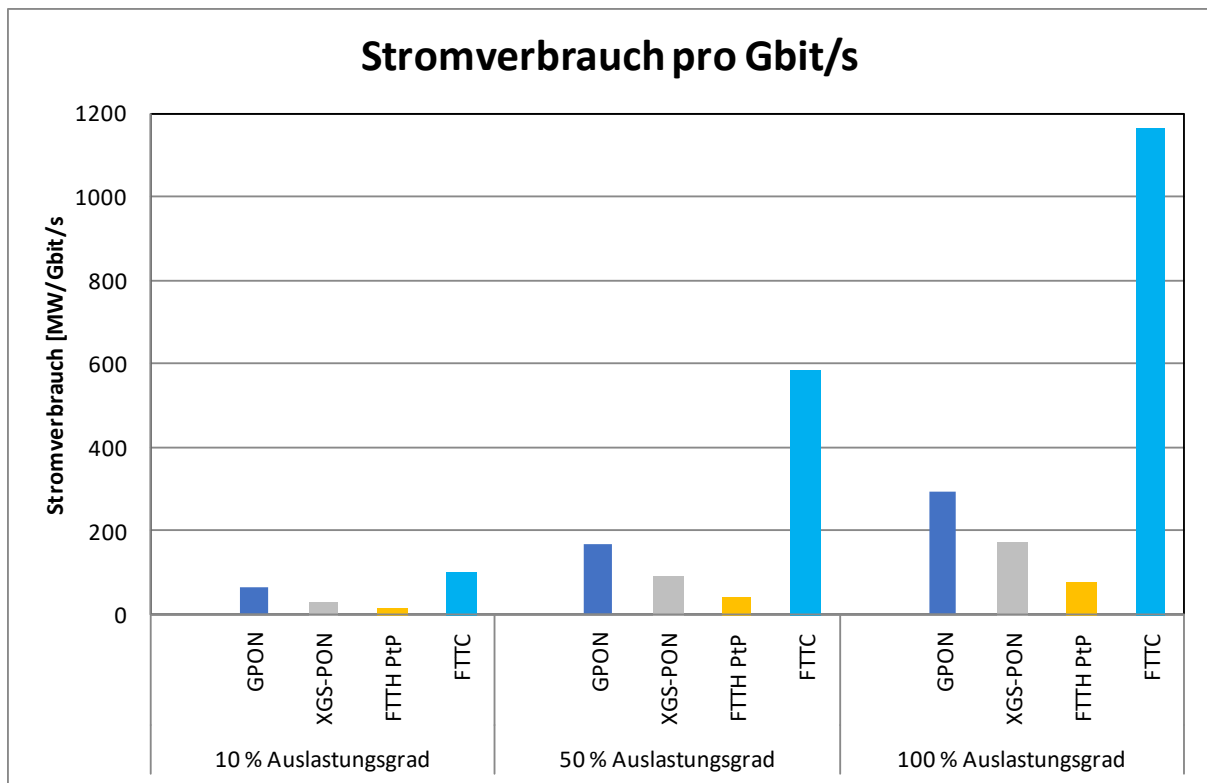
Die folgende Abbildung zeigt exemplarisch den erforderlichen Gesamtstromverbrauch der Zugangsnetze für eine deutschlandweite Versorgung mit der entsprechenden Technologie für verschiedene Auslastungsgrade:



Während GPON Clusterbitraten von 2,5 Gbit/s im downstream und 1,25 Gbit/s im upstream bereitstellt, können mit XGS-PON Clusterbitraten von 10 Gbit/s symmetrisch realisiert werden. FTTH PtP bezeichnet FTTH Punkt-zu-Punkt Netze.

*Es wird deutlich, dass GPON in Bezug auf Nachhaltigkeit die günstigste FTTH Variante gefolgt von FTTH Punkt-zu-Punkt und XGS-PON ist. Bei einer Versorgung sämtlicher Haushalte in Deutschland (Auslastungsgrad 100 %) lassen sich mit GPON gegenüber FTTC fast 240 MW einsparen.*

*Bezieht man hingegen den Stromverbrauch und das Gewicht auf die Bitrate, so sind FTTH Punkt-zu-Punkt und XGS-PON die günstigsten FTTH Technologien, wie die folgende Abbildung zeigt:*



Bezogen auf eine Summendatenrate von einem Gbit/s lassen sich bei einer Vollversorgung mit FTTH Punkt-zu-Punkt Systemen sogar fast 1100 MW an Leistung und 48.000 t an Gewicht gegenüber FTTC einsparen. Zum Vergleich: Typische Kohle-Kraftwerksblöcke erreichen Leistungen zwischen 100 MW und 1000 MW. In städtischen und ländlichen Gebieten sowie für die konkrete Beispielstadt Haltern am See ergeben sich ähnliche Ergebnisse.

Weiterhin haben die Untersuchungen gezeigt, dass ab einem bestimmten Auslastungsgrad der Stromverbrauch und das Gewicht der Netzelemente beim Teilnehmer (CPE bzw. NT) den dominanten Anteil am Gesamtstromverbrauch bzw. Gewicht ausmachen. Optimierungen der NT haben folglich den größten Hebel in Bezug auf Stromverbrauch und Gesamtgewicht von Zugangsnetzen. Im Zuge dessen wäre die Implementierung von Sleep Modi, bei denen der Stromverbrauch des CPEs bei Inaktivität des Teilnehmers dynamisch reduziert wird, von großer Bedeutung. Derartige Mechanismen sind bei FTTC zwar technisch möglich und schon seit vielen Jahren standardisiert, führen jedoch aufgrund des Übersprechens zu Instabilitäten im Zugangsnetz und werden daher von den Netzbetreibern in der Praxis nicht eingesetzt. Bei FTTH sind Sleep Modi nicht nur technisch möglich, sind aber derzeit noch nicht implementiert, obwohl sie zu keinen Instabilitäten im Zugangsnetz führen würden. Hier ergibt sich folglich Optimierungspotential, um den Stromverbrauch von FTTH Technologien noch weiter zu stark reduzieren.

## Projektziel

Ziel des Gutachtens ist eine Untersuchung der Nachhaltigkeit der Zugangsnetz-Technologien FTTC und FTTH (GPON und Punkt-zu-Punkt). Dies impliziert eine vergleichende Darstellung des Energie-/Strombedarfs im laufenden Betrieb der Zugangstechnologien. Darüber hinaus soll ein Vergleich der benötigten Netzelemente (Gewicht) erfolgen, um erste Aussagen über die benötigten Ressourcen für die Herstellung und Entsorgung der Netzelemente zu bekommen. Die ermittelten Größen werden für verschiedene Auslastungsgrade der Zugangsnetze sowohl auf die Anzahl der Teilnehmeranschlüsse als auch auf die realisierbaren Datenraten bezogen. Darüber hinausgehende Betrachtungen (z.B. welche Materialien werden verwendet und wie energieintensiv ist deren Herstellung bzw. Entsorgung) werden nicht angestellt. Bei der Untersuchung wird ausschließlich die aktive

Infrastruktur (Netzelemente inkl. CPE) im Zugangnetz berücksichtigt. Die passive Infrastruktur (z.B. Glasfaser, Kupferkabel, Leerrohre) wird als vorhanden vorausgesetzt.

Zunächst werden die im BREKO-Positionspapier „Glasfasernetze und digitale Anwendungen für eine nachhaltige Entwicklung in Deutschland und Europa“ [1] zitierten Studien sowie weitere, im Rahmen der Fragestellung relevante Studien zusammenfassend dargestellt.

## Hintergrund und Umfang der Untersuchung

„Unter Nachhaltigkeit verstehen wir eine Entwicklung, die ökologisch verträglich, sozial gerecht und wirtschaftlich leistungsfähig ist.“ [2]. In Bezug auf Produkte und Technologien ist hierbei grundsätzlich die Herstellung, die Installation, der Betrieb sowie die Entsorgung zu berücksichtigen.

Es gibt verschiedene Arten von Zugangnetzen:

1. Glasfaser-basierte Zugangnetze (Varianten GPON und Punkt-zu-Punkt):
  - a. FTTB inkl. G.fast
  - b. FTTH
2. Kupferdoppelader-basierte Zugangnetze
  - a. ADSL (FTTEx)
  - b. VDSL2 17a / 35b (FTTC)<sup>1</sup>
3. TV Kabelnetz-basierte Zugangnetze (HFC)
  - a. DOCSIS3.0
  - b. DOCSIS3.1
4. Funk-basierte Zugangnetze
  - a. 4G/5G Mobilfunk
  - b. 4G/5G FWA

In diesem Gutachten werden die Technologien FTTH in den Varianten GPON (GPON und XGS-PON) und Punkt-zu-Punkt sowie FTTC (VDSL2 17a/35b) berücksichtigt. Funk-basierte Technologien werden in erster Linie als komplementäre Technologien für Festnetz-Breitbandanschlüsse gesehen, bei denen - wie bisher - mobile Anwendungen im Vordergrund stehen. Diese werden daher im Folgenden nicht weiter untersucht. In einem weiteren Schritt sollen ggf. auch die anderen Zugangnetz-Technologien adressiert werden.

Eine geeignete Gliederung von Telekommunikationsnetzen kann mit dem ISO-OSI Referenzmodell erfolgen (vertikale Gliederung). Darüber hinaus können Netze noch in Teilnehmer-, Zugangs- (Access-) und Kernnetze (Backbone) unterteilt werden (horizontale Gliederung) [3]. Eine Ende-zu-Ende Verbindung im Internet besteht aus folgenden Abschnitten:

1. Teilnehmernetz: Netz innerhalb der Teilnehmerlokation jenseits der TAE-Dose/Netzabschluss (engl. Network Termination [NT]).
2. Zugangnetz: Netzabschnitt vom NT bis zur ersten vermittelnden Einheit im Netz (IP-Router).
3. Kernnetz: Weitverkehrsübertragung und Vermittlung bis zu einem Internet-Koppelpunkt (Gateway).
4. In der Regel weitere IP-Kernnetze anderer Netzbetreiber (Transitnetze, werden auch als Autonome Systeme bezeichnet).

<sup>1</sup> VDSL2 35b wird auch als Super-Vectoring bezeichnet.

## 5. Ziel-Server/-Datencenter.

Die Abschnitte 2. und 3. stehen im Verantwortungsbereich des entsprechenden Telekommunikations-Netzbetreibers. Befindet sich der Ziel-Server im eigenen IP-Kernnetz, so entfällt der Abschnitt 4.

Mit dem OSI-Modell erhält man folgende Matrix in Bezug auf die vorliegende Untersuchung der Nachhaltigkeit von Zugangnetz-Technologien:

	<b>OSI Layer 0 (passive Infrastruktur)</b>	<b>OSI Layer 1-2 (aktive Netzknotten)</b>	<b>OSI Layer 3-7</b>	<b>Management Layer</b>
<b>Herstellung</b>	x	(ja)	x	x
<b>Installation</b>	x	x	x	x
<b>Betrieb</b>	x	Ja	x	x
<b>Entsorgung</b>	x	(ja)	x	x

TABELLE 1: ÜBERSICHT ÜBER DIE VERSCHIEDENEN ASPEKTE IN BEZUG AUF NACHHALTIGKEIT VON TELEKOMMUNIKATIONSNETZ-TECHNOLOGIEN.

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die verschiedenen Aspekte in Bezug auf die Nachhaltigkeit von Zugangnetz-Technologien und den Umfang der im vorliegenden Gutachten betrachteten Aspekte (in Tabelle 1 mit „ja“ gekennzeichnet).

OSI Layer 0 bezeichnet die passive Infrastruktur (d.h. Kupferdoppelader bei FTTC bzw. Glasfaser bei FTTH). Die Kupferdoppelader wurde in Deutschland bereits vor mehreren Jahrzehnten installiert. Hier erfolgt zwar noch eine Wartung bei Störungen (z.B. Kabelunterbrechungen), aber in der Regel keine Neuinstallation mehr. Auch Glasfasernetze sind zumindest im Kernnetz bereits seit vielen Jahrzehnten vorhanden: So sind Deutschland alle Hauptverteiler (HVt), der überwiegende Teil der rund 406.000 Kabelverzweiger (KVz) und Ende 2018 rund 5 Mio. [4] der 41,4 Haushalte direkt über Glasfasern angebunden. Zumindest mittel- bis langfristig ist davon auszugehen, dass der überwiegende Teil der heute noch nicht über Glasfaser angebundenen Kabelverzweiger, Haushalte sowie Mobilfunk-Basisstationen ebenfalls über Glasfaser versorgt werden. *Die passive Infrastruktur wird daher als vorhanden vorausgesetzt und im Rahmen des vorliegenden Gutachtens nicht betrachtet.*

Die größten Unterschiede bezüglich der Nachhaltigkeit der verschiedenen Access-Technologien werden sich bei den aktiven Netzelementen (OSI Schicht 1-2) in Bezug auf Betrieb (Stromverbrauch) sowie Herstellung und Entsorgung (Anzahl bzw. Gesamtgewicht) ergeben. Diese sollen im vorliegenden Gutachten untersucht werden.

Sowohl durch die weltweite Erhöhung der Anzahl der Breitband-Kunden als auch durch die Erhöhung der mittleren Datenrate pro Kunde hat sich in den letzten 10 Jahren der Anteil des Stromverbrauchs von Zugangnetzen am gesamten Stromverbrauch der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) erhöht, so dass derzeit Zugangnetze den größten Anteil am Stromverbrauch ausmachen [5;6]. Das Kernnetz ist daher nicht Bestandteil der vorliegenden Untersuchung.

Ebenfalls nicht berücksichtigt wird der Management Layer da davon auszugehen ist, dass dessen Auswirkungen in Bezug auf die Nachhaltigkeit bei allen genannten Zugangstechnologien vergleichbar sein wird.

Die in diesem Gutachten berechneten Werte wurden mit Werten aus realen Produktionsnetzen von FTTC und FTTH Netzbetreibern abgeglichen und stehen in guter Übereinstimmung mit diesen.

## Bisherige Untersuchungen

Der Stromverbrauch sowie die Nachhaltigkeit von Telekommunikations- und Zugangsnetzen wurde bereits in verschiedenen Studien untersucht. Tabelle 2 gibt eine Übersicht über diese Studien, den Umfang der Untersuchungen sowie die zentralen Ergebnisse.

Studie	Gegenstand/Umfang der Untersuchungen	Zentrale Ergebnisse
PWC 2008 [5]	Es wurde untersucht, nach wie vielen Jahren die Implementierung von typischen FTTH Netzen (GPON und Punkt-zu-Punkt) klimaneutral ist. Dabei wurden die Herstellung, die Installation und der Betrieb sowohl der aktiven als auch der passiven Infrastruktur sowie die zu erwartenden positiven Effekte durch Telearbeit, Telemedizin und Home Assistance berücksichtigt.	In den ersten 15 Jahren der Implementierung von FTTH Netzen können Treibhausgas (THG)-Emissionen in Höhe von ca. 330 kg CO <sub>2</sub> -Äquivalent pro Jahr und Teilnehmer eingespart werden. Für die folgenden 15 Jahre steigt die Einsparung auf 780 kg CO <sub>2</sub> -Äquivalent pro Jahr und Teilnehmer, da das Netzwerk bereits installiert ist und nur noch ein Teil der Infrastruktur erneuert werden muss.
TU Wien 2011 [6]	Stromverbrauch sowie die Auswirkung auf die Treibhausgas-Emissionen der Zugangstechnologien: ADSL2+, VDSL2 symmetrisch, DOCSIS3.0, FTTH GPON und FTTH Punkt-zu-Punkt.  Nicht berücksichtigt wurden die unterschiedlichen Reichweiten von FTTH und FTTC sowie der Stromverbrauch für die Kühlung der Systemtechnik.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• FTTH Technologien haben bezogen auf die Bitrate einen fast um eine Größenordnung geringeren Stromverbrauch als Kupfer-basierte Technologien (FTTC/HFC).</li> <li>• Durch eine ausschließliche Verwendung von FTTH (GPON) könnte man die Treibhausgas Emissionen pro Gbit/s um etwa 88 % reduzieren.</li> </ul>
University of Melbourne 2011 [7]	Stromverbrauch von drahtlosen (WIMAX, UMTS) und leitungsgebundenen Zugangstechnologien (ADSL, VDSL, HFC/DOCSIS, GPON, FTTH Punkt-zu-Punkt).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optische Zugangstechnologien (GPON, FTTH Punkt-zu-Punkt) sind bei hohen Bitraten die energieeffizientesten Technologien. Ab Teilnehmerbitraten von einigen Mbit/s sind die leitungsgebundenen Technologien deutlich effizienter als die drahtlosen Technologien, und GPON ist mit 7,5 W pro Teilnehmer die effizienteste Zugangstechnologie gefolgt von ADSL (8W pro Teilnehmer), HFC (8,5 W pro Teilnehmer), FTTH Punkt-zu-Punkt (12 W pro Teilnehmer) und VDSL (14 W pro Teilnehmer).</li> <li>• Durch Effizienzsteigerung bei den Netzelementen werden drahtlose Technologien auch in 2020 mindestens einen um Faktor 10 höheren Energieverbrauch als leitungsgebundene Technologien haben, und GPON wird weiterhin die Zugangstechnologie mit dem geringsten Energieverbrauch sein.</li> </ul>
R. Coomonte et al. [8]	Energieeffizienz von GPON und LTE	Der absolute Stromverbrauch pro Teilnehmer ist bei FTTH (GPON) zwar höher als bei LTE, beim Stromverbrauch pro Teilnehmer und Mbit/s ist

		hingegen FTTH (GPON) deutlich energieeffizienter als LTE.
Spectaris 2019 [9]	Auswirkungen der Photonik (u.a. auch FTTH Netze) auf die globale Nachhaltigkeit.	Unter Berücksichtigung der weltweiten Teilnehmerzahlen durch FTTH Netze im Vergleich zu anderen Technologien können aktuell etwa 13 Mio. Tonnen CO <sub>2</sub> eq vermieden. Dieser Wert steigt auf 39 Mio. Tonnen im Jahr 2030.
IEA 2019 [10]	Weltweiter Energiebedarf von Datenzentren und Datennetzen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• In 2018 betrug der weltweite Energiebedarf von Datenzentren mit 198 TWh etwa 1 % und der von Datennetzen mit 260 TWh etwa 1,1% des weltweiten Energiebedarfes. Von den 260 TWh entfallen etwa 1/3 auf Festnetze und 2/3 auf Mobilfunknetze.</li> <li>• Der Internetverkehr wird weiter stark zunehmen. Der weitere Energiebedarf von Datenzentren und Telekommunikationsnetzen wird davon abhängen, inwieweit energieeffiziente Technologien weiterentwickelt werden können.</li> </ul>
Gutachten zum Energieverbrauch der IT-Infrastruktur Borderstep-Institut, 2019	Energiebedarf von verschiedenen Telekommunikationsnetzen	Die Ergebnisse werden voraussichtlich erst Anfang 2021 öffentlich zugänglich sein. Spezifische Aussagen in Hinblick auf die vorliegende Fragestellung sind jedoch nicht zu erwarten [11].

TABELLE 2: ÜBERSICHT ÜBER DIE BISHERIGEN STUDIEN ZUR NACHHALTIGKEIT VON TELEKOMMUNIKATIONS- UND ZUGANGSNETZEN.

Fasst man die Ergebnisse der bisherigen Studien zusammen so lässt sich festhalten, dass optische Zugangstechnologien (insbes. GPON) bezogen auf die Bitrate deutlich energieeffizienter als Kupfer-basierte (ADSL, VDSL, HFC) oder Funk-basierte (UMTS, WIMAX, LTE) Zugangstechnologien sind. Die Studien sind z.T. jedoch schon einige Jahre alt, und der Stromverbrauch der Systemtechnik konnte seitdem in vielen Bereichen signifikant reduziert werden. Die Effizienzsteigerung der Netzelemente lässt sich am Beispiel FTTH (GPON) verdeutlichen. Die OLT aus Ref. [7] kann maximal 1024 Teilnehmer bedienen und hat eine Leistungsaufnahme von 1.340 W. Die im Rahmen dieses Gutachtens betrachtete OLT kann 3072 Teilnehmer bedienen und hat eine maximale Leistungsaufnahme von nur 654 W. Dies entspricht einer Effizienzsteigerung von mehr als Faktor sechs in etwa 9 Jahren.

## Nachhaltigkeit von FTTC und FTTH Netzen

Für einen Vergleich des Strombedarfs der verschiedenen Zugangsnetztechnologien wird nur der Teil des Zugangsnetzes betrachtet, der für die jeweiligen Technologien unterschiedlich ist.



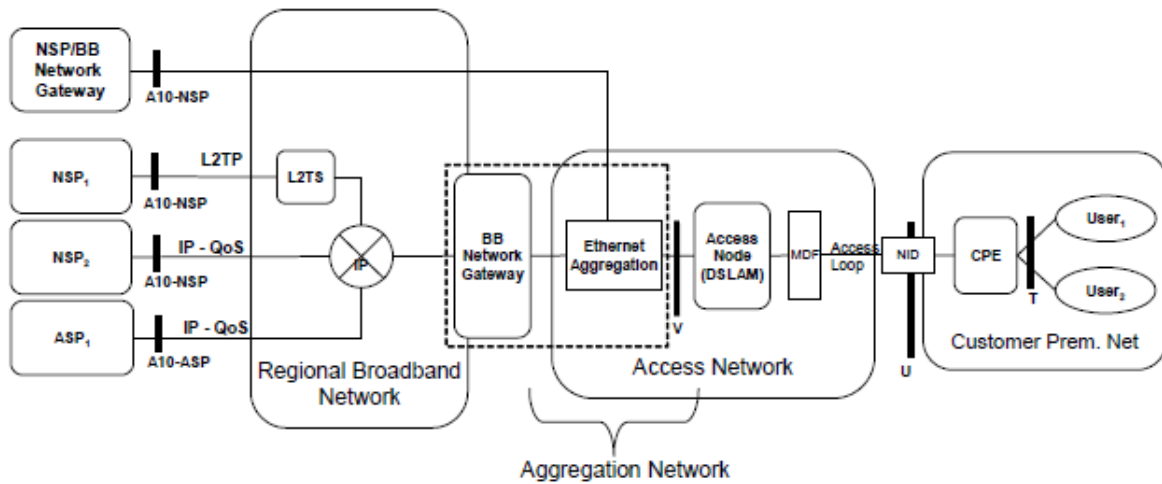


ABBILDUNG 1: NETZARCHITEKTUR FÜR EHTERNET-BASIERTE DSL BREITBAND-ZUGANGSNETZE. QUELLE: [12]

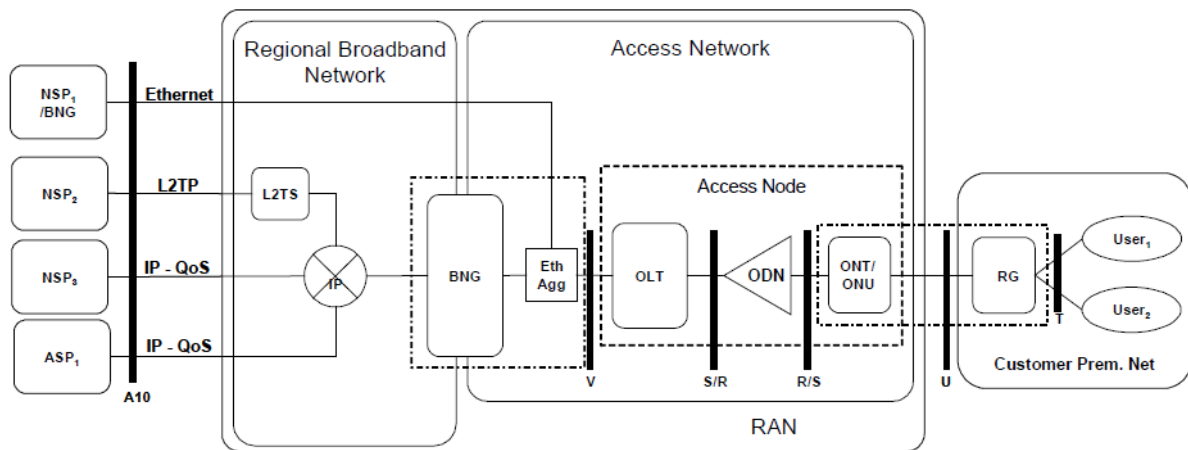


ABBILDUNG 2: NETZARCHITEKTUR FÜR EHTERNET-BASIERTE GPON BREITBAND-ZUGANGSNETZE. QUELLE: [13]

Abbildung 1 und Abbildung 2 zeigen die Netzarchitektur für Ethernet-basierte VDSL und GPON Breitband-Zugangsnetze gemäß [12;13]. Die in Abbildung 2 dargestellte Architektur lässt sich sinngemäß auch auf FTTH Punkt-zu-Punkt Netze übertragen. Für die vorliegende Untersuchung werden als Referenzpunkte die Punkte V und U für den Vergleich verwendet. Das Ethernet-Aggregationsnetz jenseits des Referenzpunkts V in Richtung Netz wird in allen Fällen als vergleichbar angesehen. *Es sei allerdings angemerkt, dass diese Annahme für FTTC eine optimistische Annahme darstellt, da in der Praxis wesentlich mehr FTTC DSLAM als FTTH POP Standorte (Point-of-Presence) erforderlich sein werden.*

Für das vorliegende Gutachten wurde Netztechnik (d.h. die Netzelemente im Kabelverzweiger bzw. FTTH POP) der Firmen Nokia und Keymile zugrunde gelegt. Ein Vergleich der Leistungsaufnahme und des Gewichts der Netzelemente pro Teilnehmer bei Vollaustlastung zwischen den beiden Herstellern (ohne NT bzw. CPE) hat ergeben, dass sich vor allem bzgl. der Leistungsaufnahme kaum Unterschiede ergeben (Abweichungen in den meisten Fällen in der Größenordnung von 10 %).

Was den Strombedarf der Netzelemente beim Teilnehmer (CPE bzw. NT) anbelangt, so wird hier nur der Strombedarf für die eigentliche Modem Funktionalität (Network Termination [NT]) und damit der Strombedarf bis zum Referenzpunkt U zugrunde gelegt, da die heute üblichen weiteren CPE Funktionalitäten (z.B. WLAN, Ethernet-Ports, DECT, a/b, ISDN, NAS) signifikante Auswirkungen auf den Stromverbrauch der CPE haben

können und stark vom Nutzerverhalten abhängen<sup>2</sup>. Für die Leistungsaufnahme der Network Termination beim Teilnehmer wurde für jede Zugangstechnologie das NT mit der geringsten, derzeit am Markt kommerziell verfügbaren Leistungsaufnahme angenommen (siehe Tabelle 3).

NT	Leistung [W]	Gewicht [g]
GPON ONT (Keymile)	2,2	100
XGS-PON (Nokia)	5,5	336
GbE PtP (Genexis FiberTwist-P2110)	1,8	176
VDSL2 17a/35b (Nokia F-010G-B)	6,1	320

TABELLE 3: FÜR DIE BERECHNUNGEN ANGENOMMENE LEISTUNGS-AUFNAHME UND GEWICHTS DER NETWORK TERMINATION (NT) BEIM TEILNEHMER.

## Vergleich Strombedarf und Gewicht der Systemtechnik

In diesem Abschnitt soll der Strombedarf für die reine Systemtechnik inkl. NT und deren Gewicht zwischen den Referenzpunkten V und U pro Teilnehmer für verschiedenen Auslastungsgrade (Teilnehmerzahlen) ermittelt werden. Um die unterschiedlichen Bitraten der verschiedenen Zugangstechnologien zu berücksichtigen, werden diese Kennzahlen ebenfalls auf die Bitrate bezogen.

Folgende Systemtechnikvarianten wurden betrachtet:

- GPON96p: GPON mit max. 96 ports bzw.  $96 \times 32 = 3072$  Teilnehmern (Annahme Splitfaktor 1:32)  
Annahme nominale (vermarktete) Bitrate im downstream/upstream: 0,25/0,125 Gbit/s
- GPON16p (pizzabox): GPON mit max. 16 ports bzw.  $16 \times 32 = 512$  Teilnehmern (Annahme Splitfaktor 1:32)  
Annahme nominale Bitrate im downstream/upstream: 0,25/0,125 Gbit/s
- XGS-PON: XGS-PON mit max. 48 ports bzw.  $48 \times 32 = 1536$  Teilnehmern (Annahme Splitfaktor 1:32)  
Annahme nominale Bitrate im downstream/upstream: 1/0,5 Gbit/s
- GbE PtP (Gigabit-Ethernet Punkt-zu-Punkt): 480 ports bzw. Teilnehmer  
Annahme nominale Bitrate im downstream/upstream: 1/1 Gbit/s
- VDSL2 35b: 816 ports bzw. Teilnehmer mit 288 port System Level Vectoring  
Annahme nominale Bitrate im downstream/upstream: 0,25/0,05 Gbit/s
- VDSL2 35b 144p: 144 ports bzw. Teilnehmer mit 48 ports Board Level Vectoring  
Annahme nominale Bitrate im downstream/upstream: 0,25/0,05 Gbit/s
- VDSL2 17a: 816 ports bzw. Teilnehmer mit 384 port System Level Vectoring  
Annahme nominale Bitrate im downstream/upstream: 0,1/0,05 Gbit/s

In Bezug auf die nominalen Bitraten wurden bei GPON sehr konservative und bei VDSL optimistische Annahmen getroffen. Die vermarkteten Bitraten sind bei GPON in der Regel deutlich höher. Die mit VDSL2 erzielbaren Bitraten sind stark von der Entfernung abhängig und liegen ab Leitungslängen von 200 bis 300 m unter den o.a. Werten. Bei Überschreitung der o.a. maximalen Teilnehmerzahlen wurden die Anzahl der Netzelemente entsprechend erhöht. Die Ergebnisse wurden als Funktion der Teilnehmerzahl in Schritte von 32 bis max. 3072 berechnet.

<sup>2</sup> Gemäß Angaben von AVM benötigt die Fritzbox 7590 durchschnittlich 9-10 W und max. 30 W [14]. Im Test [15] wurde für die Fritzbox 7490 je nach aktivierten Features ein Stromverbrauch von 5,4 bis 12,3 W gemessen. Eigene Messungen an der Fritzbox 7583 ergaben für VDSL2 17a/35b einen Stromverbrauch von 8,4 bis 14,1 W. Das Nokia GPON CPE: G-140W-C mit 1xPOTS, 4xGigE, WLAN: 2x2 MIMO for 802.11b/g/n and 802.11ac benötigt nach Herstellerangabe 17,9 W und das Nokia XGS-PON CPE: XS-250WX-A mit 1xPOTS, 4xGigE, 1x10GigE, WLAN: 802.11b/g/n: 2,4 G and 5 G dualband concurrent Wi-Fi, 802.11ac 45 W.

## Vergleich Strombedarf

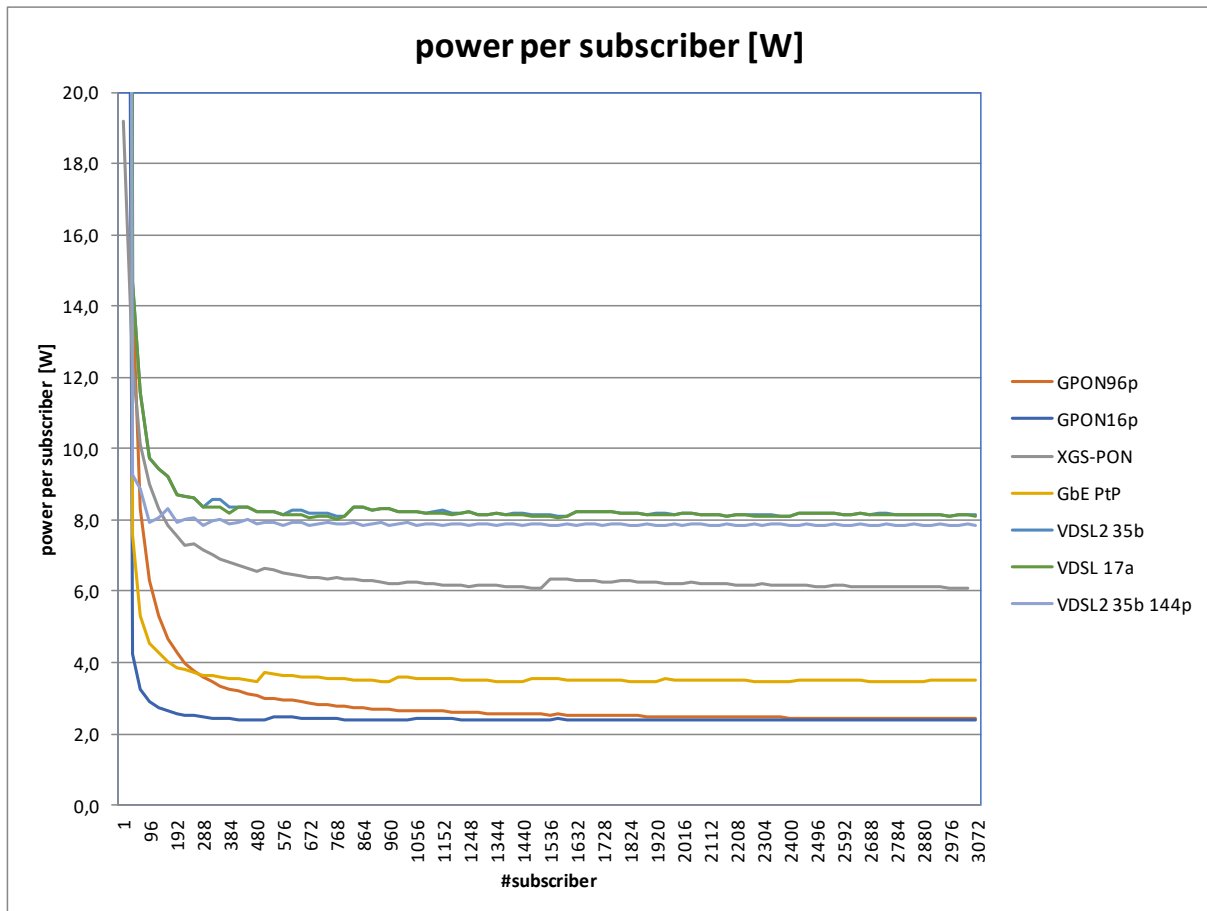


ABBILDUNG 3: LEISTUNGS-AUFNAHME DER VERSCHIEDENEN ZUGANGSTECHNOLOGIEN PRO TEILNEHMER ALS FUNKTION DER ANZAHL DER TEILNEHMER.

Abbildung 3 zeigt den Stromverbrauch der verschiedenen Zugangstechnologien inkl. NT beim Teilnehmer als Funktion des Auslastungsgrades. Man erkennt Folgendes:

- Für alle Auslastungsgrade ergibt sich mit der GPON 16p (pizzabox) Variante die geringste Stromaufnahme (ab ca. 200 Teilnehmern 2,5 W pro Teilnehmer).
- Ab 160 Teilnehmern pro Netzelement weisen alle FTTH (GPON, XGS-PON, GbE PtP) Varianten einen geringeren Stromverbrauch als die FTTC (VDSL2 35b, VDSL2 35b 144p, VDSL2 17a) Varianten auf.
- Ab etwa 500 Teilnehmern ändern sich die Werte kaum noch. Für 3072 Teilnehmer ergeben sich folgende Werte: 2,4 W für GPON 16p und 96p; 3,5 W GbE PtP; 6,1 W für XGS-PON; 7,9 W für VDSL2 35b 144p sowie 8,1 W für VDSL2 35b und 17a.  
Anmerkung zu XGS-PON: Hätte man alternativ bei XGS-PON dieselben Teilnehmer-Bitraten wie für GPON, dafür aber aufgrund der vierfach höheren Gesamtbitrate einen Splitfaktor von 1:128 angesetzt, so würde der Stromverbrauch der OLT pro Teilnehmer anstatt 0,59 W nur 0,15 W und damit der Gesamtstromverbrauch pro Teilnehmer 5,65 W betragen.
- Ab einem bestimmten Auslastungsgrad (abhängig von der Zugangstechnologie zwischen 64 und 320 Teilnehmer pro Netzelement) ist der Stromverbrauch der NTs der dominante Anteil am Gesamtstromverbrauch.

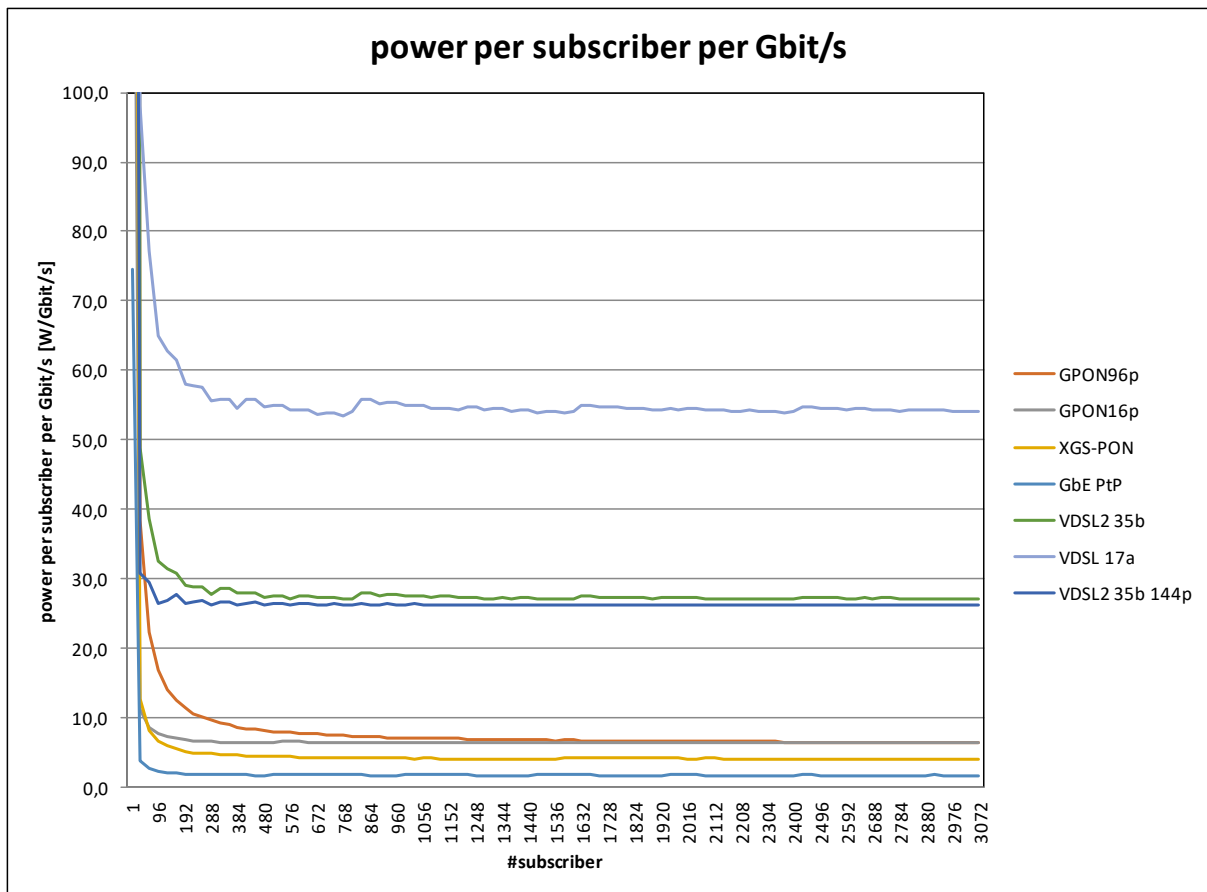


ABBILDUNG 4: LEISTUNGS-AUFNAHME DER VERSCHIEDENEN ZUGANGSTECHNOLOGIEN PRO TEILNEHMER UND GBIT/S ALS FUNKTION DER ANZAHL DER TEILNEHMER.

Die Darstellung in Abbildung 3 berücksichtigt nicht die in der Regel deutlich höheren Bitraten, die mit FTTH Technologien erzielt werden können. Daher werden die Ergebnisse aus Abbildung 3 in einem zweiten Schritt auf die nominale Summenbitrate (downstream plus upstream) der jeweiligen Zugangstechnologie bezogen (s. Abbildung 4). Bezogen auf die Summenbitrate weisen GbE PtP und XGS-PON den geringsten Stromverbrauch pro Teilnehmer auf, gefolgt von GPON 16p und 96p. VDSL2 35b benötigt ab rund 500 Teilnehmern mehr als dreimal so viel Strom pro Teilnehmer und Gigabit wie GPON. Der mit Abstand höchste Stromverbrauch bezogen auf die Bitrate ergibt sich für VDSL2 17a.

**Fazit aus Abbildung 3 und Abbildung 4:** Ab einem bestimmten Auslastungsgrad (160 Teilnehmer pro Netzelement) ist der Stromverbrauch pro Teilnehmer für die FTTH Technologien immer geringer als für FTTC, wobei sich mit FTTH GPON die kleinsten Werte ergeben. Bezieht man den Stromverbrauch pro Teilnehmer hingegen auf die Summenbitrate, so ergeben sich für FTTH immer geringere Werte als für FTTC, wobei in diesem Fall GbE PtP und XGS-PON die geringsten Werte aufweisen.

## Vergleich Gewicht

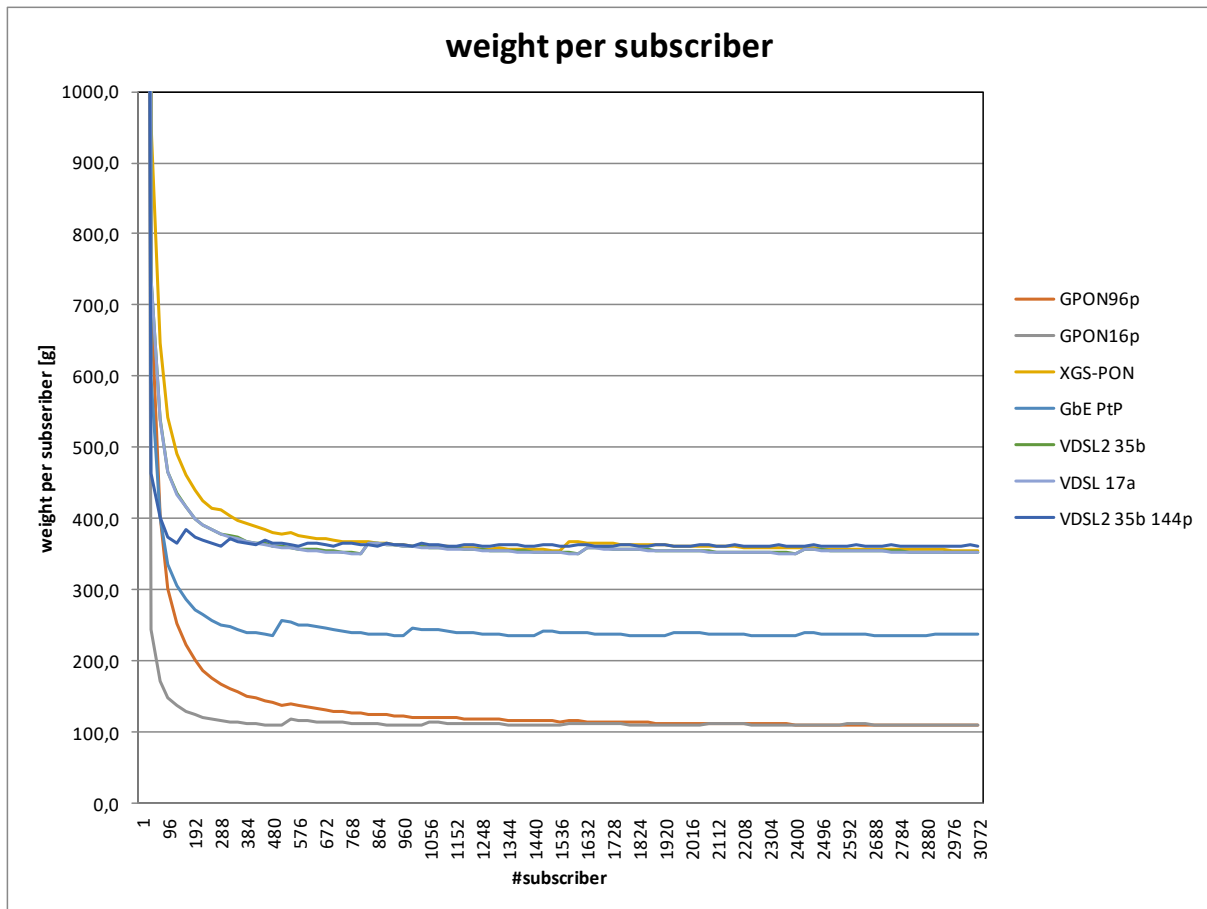


ABBILDUNG 5: GEWICHT FÜR DIE SYSTEMTECHNIK INKL. NT DER VERSCHIEDENEN ZUGANGSTECHNOLOGIEN PRO TEILNEHMER ALS FUNKTION DER ANZAHL DER TEILNEHMER.

Um erste Aussagen in Bezug auf die die benötigten Ressourcen für die Herstellung und Entsorgung der Netzelemente zu bekommen, wurde zusätzlich das Gewicht der Netzelemente betrachtet. Das Ergebnis zeigt Abbildung 5. Man erkennt Folgendes:

- Für alle Auslastungsgrade ergibt sich mit der GPON 16p (pizzabox) Variante mit Abstand das geringste Gewicht (ab 320 Teilnehmern 115 g pro Teilnehmer), gefolgt von GPON 96p.
- Für XGS-PON und VDSL2 35b/17a ergibt sich das höchste Gewicht pro Teilnehmer.
- Ab etwa 500 Teilnehmern ändern sich die Werte kaum noch und es ergibt sich für das Gewicht pro Teilnehmer: 110 g für GPON 16p; 139 g für GPON 96p; 260 g für GbE PtP; 360 g für VDSL2 35b und 17a; 364 g für VDSL2 35b 144p und 379 g für XGS-PON.
- Ab einem bestimmten Auslastungsgrad (abhängig von der Zugangstechnologie zwischen 64 und 224 Teilnehmer pro Netzelement) ist das Gewicht der NTs der dominante Anteil am Gesamtgewicht.

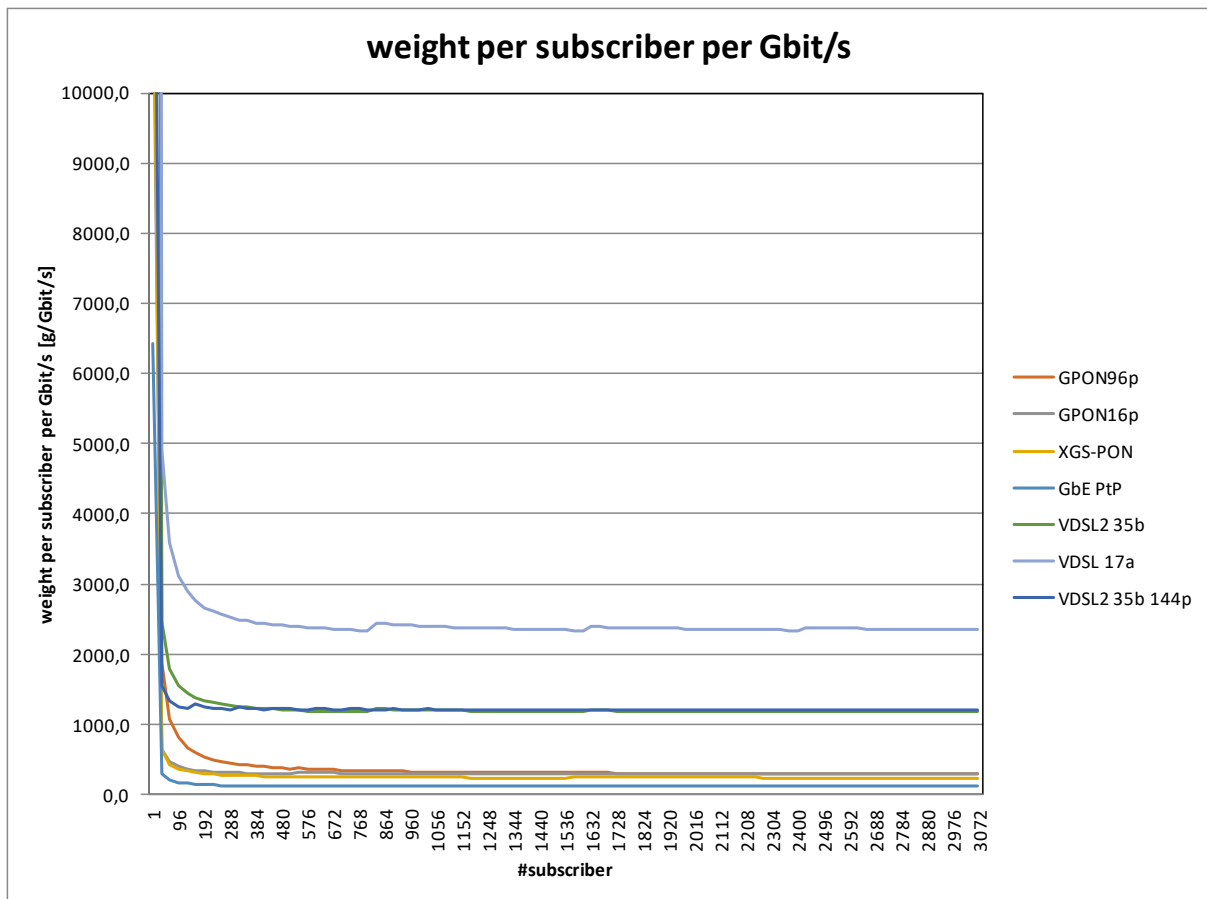


ABBILDUNG 6: GEWICHT FÜR DIE SYSTEMTECHNIK INKL. NT DER VERSCHIEDENEN ZUGANGSTECHNOLOGIEN PRO TEILNEHMER UND GBIT/S ALS FUNKTION DER ANZAHL DER TEILNEHMER.

Bezieht man das Gewicht auf die Summenbitrate der jeweiligen Zugangstechnologie, so ergibt sich ein anderes Bild (s. Abbildung 6). Bezogen auf die Summenbitrate weist GbE PtP das geringste Gewicht pro Teilnehmer auf, gefolgt von XGS-PON, GPON 16p und GPON 96p. VDSL2 35b und 35b 144p bzw. VDSL 17a weisen deutlich höhere Werte auf.

**Fazit aus Abbildung 5 und Abbildung 6:** Ab einem bestimmten Auslastungsgrad (je nach Zugangstechnologie zwischen 64 und 224 Teilnehmer pro Netzelement) ist das NT Gewicht der dominante Anteil am Gesamtgewicht. Absolut gesehen weist FTTH GPON das geringste Gewicht pro Teilnehmer auf. Bezogen auf die Datenrate ist hingegen FTTH GbE PtP gefolgt von XGS-PON, GPON 16p und GPON 96p die leichteste Technologie. FTTC VDSL2 35b und 35b 144p bzw. FTTC VDSL 17a weisen deutlich höhere Werte auf.

## Deutschlandweite Planung

Im Folgenden soll der Stromverbrauch und das Gewicht der jeweiligen Zugangstechnologien für eine Gesamtversorgung Deutschlands unter folgenden Annahmen abgeschätzt werden:

- 40 Mio. Teilnehmer (Haushalte)
- 400.000 Kabelverzweiger

- Gesamtfläche Deutschland 357.582 km<sup>2</sup>, davon in 2018 14,3 %, d.h. 51.134 km<sup>2</sup>, Siedlungs- und Verkehrsfläche [16].
- 10.000 FTTH POP Standorte (4000 Teilnehmer pro FTTH POP)  
*Anmerkung:* Die Reichweite eines FTTH Systems beträgt etwa  $r_{max} = 20$  km. Selbst unter Annahme einer Reichweite von nur 15 km beträgt die von einem FTTH POP versorgte Fläche rund 450 km<sup>2</sup>, so dass für die Flächendeckung alleine nur etwa 51.123 km<sup>2</sup> / 450 km<sup>2</sup>  $\approx 114$  (!) FTTH POP Standorte erforderlich wären<sup>3</sup>. Aus praktischen Gründen (Handling der Glasfasern) können an einem typischen FTTH POP Standort jedoch nicht beliebig viele Glasfaseranschlüsse terminiert werden. Daher wurden bei der Planung max. 4000 Anschlüsse pro FTTH POP zugelassen.  
Für die FTTH POP Standorte wurde eine Klimatisierung angenommen (Stromverbrauch 1,5 kW; Gewicht 30 kg).
- Für die FTTC Versorgung werden 300.000 der 400.000 KVz Standorte mit VDSL2 erschlossen.  
Hintergrund: Die in Abschnitt „Vergleich Strombedarf und Gewicht der Systemtechnik“ angenommenen VDSL2 35b und 17a Bitraten können über eine maximale Entfernung von etwa 0,3 km realisiert werden. Dies ergibt eine versorgte Fläche von etwa 0,18 km<sup>2</sup> und erfordert somit 51.123 km<sup>2</sup> / 0,18 km<sup>2</sup>  $\approx 280.000$  KVz Standorte. D.h., die Anzahl der FTTC Standorte ist wesentlich größer als die der FTTH Standorte und im Gegensatz zu letzteren durch die maximale Reichweite der VDSL2 Systeme bestimmt.  
Für die Berechnungen in diesem Abschnitt wurden 300.000 FTTC Standorte (KVz) angenommen.  
Weiterhin wurde angenommen, dass die KVz passiv gekühlt werden und somit keine aktive Kühlung der KVz Gehäuse durch Lüfter oder Klimageräte erforderlich ist.  
*Bemerkung:* Da kein Stromverbrauch für die Kühlung der KVz angenommen wurde, ist die tatsächliche Anzahl der KVz Standorte ab einem bestimmten Auslastungsgrad der Netzelemente unerheblich.
- Gleichmäßige Verteilung der Teilnehmer auf die FTTH bzw. FTTC Standorte.

Alle weiteren Annahmen entsprechen denen in Abschnitt „Vergleich Strombedarf und Gewicht der Systemtechnik“. Die Ergebnisse werden für verschiedene Auslastungsgrade dargestellt (siehe Tabelle 4).

Auslastungsgrad	10%	50%	90%	100%
Teilnehmer pro FTTH POP	400	2000	3600	4000
Teilnehmer pro KVz	13	67	120	133

TABELLE 4: ANGENOMMENE AUSLASTUNGSGRADU UND TEILNEHMER PRO FTTH POP BZW. KVZ.

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Abbildung 7 bis Abbildung 10 dargestellt. Aufgrund der maximalen Teilnehmerzahl von (im Mittel) 133 pro KVz würde man an diesen Standorten keine DSLAM mit 816 ports, sondern eher den VDSL2 DSLAM mit 144 ports einsetzen. Die Werte für VDSL2 35b und 17a sind daher nur als Vergleichswerte anzusehen. Der VDSL2 35b DSLAM mit 144 ports (VDSL2 35b 144p) besitzt allerdings nur ein Bord-Level Vectoring, welches nicht so performant ist wie das System-Level Vectoring der größeren DSLAMs mit 816 ports.

<sup>3</sup> Dabei wird angenommen, dass die versorgte Fläche durch ein Quadrat mit dem Flächeninhalt  $2 \times r_{max}^2$  gegeben ist.

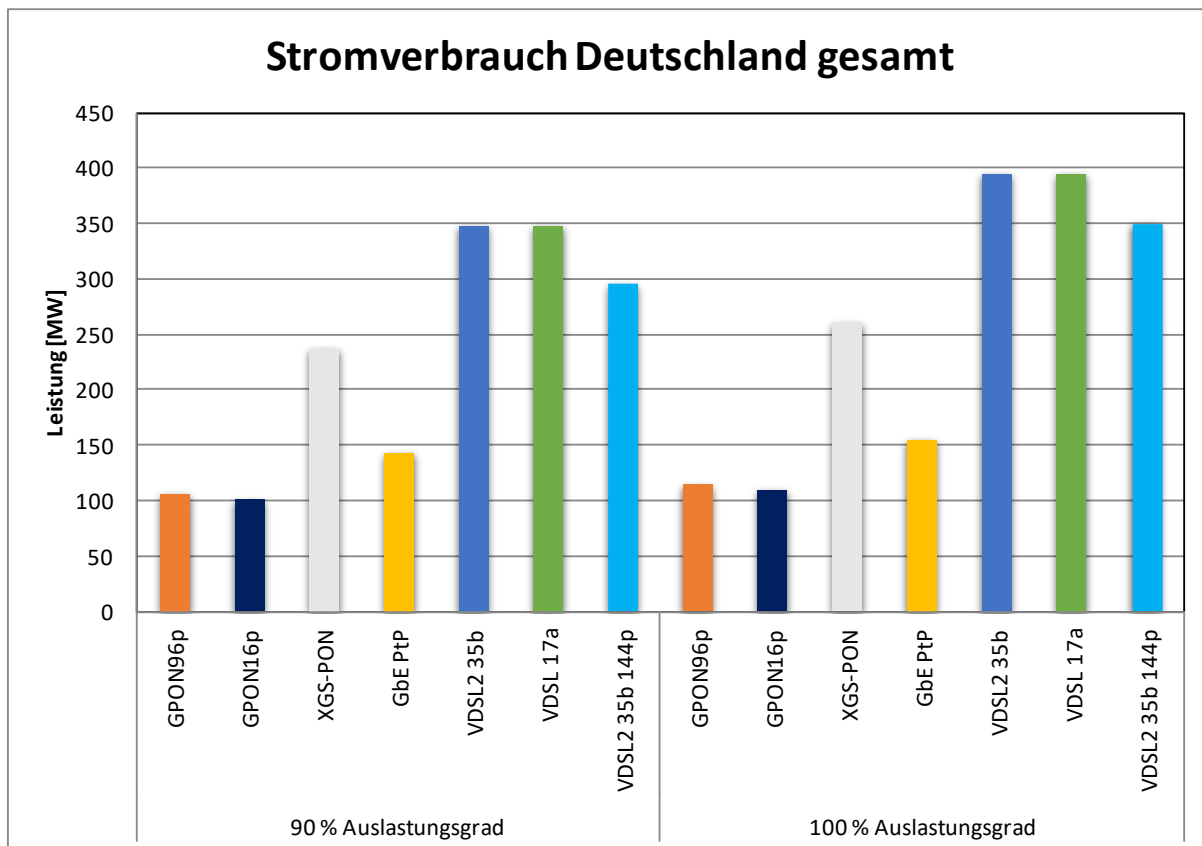
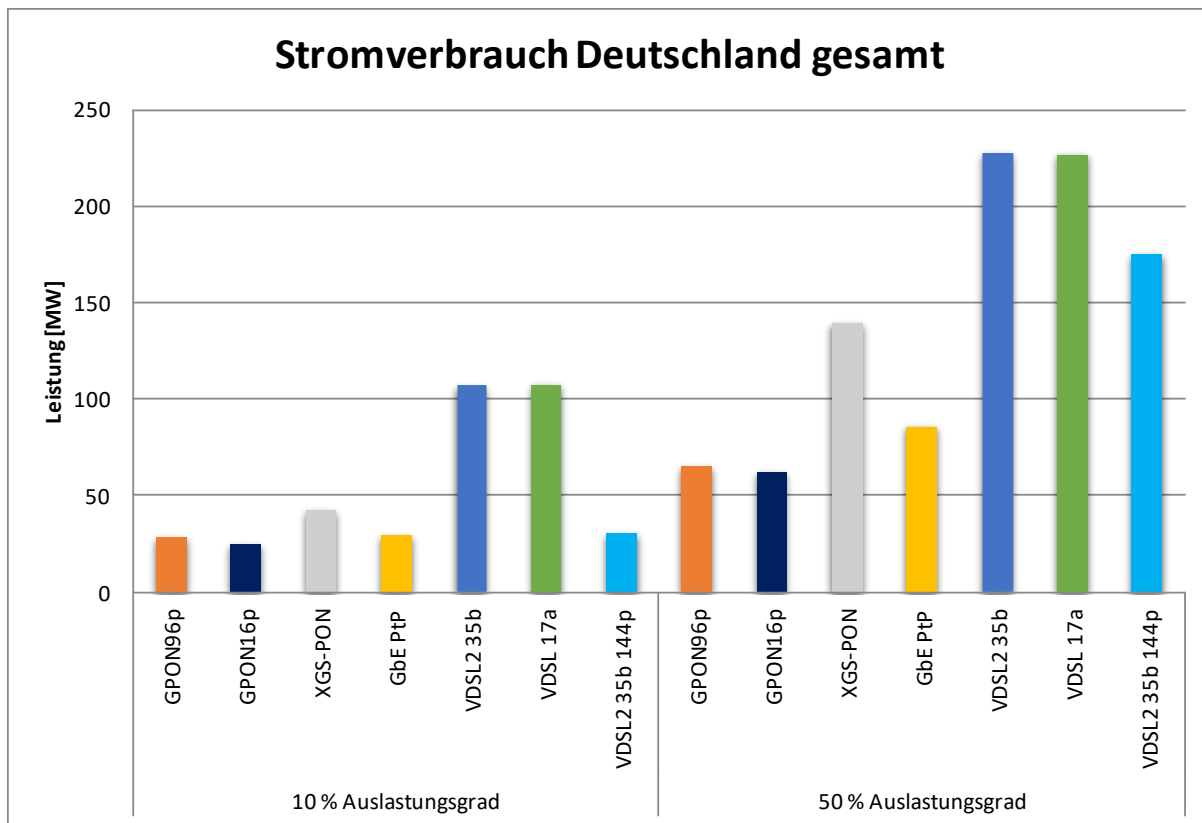


ABBILDUNG 7: STROMVERBRAUCH FÜR EINE GESAMTVERSORGUNG VON DEUTSCHLAND MIT DER JEWEILIGEN ZUGANGSNETZTECHNOLOGIE FÜR VERSCHIEDENEN AUSLASTUNGSGRAD.



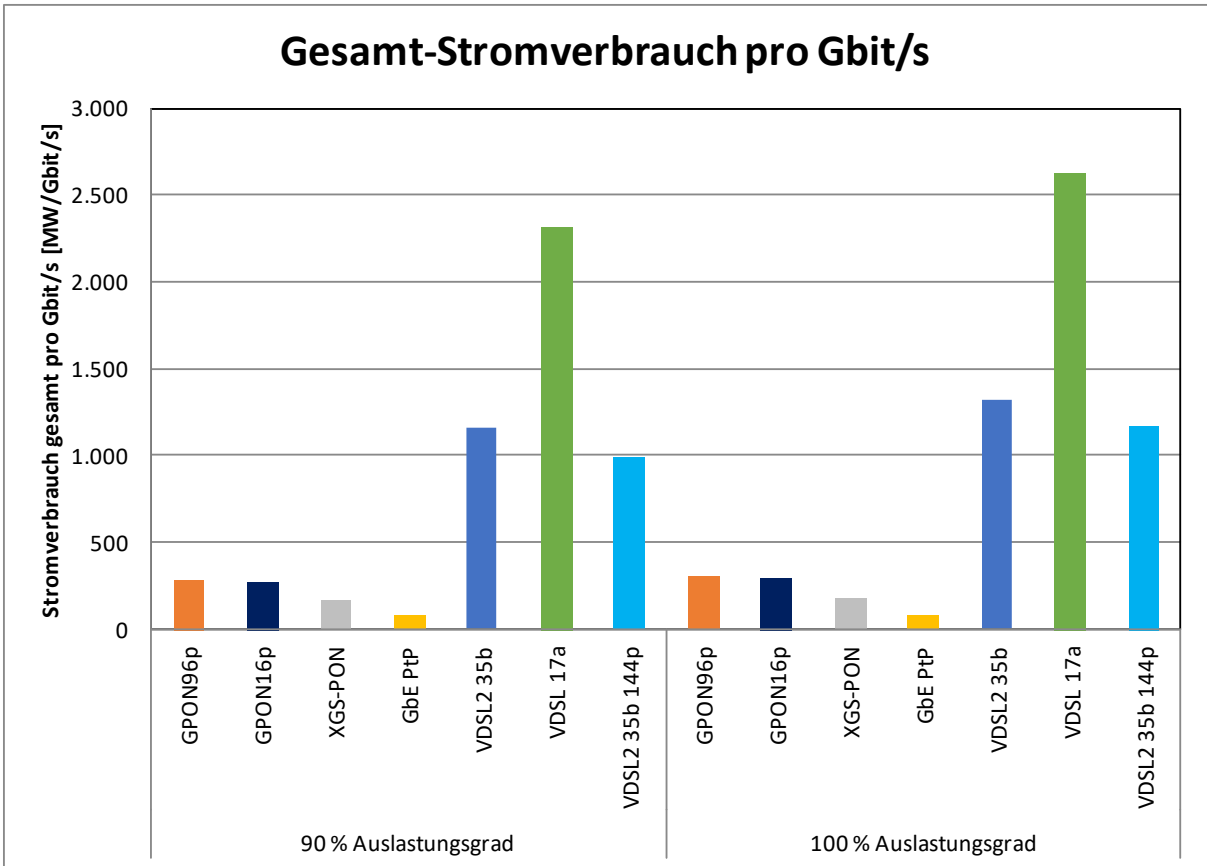
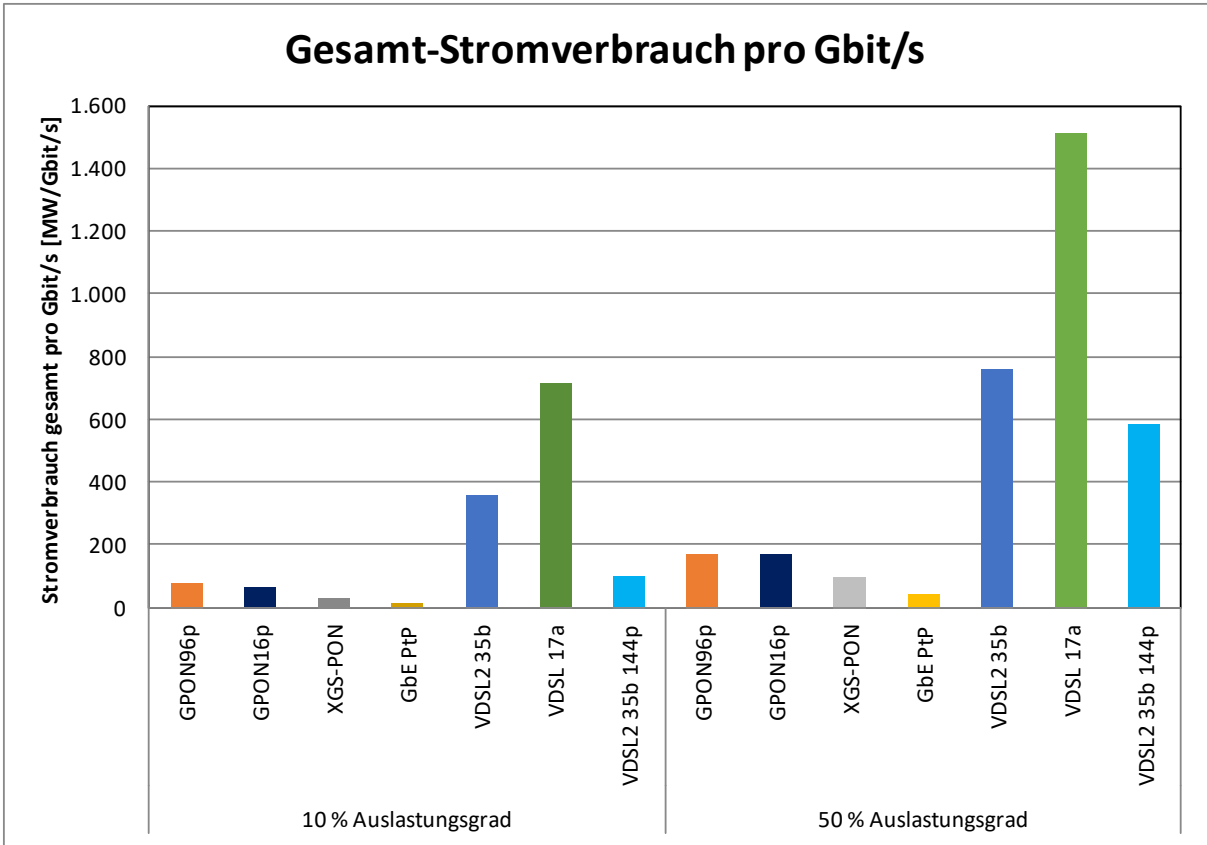


ABBILDUNG 8: STROMVERBRAUCH PRO GBIT/S FÜR EINE GESAMTVERSORGUNG VON DEUTSCHLAND MIT DER JEWELIGEN ZUGANGSNETZTECHNOLOGIE FÜR VERSCHIEDENEN AUSLASTUNGSGRAD.

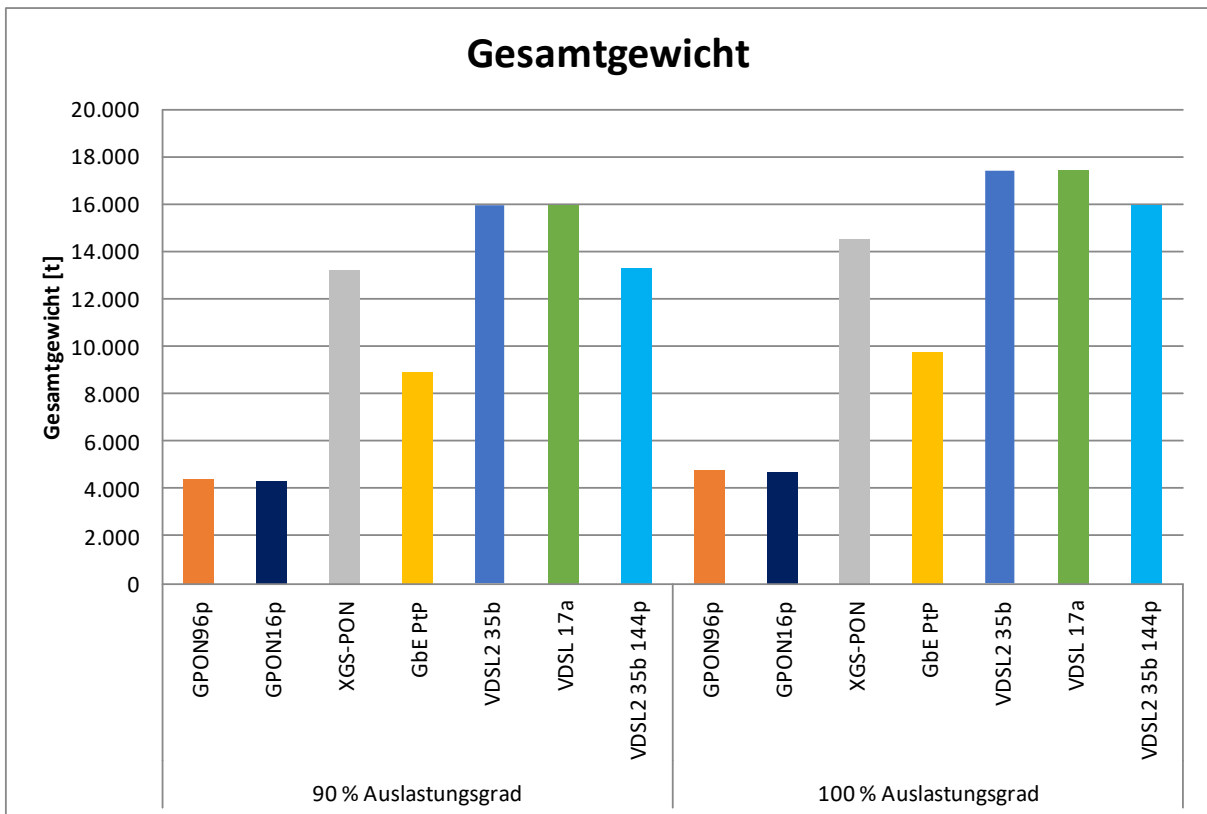
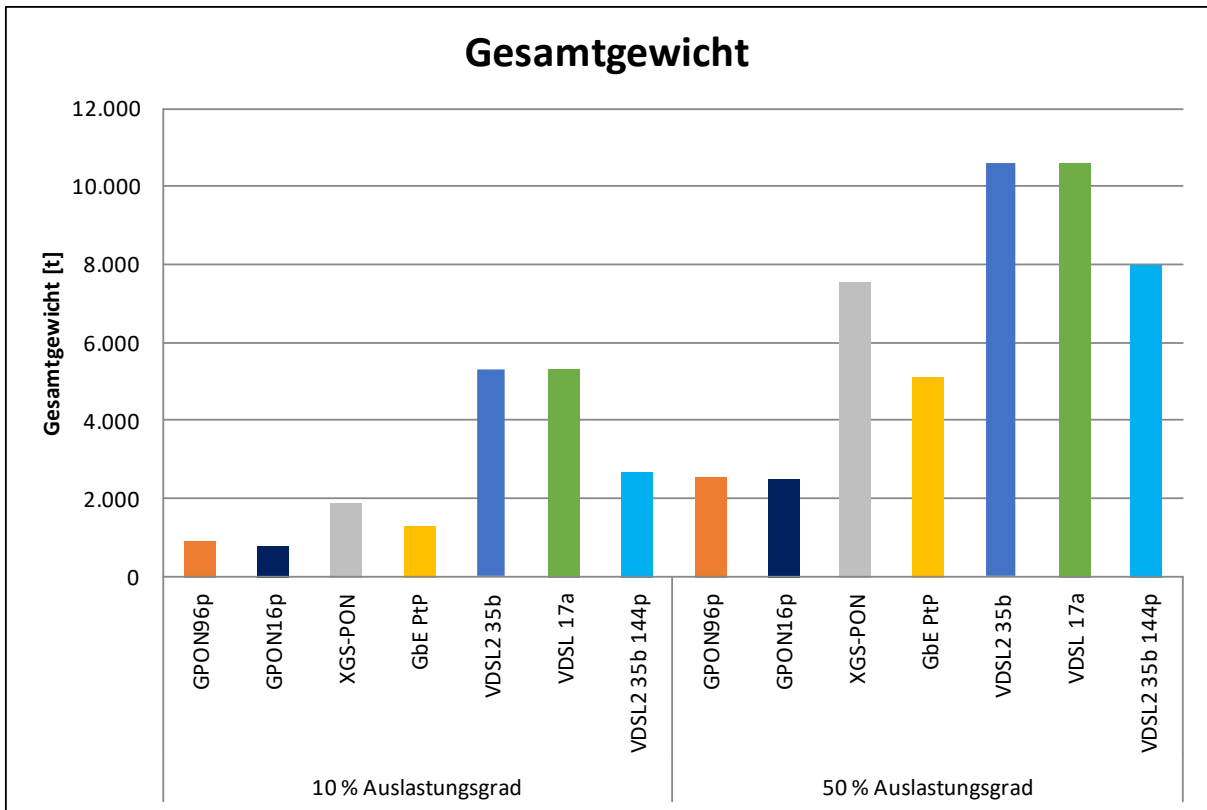


ABBILDUNG 9: GEWICHT DER SYSTEMTECHNIK INKL. NT FÜR EINE GESAMTVERSORGUNG VON DEUTSCHLAND MIT DER JEWEILIGEN ZUGANGSNETZTECHNOLOGIE FÜR VERSCHIEDENEN AUSLASTUNGSGRAD.

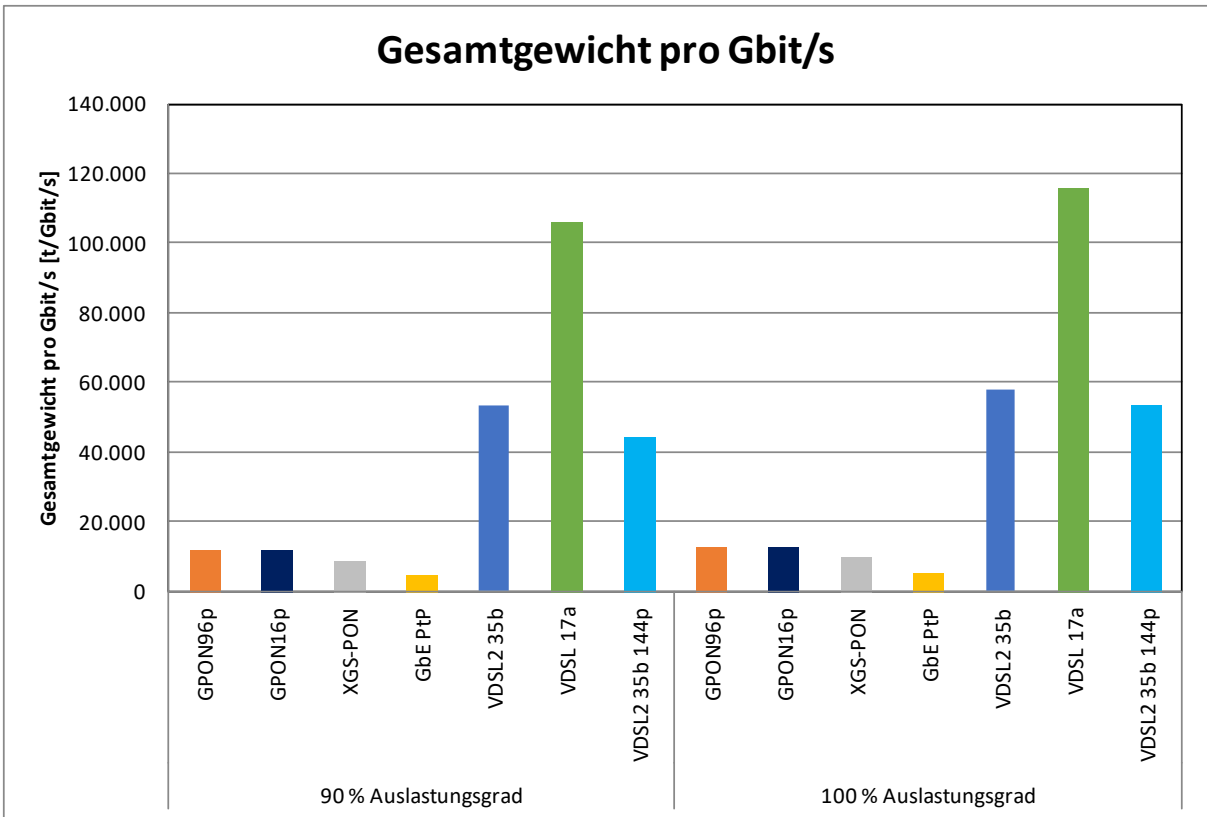
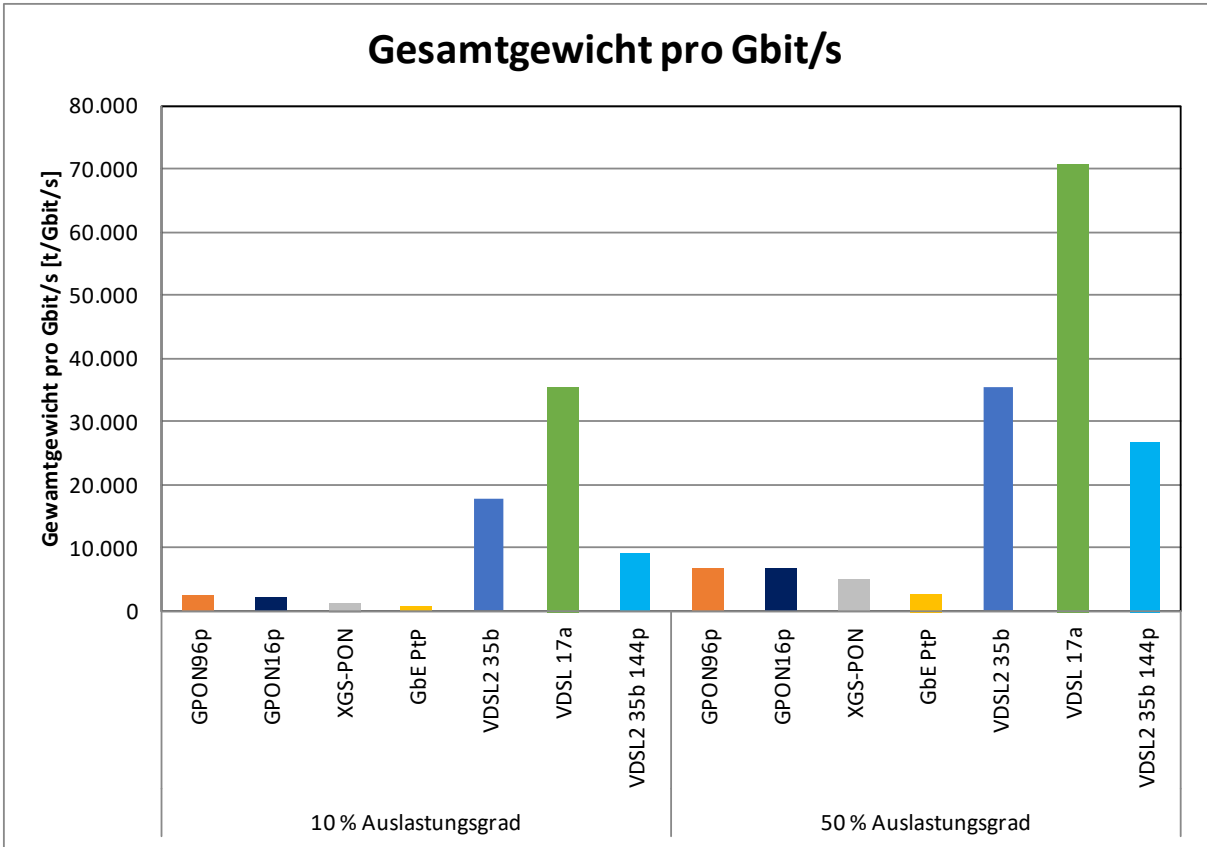


ABBILDUNG 10: GEWICHT DER SYSTEMTECHNIK INKL. NT PRO GBIT/S FÜR EINE GESAMTVERSORGUNG VON DEUTSCHLAND MIT DER JEWEILIGEN ZUGANGSNETZTECHNOLOGIE FÜR VERSCHIEDENEN AUSLASTUNGSGRAD.

Aus Abbildung 7 kann man erkennen, dass der Gesamtstromverbrauch für alle FTTC Technologien und alle

Auslastungsgrade stets deutlich größer als der für die FTTH Technologien ist. Der geringste Stromverbrauch ergibt sich für GPON, gefolgt von GbE Punkt-zu-Punkt und XGS-PON. Bei einem Auslastungsgrad von 100 % kann man mit GPON fast 240 MW, mit GbE Punkt-zu-Punkt über 190 MW und mit XGS PON fast 90 MW und gegenüber VDSL2 35b 144p einsparen.

Noch drastischer fallen die Unterschiede auf, wenn man den Gesamtstromverbrauch auf die Summenbitrate bezieht (vgl. Abbildung 8). Auf ein Gbit/s bezogen ergibt sich der geringste Stromverbrauch für GbE Punkt-zu-Punkt, gefolgt von XGS-PON und GPON. Bei einem Auslastungsgrad von 100 % kann man mit GbE Punkt-zu-Punkt pro Gbit/s Summenbitrate fast 1100 MW, mit XGS-PON fast 1000 MW und mit GPON rund 900 MW gegenüber VDSL2 35b 144p einsparen.

In Bezug auf das Gesamtgewicht und das Gewicht pro Gbit/s ergibt sich ein ähnliches Bild (vgl. Abbildung 9 und Abbildung 10). Bei einem Auslastungsgrad von 100 % ist das Gesamtgewicht der GPON Systemtechnik inkl. NT um mehr als 11.000 t, das der GbE Punkt-zu-Punkt Technik um rund 6.200 t und das der XGS-PON Technik um etwa 1.500 t geringer als das für VDSL2 35b 144p. Das Gesamtgewicht pro Gbit/s ist bei einem Auslastungsgrad von 100 % für GbE Punkt-zu-Punkt um über 48.000 t, für XGS-PON um über 43.000 t und für GPON um über 41.000 t geringer als das für VDSL2 35b 144p.

**Fazit deutschlandweite Planung:** FTTH Technologien benötigen für alle betrachteten Auslastungsgrade signifikant weniger elektrische Leistung und Gewicht für die Systemtechnik inkl. NT beim Teilnehmer. Wenn die absoluten Zahlen (Stromverbrauch, Gewicht) betrachtet werden, ist GPON die günstigste FTTH Variante gefolgt von GbE Punkt-zu-Punkt und XGS-PON. Bezieht man hingegen den Stromverbrauch und das Gewicht auf die Bitrate, so sind GbE Punkt-zu-Punkt und XGS-PON die günstigsten FTTH Technologien.

## Städtische Gebiete

Städtische Gebiete sind gekennzeichnet durch eine Einwohnerdichte von mehr als 500 Einwohnern pro km<sup>2</sup>. Gemäß [17] leben in Deutschland 54,9 Mio. Einwohner in städtischen Gebieten mit einer Gesamtfläche von 72.589 km<sup>2</sup>, entsprechend einer Einwohnerdichte von 756 Einwohnern pro km<sup>2</sup>. Im Folgenden soll der Stromverbrauch und das Gewicht der jeweiligen Zugangstechnologien für städtische Gebiete in Deutschland unter folgenden Annahmen abgeschätzt werden:

- 27,45 Mio. Teilnehmer (Haushalte) in städtischen Gebieten, d.h. 2 Einwohner pro Haushalt.
- Ein FTTH POP Standort kann aus praktischen Gründen (Handling der Glasfasern) maximal 4000 Glasfaseranschlüsse terminieren. Daher sind für die Versorgung der städtischen Gebiete 6863 FTTH POP Standorte erforderlich.
- Für die FTTH POP Standorte wurde eine Klimatisierung angenommen (Stromverbrauch 1,5 kW; Gewicht 30 kg).
- 150.000 FTTC Standorte (KVz). Dabei wurde angenommen, dass keine aktive Kühlung der KVz Gehäuse durch Lüfter oder Klimageräte erforderlich ist.
- Gleichmäßige Verteilung der Teilnehmer auf die FTTH bzw. FTTC Standorte.

Alle weiteren Annahmen entsprechen denen in Abschnitt „Vergleich Strombedarf und Gewicht der Systemtechnik“. Die Ergebnisse werden für verschiedene Auslastungsgrade dargestellt (siehe Tabelle 5).

Auslastungsgrad	10%	50%	100%
Teilnehmer pro FTTH POP	400	2000	4000
Teilnehmer pro KVz	18	92	183

TABELLE 5: ANGENOMMENE AUSLASTUNGSGRADU UND TEILNEHMER PRO FTTH POP BZW. KVZ.

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Abbildung 11 bis Abbildung 14 dargestellt. Aufgrund der maximalen Teilnehmerzahl von 183 pro KVz wurde der VDSL2 35b DSLAM mit 144 ports zugrunde gelegt.

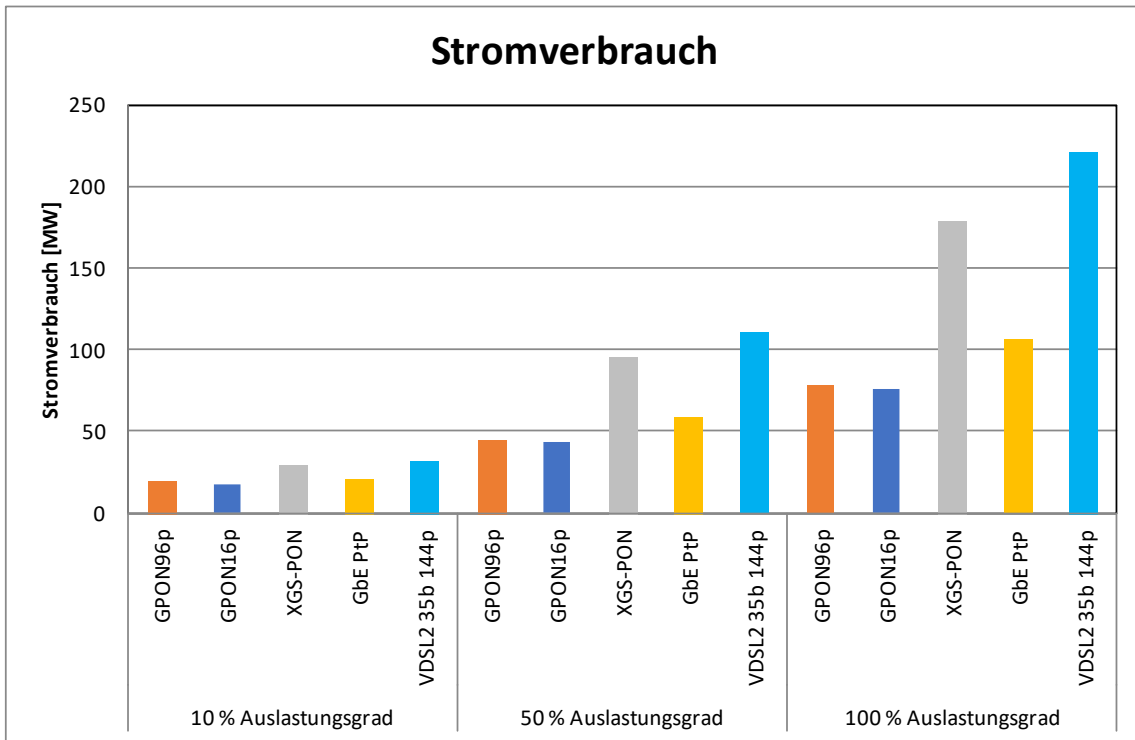


ABBILDUNG 11: STROMVERBRAUCH FÜR EINE VERSORGUNG DER STÄDTISCHEN GEBIETE IN DEUTSCHLAND MIT DER JEWEILIGEN ZUGANGSNETZTECHNOLOGIE FÜR VERSCHIEDENEN AUSLASTUNGSGRAD.

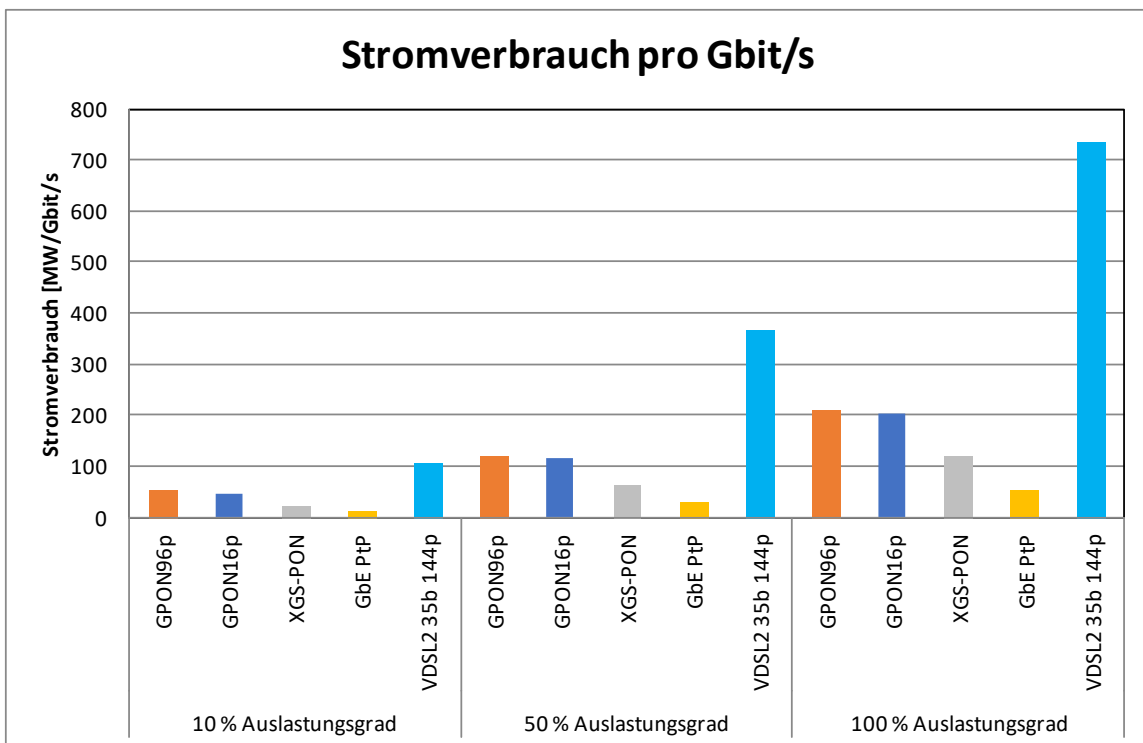


ABBILDUNG 12: STROMVERBRAUCH PRO GBIT/S FÜR EINE VERSORGUNG DER STÄDTISCHEN GEBIETE IN DEUTSCHLAND MIT DER JEWEILIGEN ZUGANGSNETZTECHNOLOGIE FÜR VERSCHIEDENEN AUSLASTUNGSGRAD.

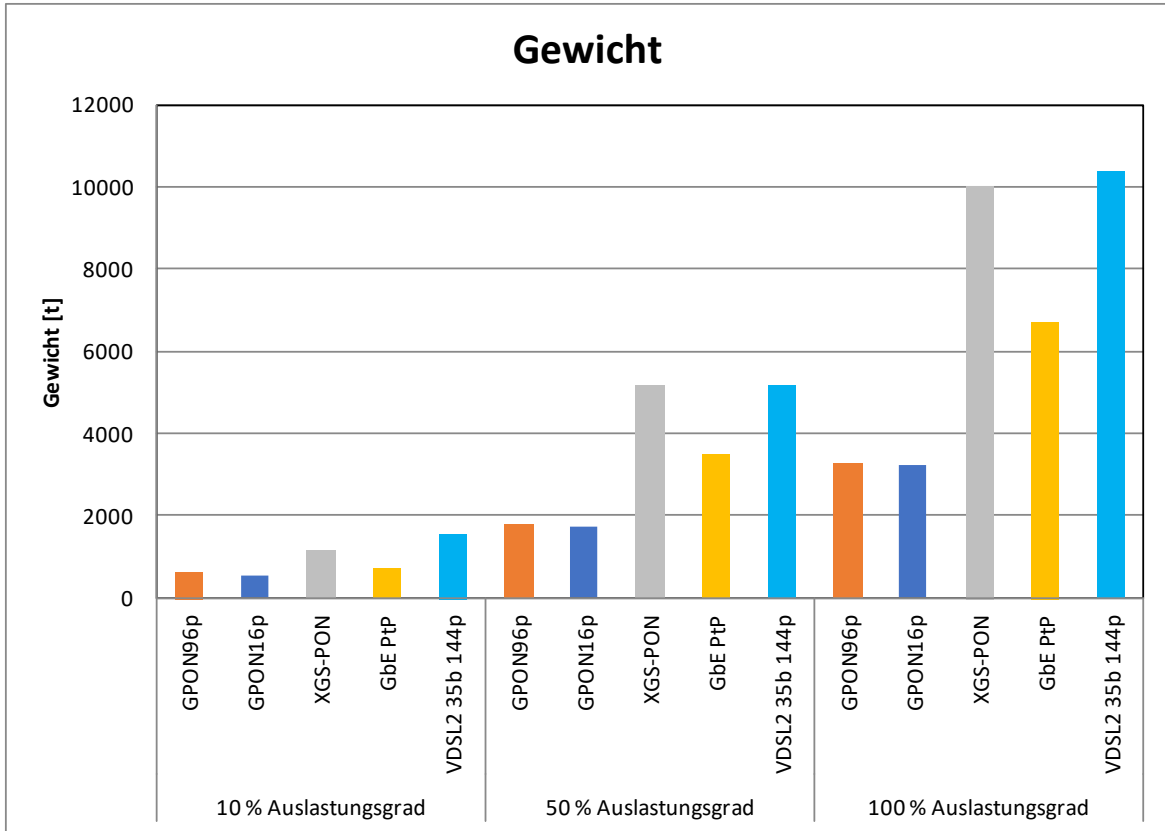


ABBILDUNG 13: GEWICHT DER SYSTEMTECHNIK INKL. NT FÜR EINE VERSORGUNG DER STÄDTISCHEN GEBIETE IN DEUTSCHLAND MIT DER JEWEILIGEN ZUGANGSNETZTECHNOLOGIE FÜR VERSCHIEDENEN AUSLASTUNGSGRAD.

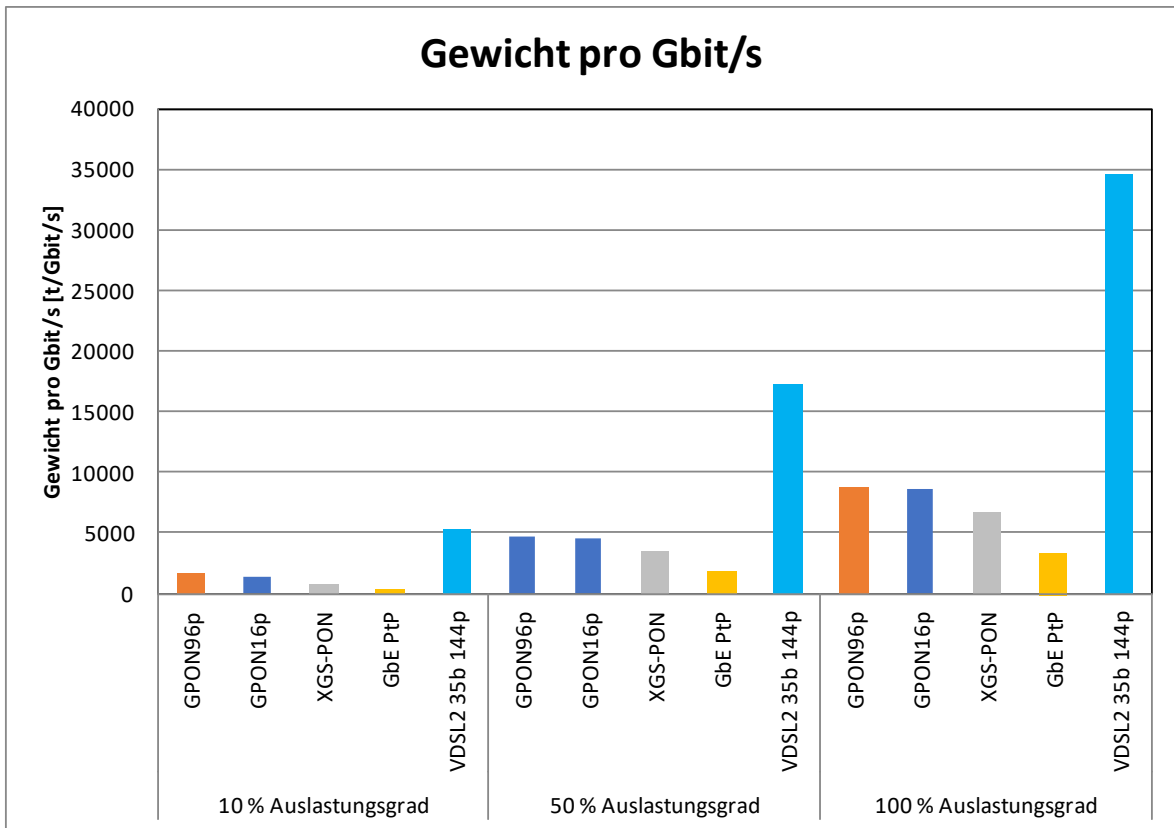


ABBILDUNG 14: GEWICHT DER SYSTEMTECHNIK INKL. NT PRO GBIT/S FÜR EINE VERSORGUNG DER STÄDTISCHEN GEBIETE IN DEUTSCHLAND MIT DER JEWEILIGEN ZUGANGSNETZTECHNOLOGIE FÜR VERSCHIEDENEN AUSLASTUNGSGRAD.

Aus Abbildung 11 kann man erkennen, dass auch in städtischen Gebieten der Stromverbrauch für FTTC für alle Auslastungsgrade stets größer als der für FTTH ist. Der geringste Stromverbrauch ergibt sich wieder für GPON, gefolgt von GbE Punkt-zu-Punkt und XGS-PON. Bei einem Auslastungsgrad von 100 % kann man mit GPON fast 145 MW, mit GbE Punkt-zu-Punkt rund 114 MW und mit XGS PON über 42 MW gegenüber VDSL2 35b 144p einsparen.

Auf ein Gbit/s bezogen ergibt sich der geringste Stromverbrauch wieder für GbE Punkt-zu-Punkt, gefolgt von XGS-PON und GPON (siehe Abbildung 12). Bei einem Auslastungsgrad von 100 % kann man mit GbE Punkt-zu-Punkt pro Gbit/s Summenbitrate mehr als 680 MW, mit XGS-PON rund 615 MW und mit GPON mehr als 533 MW gegenüber VDSL2 35b 144p einsparen.

**Fazit Planung städtische Gebiete:** FTTH Technologien benötigen auch in städtischen Gebieten für alle betrachteten Auslastungsgrade weniger elektrische Leistung und Gewicht für die Systemtechnik inkl. NT beim Teilnehmer. Wenn die absoluten Zahlen (Stromverbrauch, Gewicht) betrachtet werden, ist wie schon bei der deutschlandweiten Planung GPON die günstigste FTTH Variante gefolgt von GbE Punkt-zu-Punkt und XGS-PON. Bezieht man hingegen den Stromverbrauch und das Gewicht auf die Bitrate, so sind auch hier GbE Punkt-zu-Punkt und XGS-PON die günstigsten FTTH Technologien.

## Ländliche Gebiete

Ländliche Gebiete sind gekennzeichnet durch eine Einwohnerdichte von weniger als 100 Einwohnern pro km<sup>2</sup>. Gemäß [17] leben in Deutschland 14,9 Mio. Einwohner in ländlichen Gebieten mit einer Gesamtfläche von 21.6694,7 km<sup>2</sup>, entsprechend einer Einwohnerdichte von 69 Einwohnern pro km<sup>2</sup>. Im Folgenden soll der Stromverbrauch und das Gewicht der jeweiligen Zugangstechnologien für ländliche Gebiete in Deutschland unter folgenden Annahmen abgeschätzt werden:

- 5,9 Mio. Teilnehmer (Haushalte) in ländlichen Gebieten (d.h. 2,5 Einwohner pro Haushalt).
- Ein FTTH POP Standort kann aus praktischen Gründen (Handling der Glasfasern) maximal 2000 Glasfaseranschlüsse terminieren. Daher sind für die Versorgung der ländlichen Gebiete 2975 FTTH POP Standorte erforderlich.  
Für die FTTH POP Standorte wurde eine passive Kühlung angenommen.
- 100.000 FTTC Standorte. Es wurde wieder angenommen, dass keine aktive Kühlung der KVz Gehäuse durch Lüfter oder Klimageräte erforderlich ist.
- Gleichmäßige Verteilung der Teilnehmer auf die FTTH bzw. FTTC Standorte.

Alle weiteren Annahmen entsprechen denen in Abschnitt „Vergleich Strombedarf und Gewicht der Systemtechnik“. Die Ergebnisse werden wieder für verschiedene Auslastungsgrade dargestellt (siehe Tabelle 6).

Auslastungsgrad	10%	50%	100%
Teilnehmer pro FTTH POP	200	1000	2000
Teilnehmer pro KVz	6	30	60

TABELLE 6: ANGENOMMENE AUSLASTUNGSGRADU UND TEILNEHMER PRO FTTH POP BZW. KVZ.

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Abbildung 15 bis Abbildung 18 dargestellt. Aufgrund der maximalen Teilnehmerzahl von 60 pro KVz wurde wie schon bei der Planung in Abschnitt „Städtische Gebiete“ der VDSL 35b DSLAM mit 144 ports zugrunde gelegt.

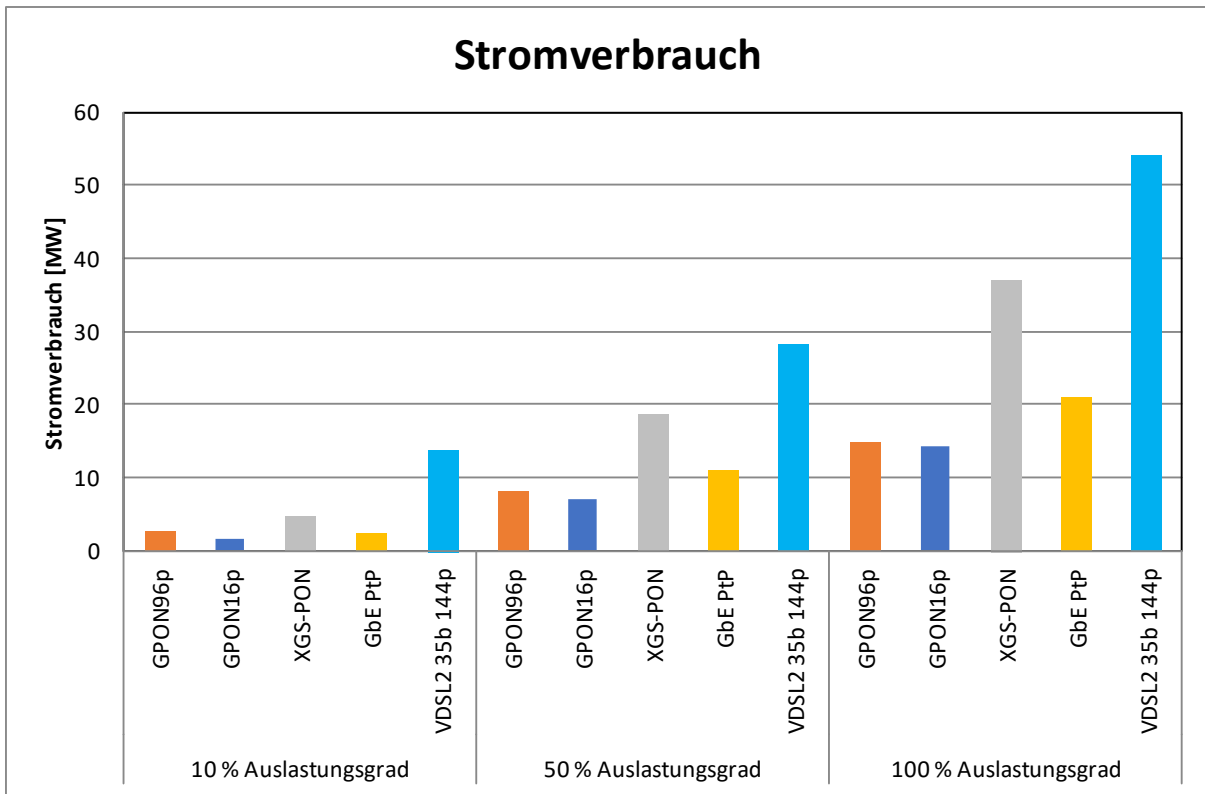


ABBILDUNG 15: STROMVERBRAUCH FÜR EINE VERSORGUNG DER LÄNDLICHEN GEBIETE IN DEUTSCHLAND MIT DER JEWEILIGEN ZUGANGSNETZTECHNOLOGIE FÜR VERSCHIEDENEN AUSLASTUNGSGRAD.

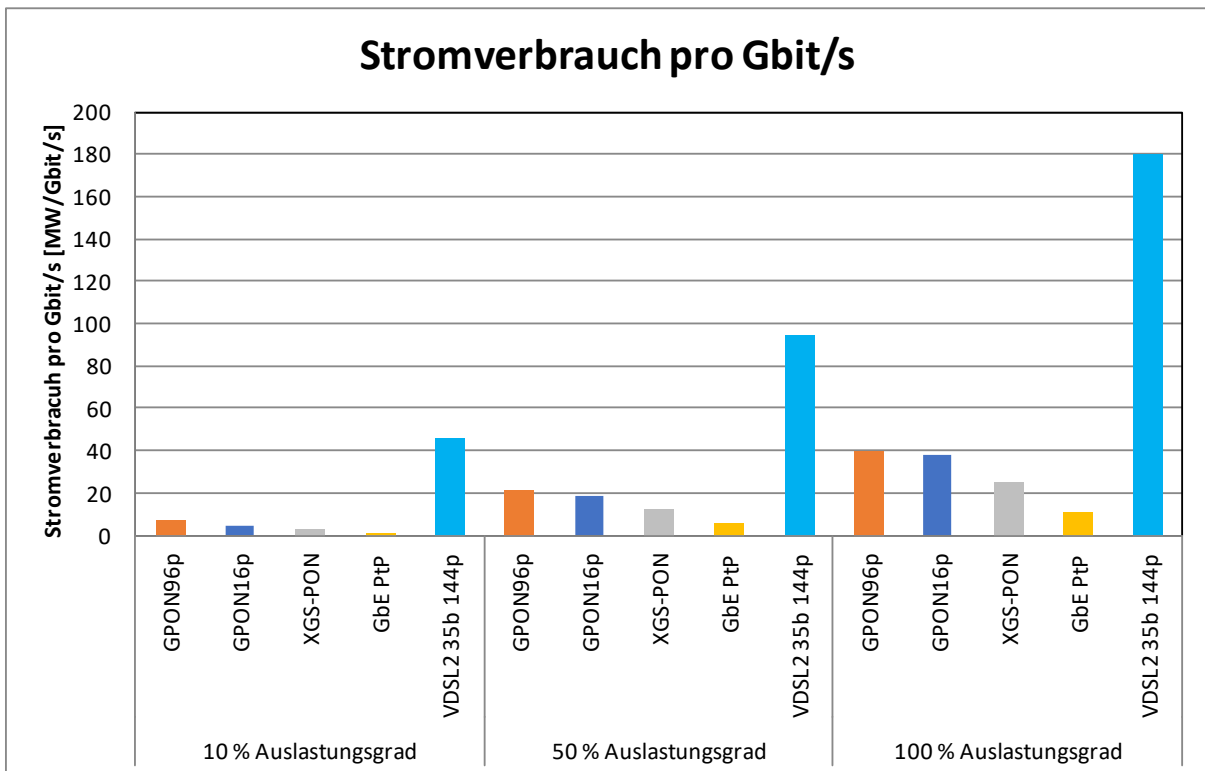


ABBILDUNG 16: STROMVERBRAUCH PRO GBIT/S FÜR EINE VERSORGUNG DER LÄNDLICHEN GEBIETE IN DEUTSCHLAND MIT DER JEWEILIGEN ZUGANGSNETZTECHNOLOGIE FÜR VERSCHIEDENEN AUSLASTUNGSGRAD.



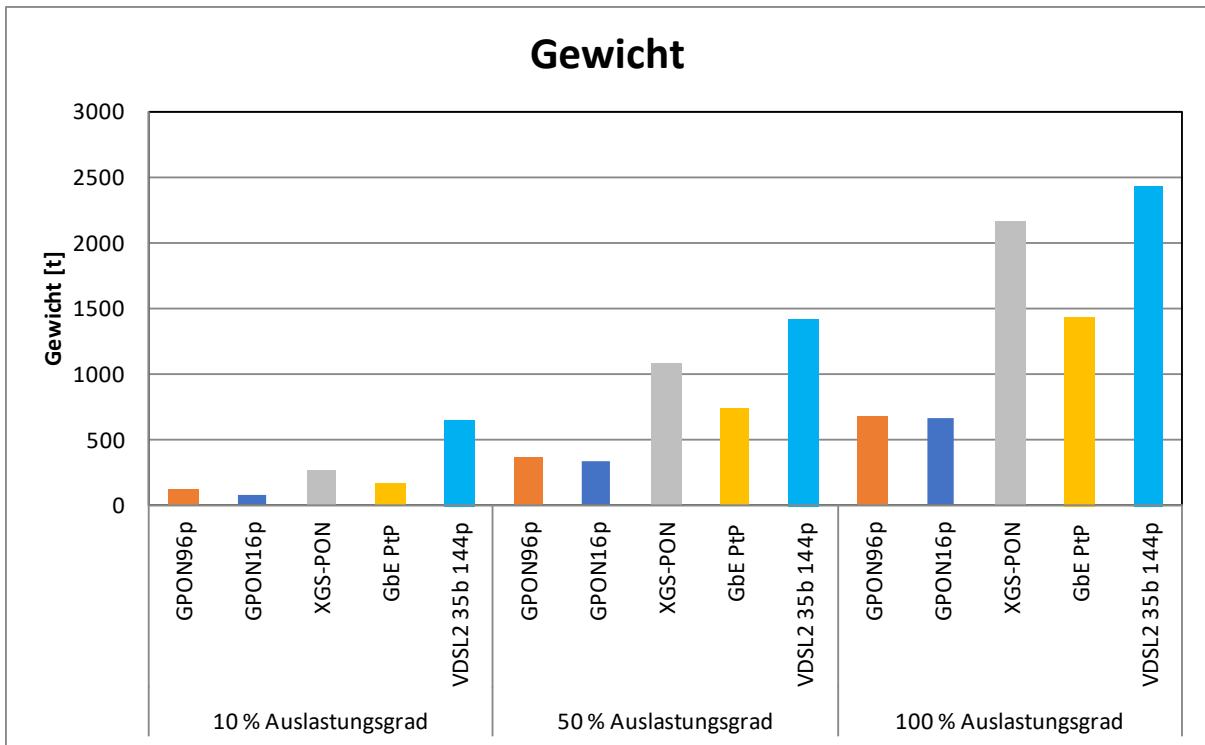


ABBILDUNG 17: GEWICHT DER SYSTEMTECHNIK INKL. NT FÜR EINE VERSORGUNG DER LÄNDLICHEN GEBIETE IN DEUTSCHLAND MIT DER JEWEILIGEN ZUGANGSNETZTECHNOLOGIE FÜR VERSCHIEDENEN AUSLASTUNGSGRAD.

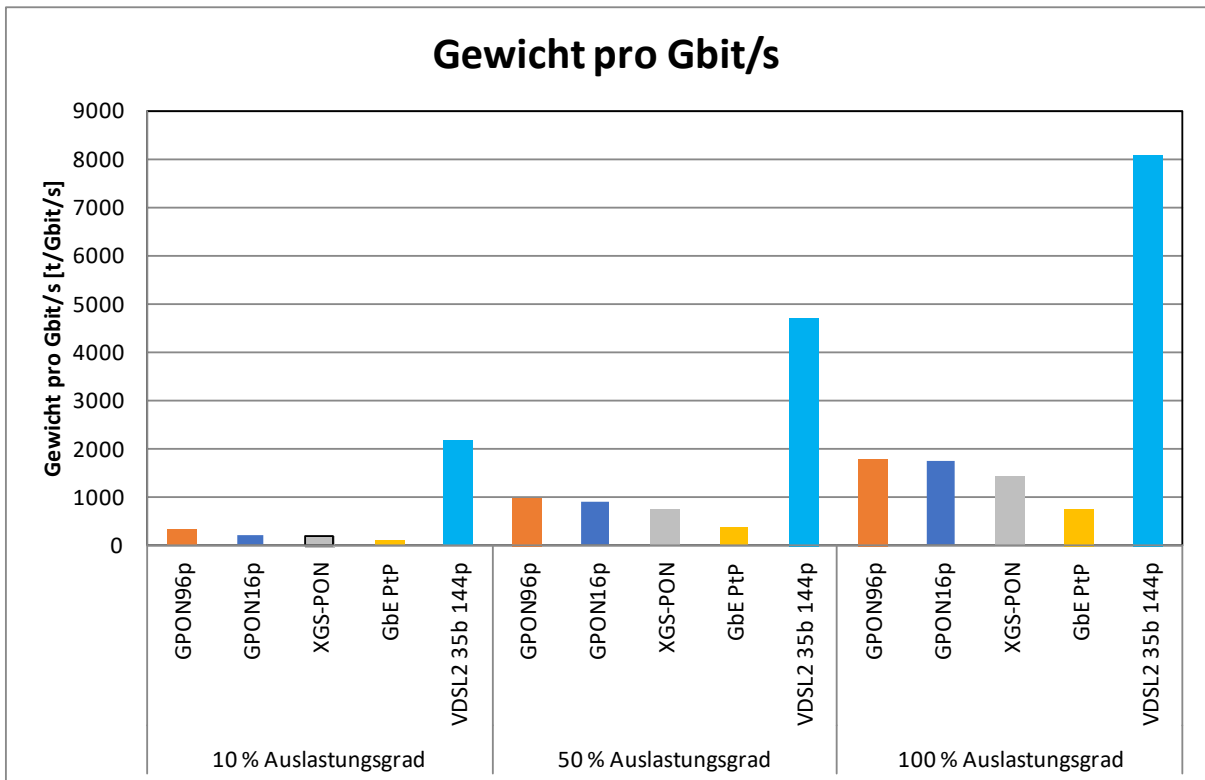


ABBILDUNG 18: GEWICHT DER SYSTEMTECHNIK INKL. NT PRO GBIT/S FÜR VERSORGUNG DER LÄNDLICHEN GEBIETE IN DEUTSCHLAND MIT DER JEWEILIGEN ZUGANGSNETZTECHNOLOGIE FÜR VERSCHIEDENEN AUSLASTUNGSGRAD.

Gemäß Abbildung 15 ist auch in ländlichen Gebieten der Stromverbrauch für alle FTTC Technologien und alle Auslastungsgrade stets größer als der für FTTH ist, wobei der Unterschied im Vergleich zu städtischen Gebieten

deutlich stärker ausgeprägt ist. Gründe hierfür sind zum einen der relativ geringe Auslastungsgrad der FTTC Standorte und zum anderen die Annahme, dass für FTTH Standorte in ländlichen Gebieten (im Gegensatz zu städtischen Gebieten) eine passive Kühlung ausreichend ist, so dass hier kein Stromverbrauch für Klimatechnik berücksichtigt werden muss. Der geringste Stromverbrauch ergibt sich auch hier für GPON, gefolgt von XGS-PON und GbE Punkt-zu-Punkt. Bei einem Auslastungsgrad von 100 % kann man mit GPON fast 40 MW, mit GbE Punkt-zu-Punkt fast 33 MW und mit XGS PON fast 17 MW und mit gegenüber VDSL2 35b 144p einsparen.

Auf ein Gbit/s bezogen ergibt sich der geringste Stromverbrauch wieder für GbE Punkt-zu-Punkt, gefolgt von XGS-PON und GPON (siehe Abbildung 16). Bei einem Auslastungsgrad von 100 % kann man mit GbE Punkt-zu-Punkt pro Gbit/s Summenbitrate fast 170 MW, mit XGS-PON rund 155 MW und mit GPON rund 142 MW gegenüber VDSL2 35b 144p einsparen.

**Fazit Planung ländliche Gebiete:** FTTH Technologien benötigen auch in ländlichen Gebieten für alle betrachteten Auslastungsgrade weniger elektrische Leistung und Gewicht für die Systemtechnik inkl. NT beim Teilnehmer, wobei die Unterschiede deutlich größer als in städtischen Gebieten ausfallen. Wenn die absoluten Zahlen (Stromverbrauch, Gewicht) betrachtet werden, ist wie schon bei der deutschlandweiten bzw. städtischen Planung GPON die günstigste FTTH Variante gefolgt von GbE Punkt-zu-Punkt und XGS-PON. Bezieht man hingegen den Stromverbrauch und das Gewicht auf die Bitrate, so sind auch in ländlichen Gebieten GbE Punkt-zu-Punkt und XGS-PON die günstigeren FTTH Technologien.

## Beispiel für halbstädtische Gebiete: Haltern am See

Haltern am See ist eine Stadt im Norden des Kreises Recklinghausen im Regierungsbezirk Münster in Nordrhein-Westfalen und ein Beispiel für ein halbstädtisches Gebiet. In Haltern leben 38.013 Einwohner auf einer Fläche von 159 km<sup>2</sup>, entsprechend einer Einwohnerdichte von 239 Einwohnern pro km<sup>2</sup>. Im Folgenden soll der Stromverbrauch und das Gewicht der jeweiligen Zugangstechnologien für Haltern am See unter folgenden Annahmen abgeschätzt werden:

- 17.384 Teilnehmer (Haushalte), d.h. 2,2 Einwohner pro Haushalt. Hiervon werden 14.466 durch FTTH bzw. FTTC erschlossen.
- 13 FTTH POPs, die zwischen 394 und 2463 Teilnehmer versorgen. Die Daten sind reale Daten aus einem Produktionsnetz.  
Für die FTTH POP Standorte wurde eine passive Kühlung angenommen.
- 83 FTTC Standorte. Es wurde wieder angenommen, dass keine aktive Kühlung der KVz Gehäuse durch Lüfter oder Klimageräte erforderlich ist.
- Gleichmäßige Verteilung der Teilnehmer auf die FTTC Standorte.

Alle weiteren Annahmen entsprechen denen in Abschnitt „Vergleich Strombedarf und Gewicht der Systemtechnik“. Die Ergebnisse werden wieder für verschiedene Auslastungsgrade dargestellt (siehe Tabelle 6).

Auslastungsgrad	10%	50%	100%
Teilnehmer pro FTTH POP	111	556	1113
Teilnehmer pro KVz	17	87	174

TABELLE 7: ANGENOMMENE AUSLASTUNGSGRAD UND TEILNEHMER PRO FTTH POP BZW. KVZ.

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Abbildung 19 bis Abbildung 22 dargestellt. Aufgrund der maximalen Teilnehmerzahl von 121 pro KVz wurde wie schon bei der Planung wieder der VDSL 35b DSLAM mit 144 ports zugrunde gelegt.

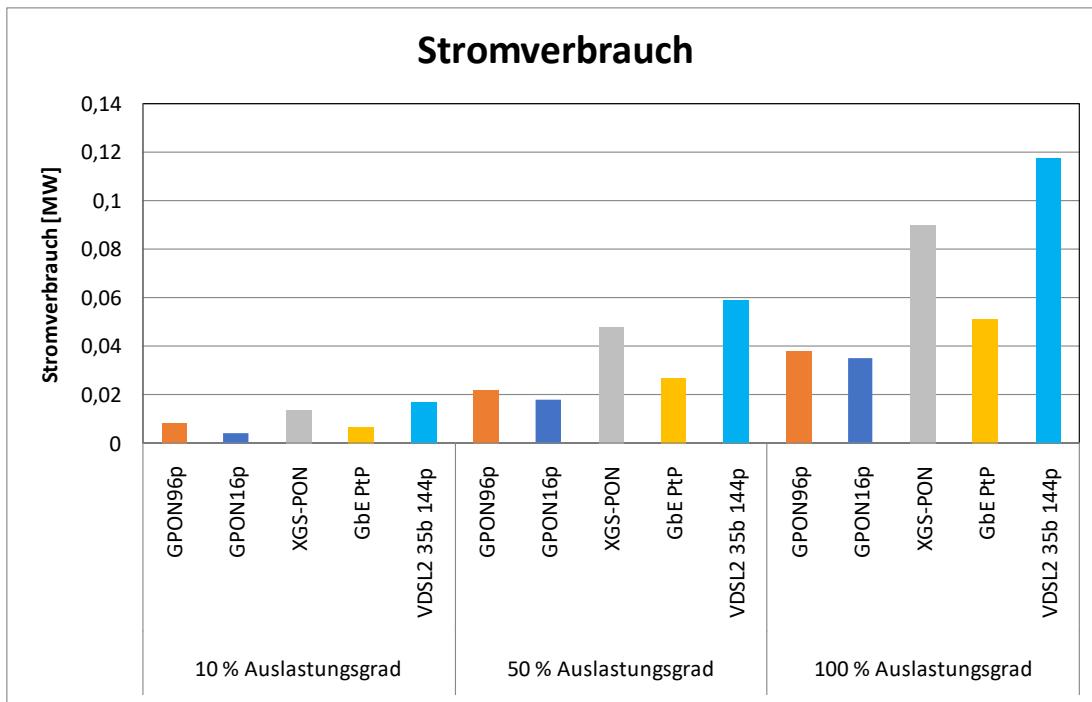


ABBILDUNG 19: STROMVERBRAUCH FÜR EINE VERSORGUNG VON HALTERN AM SEE MIT DER JEWEILIGEN ZUGANGSNETZTECHNOLOGIE FÜR VERSCHIEDENEN AUSLASTUNGSGRAD.

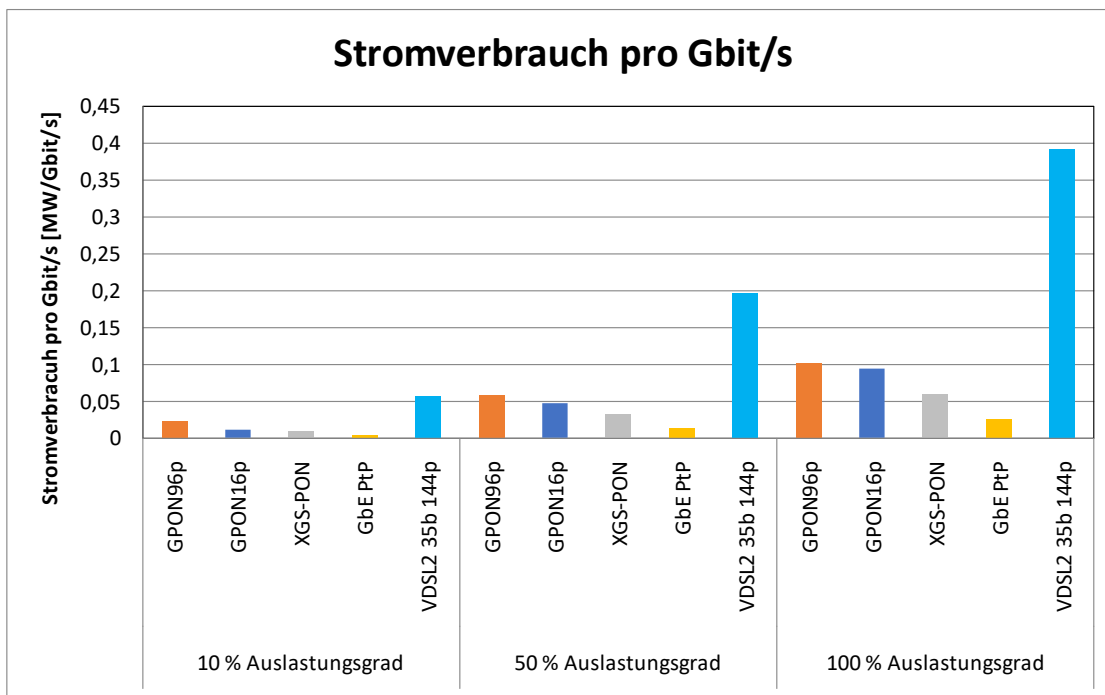


ABBILDUNG 20: STROMVERBRAUCH PRO GBIT/S FÜR EINE VERSORGUNG VON HALTERN AM SEE MIT DER JEWEILIGEN ZUGANGSNETZTECHNOLOGIE FÜR VERSCHIEDENEN AUSLASTUNGSGRAD.

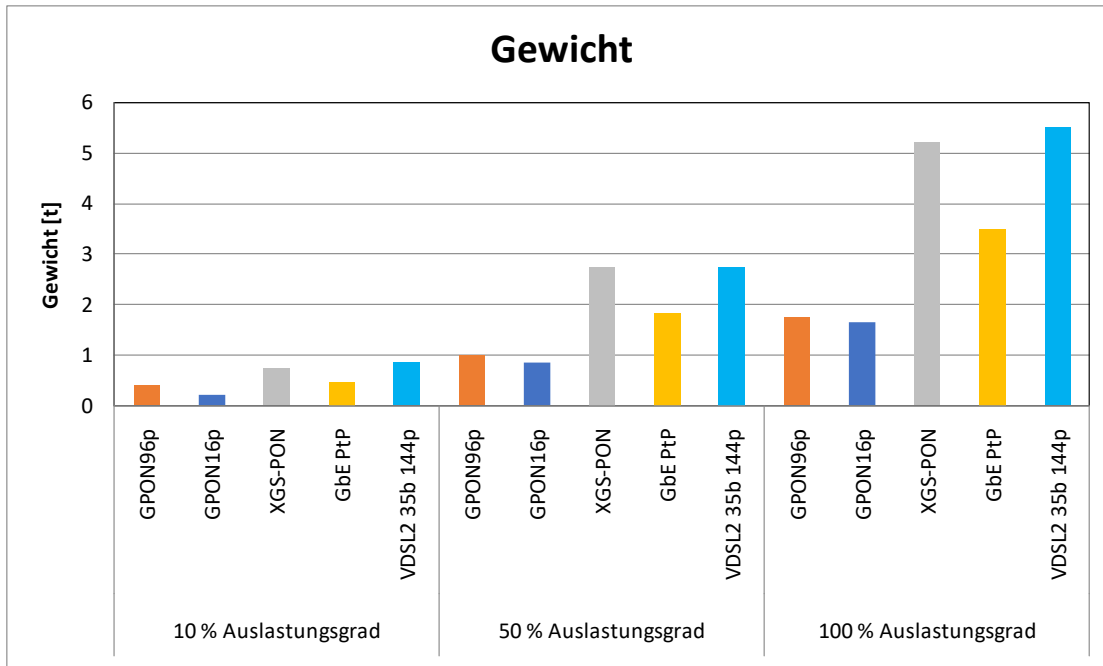


ABBILDUNG 21: GEWICHT DER SYSTEMTECHNIK INKL. NT FÜR EINE VERSORGUNG VON HALTERN AM SEE MIT DER JEWEILIGEN ZUGANGSNETZTECHNOLOGIE FÜR VERSCHIEDENEN AUSLASTUNGSGRAD.

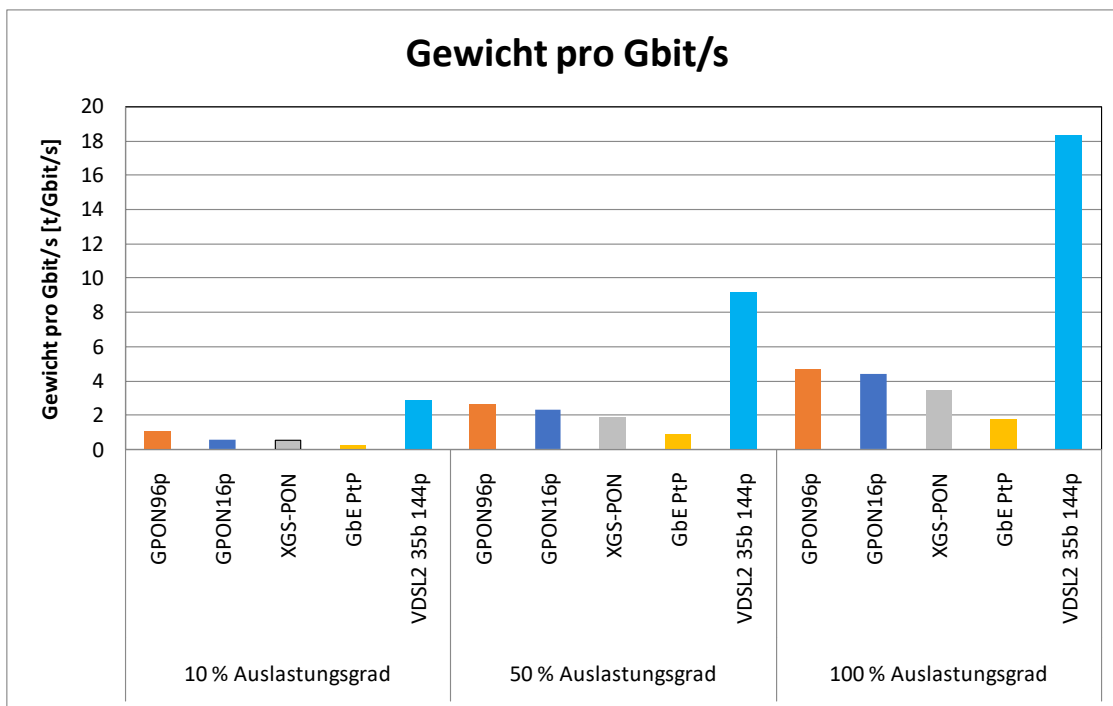


ABBILDUNG 22: GEWICHT DER SYSTEMTECHNIK INKL. NT PRO GBIT/S FÜR VERSORGUNG VON HALTERN AM SEE MIT DER JEWEILIGEN ZUGANGSNETZTECHNOLOGIE FÜR VERSCHIEDENEN AUSLASTUNGSGRAD.

**Fazit Beispiel für halbstädtische Gebiete:** Es wird deutlich, dass sich die Ergebnisse für Haltern am See mit denen für die deutschlandweite Planung sowie den Ergebnissen und städtischen und ländlichen Gebieten decken. Die gezogenen Schlussfolgerungen sind folglich auch auf reale halbstädtische Gebiete übertragbar.

## Fazit

Obwohl in Bezug auf FTTC einige optimistische und für FTTH sehr konservative Annahmen (Vernachlässigung Aggregationsnetz, Bitraten bzw. Reichweiten) getroffen wurden, *sind die hier betrachteten FTTH Technologien in jedem Szenario (deutschlandweit, städtische Gebiete und ländliche Gebiete) und für fast jeden Auslastungsgrad nachhaltiger als FTTC-Netze*. Sie sind sowohl günstiger beim Stromverbrauch als auch in Bezug auf das Gesamtgewicht der Systemtechnik inkl. der NT/CPE beim Teilnehmer. Das Gewicht kann zumindest als Indikator genommen werden, um erste Aussagen über die benötigten Ressourcen für die Herstellung und Entsorgung zu bekommen. Dies ist deshalb zulässig, weil hier ausschließlich das Gewicht der Systemtechnik betrachtet wurde und man daher davon ausgehen kann, dass bei den entsprechenden Zugangstechnologien ähnliche Materialien verwendet wurden.

Im Detail haben die durchgeführten Berechnungen Folgendes gezeigt:

- Wenn die absoluten Zahlen (Stromverbrauch, Gewicht) betrachtet werden, ist GPON in Bezug auf Nachhaltigkeit die günstigste FTTH Variante gefolgt von GbE Punkt-zu-Punkt und XGS-PON. Bezieht man hingegen den Stromverbrauch und das Gewicht auf die Bitrate, so sind GbE Punkt-zu-Punkt und XGS-PON die günstigsten FTTH Technologien. Der Unterschied ist jedoch in den meisten Fällen gering im Vergleich zu FTTC.
- Die deutschlandweite Abschätzung hat gezeigt, dass sich mit GPON gegenüber FTTC fast 240 MW an elektrischer Leistung und rund 11.000 t an Gewicht für die Systemtechnik inkl. NT einsparen lassen. Bezogen auf eine Summendatenrate von einem Gbit/s lassen sich mit GbE Punkt-zu-Punkt Systemen sogar fast 1100 MW an Leistung und 48.000 t an Gewicht gegenüber FTTC einsparen. Zum Vergleich: Typische Kohle-Kraftwerksblöcke erreichen Leistungen zwischen 100 MW und 1000 MW. In städtischen und ländlichen Gebieten ergeben sich qualitativ ähnliche Ergebnisse, wobei die Unterschiede zwischen FTTH und FTTC in ländlichen Gebieten aufgrund der geringeren Auslastung der Kabelverzweiger sowie der passiven Kühlung der FTTH POP größer ausfallen.
- Ab einem bestimmten Auslastungsgrad (abhängig von der Zugangstechnologie zwischen einigen 10 und einigen 100 Teilnehmern pro Netzelement) sind der Stromverbrauch und das Gewicht der NTs beim Teilnehmer der dominante Anteil am Gesamtstromverbrauch bzw. Gewicht. Optimierungen der NT haben folglich im Einklang mit den Ergebnissen aus Ref. [7] und [8] den größten Hebel in Bezug auf Stromverbrauch bzw. Gesamtgewicht von Zugangsnetzen. Im Zuge dessen wäre die Implementierung von Sleep Modi im CPE von großer Bedeutung. Derartige Mechanismen sind bei DSL (FTTC) zwar technisch möglich und schon seit vielen Jahren standardisiert, führen jedoch aufgrund des Übersprechens zu Instabilitäten im Zugangsnetz und werden daher von den Netzbetreibern in der Praxis nicht eingesetzt. Bei FTTH sind Sleep Modi ebenfalls technisch möglich, sind aber derzeit noch nicht implementiert, obwohl sie zu keinen Instabilitäten im Zugangsnetz führen würden. Hier ergibt sich folglich Optimierungspotential, um den Stromverbrauch von FTTH Technologien noch weiter zu reduzieren. Gemäß Ref. [7] könnte durch die Implementierung von Sleep Modi der Stromverbrauch von Zugangsnetzen weiter um bis 40 % gesenkt werden.

## Referenzen

- [1] BREKO Positionspapier „Glasfasernetze und digitale Anwendungen für eine nachhaltige Entwicklung in Deutschland und Europa“, 20.03.2020
- [2] <https://www.bmu.de/themen/nachhaltigkeit-internationales/nachhaltige-entwicklung/strategie-und-umsetzung/nachhaltigkeit-als-handlungsauftrag/>
- [3] K. Obermann, M. Horneffer, „Datennetztechnologien für Next Generation Networks“, 2. Auflage 2013, Springer Vieweg, Wiesbaden.
- [4] Prof. Dr. Jens Böcker, BREKO Marktanalyse19, Marktbefragung der BREKO Netzbetreiber, August 2019.
- [5] Ecobilan S.A., PricewaterhouseCoopers – Sustainable Business Solutions „Developing a generic approach for FTTH solutions using LCA methodology“, 02/2008
- [6] Slavisa Aleksic and Ana Lovric, „Energy Consumption and Environmental Implications of Wired Access Networks“, Vienna University of Technology, 2011.
- [7] Jayant Baliga et al., „Energy Consumption in Wired and Wireless Access Networks“, IEEE Communications Magazine, June 2011
- [8] Rafael Coomonte et al., “How much energy will your NGN consume? A model for energy consumption in next generation access networks: The case of Spain“
- [9] Spectaris Studie, „LICHT als Schlüssel zur globalen ökologischen Nachhaltigkeit“, Berlin/München, Juni 2019.
- [10] <https://www.iea.org/reports/tracking-buildings/data-centres-and-data-transmission-networks>
- [11] EMail vom 14.02.2020 Dr. Grünwald, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB).
- [12] Broadband Forum TR-101 "Migration to Ethernet-Based Broadband Aggregation" Issue: 2, Issue Date: July 2011
- [13] Broadband Forum TR-156 "Using GPON Access in the context of TR-101" Issue 4, Approval Date: November 2017
- [14] [https://avm.de/service/fritzbox/fritzbox-7590/wissensdatenbank/publication/show/138\\_Stromverbrauch-der-FRITZ-Box/](https://avm.de/service/fritzbox/fritzbox-7590/wissensdatenbank/publication/show/138_Stromverbrauch-der-FRITZ-Box/)
- [15] <https://www.hardwareluxx.de/index.php/artikel/hardware/netzwerk/29687-avm-fritzbox-7490-im-test.html?start=9>
- [16] <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/struktur-der-flaechennutzung#die-wichtigsten-flaechennutzungen>
- [17] [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumbeobachtung/Raumabgrenzungen/deutschland/gemeinden/Raumtypen2010\\_vbg/raumtypen2010\\_node.html](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumbeobachtung/Raumabgrenzungen/deutschland/gemeinden/Raumtypen2010_vbg/raumtypen2010_node.html)

## Abkürzungsverzeichnis

4G	vierte Mobilfunkgeneration (Long Term Evolution [LTE])
5G	fünfte Mobilfunkgeneration
ADSL	Asymmetrical Digital Subscriber Line
CATV	Common Antenna Television
CPE	Customer Premises Equipment
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
EPON	Ethernet passive optical network
FTTC	Fiber-to-the-Curb
FTTEx	Fiber-to-the-Exchange
FTTH	Fiber-to-the-Home
FWA	Fixed Wireless Access
G.fast	fast access to subscriber terminals
GbE	Gigabit Ethernet
GigE	Gigabit Ethernet
GPON	Gigabit Passive Optical Network
HFC	Hybrid Fiber Coax
HVt	Hauptverteiler
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
IP	Internet Protokoll
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISO-OSI	International Standardisation Organisation – Open System Interconnection
IT	Informationstechnik
KVz	Kabelverzweiger
LAN	Local Area Network
MIMO	Multiple Input Multiple Output
NAS	Network Attached Storage
NT	Network Termination
OLT	Optical Line Termination
ONT	Optical Network Termination

PON	Passive Optical Network
POP	Point of Presence
POTS	Plain old telephony service
PtP	Point-to-Point
TAE	Telekommunikations-Anschluss-Einheit
THG	Treibhausgas
TK	Telekommunikation
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VDSL	Very High Speed Digital Subscriber Line
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
XGS-PON	10 Gbit/s PON