



Sustainability of FTTH and FTTC Access Networks

BMVI

Dialogreihe
Digitalisierung nachhaltig
gestalten

17.08.2021

Agenda

- Ziel der Untersuchung
- Bisherige Untersuchungen
- Annahmen
- Vergleich Systemtechnik
- Deutschlandweite Planung
- Fazit

Ziel

- Untersuchung der Nachhaltigkeit (Strombedarf & Gewicht Systemtechnik) für verschiedene Auslastungsgrade
 - FTTC
 - FTTH
 - GPON
 - Punkt-zu-Punkt
- Es wird ausschließlich die aktive Infrastruktur (Netzelemente inkl. CPE) im Zugangsnetz berücksichtigt
- Die passive Infrastruktur (z.B. Glasfaser, Kupferkabel, Leerrohre) wird als vorhanden vorausgesetzt

Bisherige Untersuchungen (1)

- **PWC 2008**
 - In den ersten 15 Jahren der Implementierung von FTTH Netzen können Treibhausgas (THG)-Emissionen in Höhe von ca. 330 kg CO₂-Äquivalent pro Jahr und Teilnehmer eingespart werden
- **TU Wien 2011**
 - *FTTH Technologien haben bezogen auf die Bitrate einen fast um eine Größenordnung geringeren Stromverbrauch als Kupfer-basierte Technologien (FTTC/HFC)*
 - Durch eine ausschließliche Verwendung von FTTH (GPON) könnte man die Treibhausgas Emissionen pro Gbit/s um etwa 88 % reduzieren
- **University of Melbourne 2011**
 - *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)*
 - 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

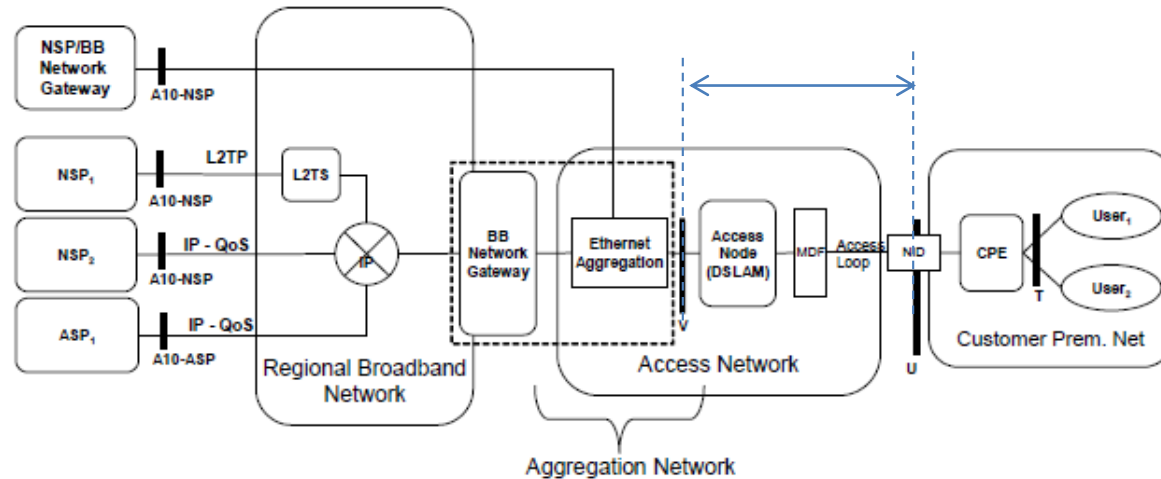
- **R. Coomonte et al.**
 - Der absolute Stromverbrauch pro Teilnehmer ist bei FTTH (GPON) zwar höher als bei LTE, beim Stromverbrauch pro Teilnehmer und Mbit/s ist hingegen FTTH (GPON) deutlich energieeffizienter als LTE
- **Spectaris 2019**
 - Unter Berücksichtigung der weltweiten Teilnehmerzahlen durch FTTH Netze im Vergleich zu anderen Technologien können aktuell etwa 13 Mio. Tonnen CO₂eq vermieden
- **IEA 2019**
 - *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*

Fazit

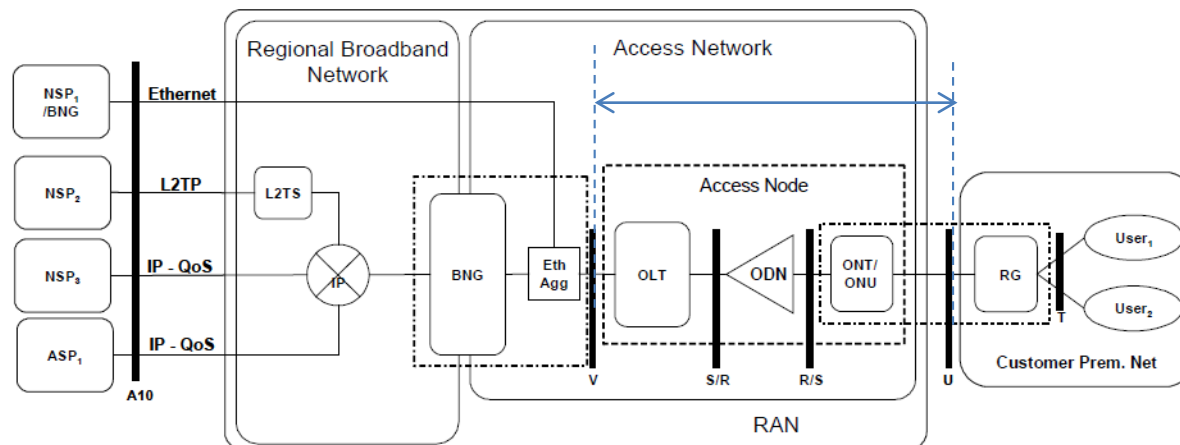
- optische Zugangstechnologien (insbes. GPON) sind bezogen auf die Bitrate deutlich energieeffizienter als Kupfer-basierte (ADSL, VDSL, HFC) oder Funk-basierte (UMTS, WIMAX, LTE) Zugangstechnologien
- Studien sind z.T. viele Jahre alt, und der Stromverbrauch der Systemtechnik konnte seitdem in vielen Bereichen signifikant reduziert werden: Bsp.
 - OLT aus [University of Melbourne 2011]: max. 1024 Teilnehmer, 1340 W
 - OLT diese Studie: max. 3072 Teilnehmer, 654 W
 - Effizienzsteigerung von mehr als Faktor 6 in etwa 9 Jahren!

Netzarchitektur

FTTC
Broadband
Forum TR-101



GPON
Broadband
Forum TR-101



Zugangsnetze haben den größten Anteil am Stromverbrauch von TK-Netzen!

Annahmen

- Systemtechnik der Firmen Keymile und Nokia (Abweichung ca. 10 %)
- Strombedarf CPE bzw. NT: nur der Strombedarf für die eigentliche Modem Funktionalität (NT, Ref. U), da die heute üblichen CPE Funktionalitäten (z.B. WLAN, Ethernet-Ports, DECT, a/b, ISDN, NAS) signifikante Auswirkungen auf den Stromverbrauch der CPE haben
 - Fritzbox 7590: durchschnittlich 9-10 W, max. 30 W
 - Test Fritzbox 7490 : 5,4 bis 12,3 W
 - Eigene Messungen Fritzbox 7583 VDSL2 17a/35b: 8,4 bis 14,1 W
 - Nokia GPON CPE G-140W-C mit 1xPOTS, 4xGigE, WLAN: 2x2 MIMO for 802.11b/g/n and 802.11ac: 17,9 W
 - 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

Annahmen

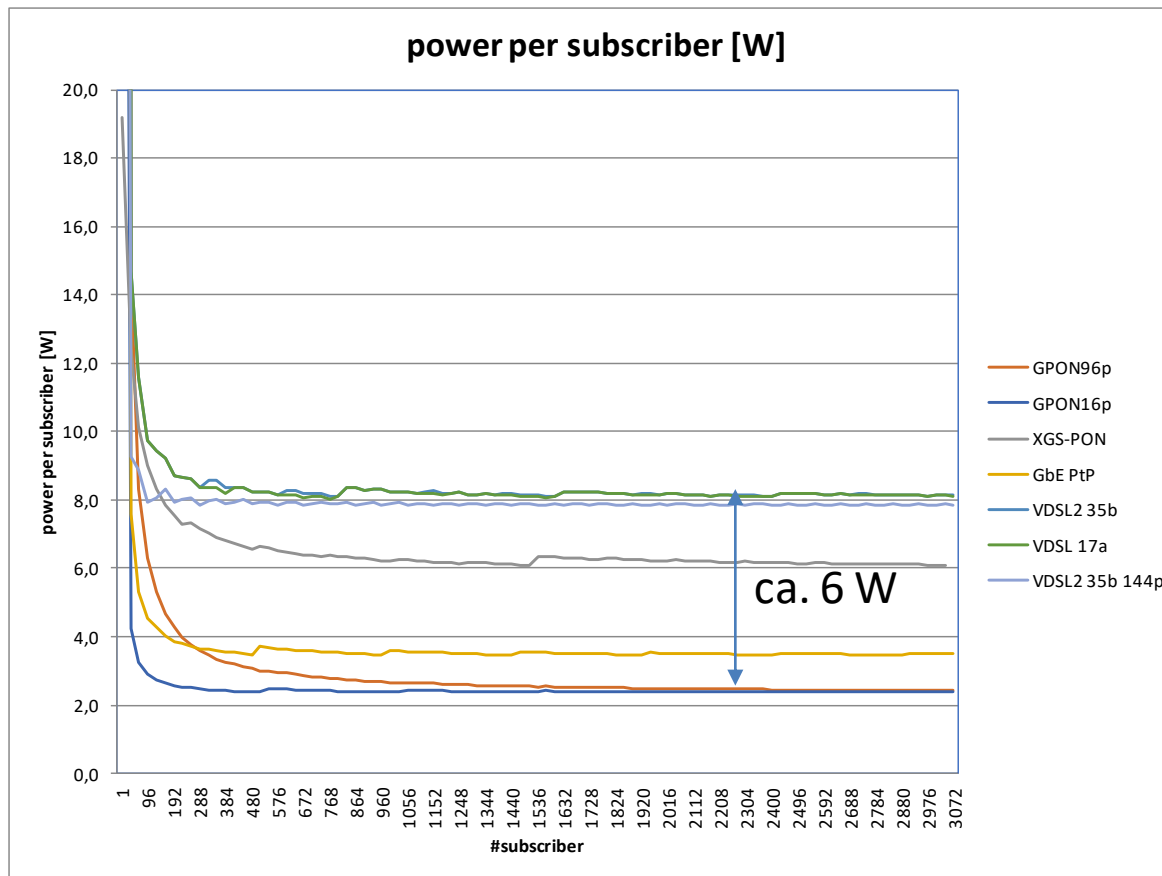
- Systemtechnik

- GPON/XGS-PON Splitfaktor 1:32
- GPON96p: GPON mit max. 96 ports bzw. $96 \times 32 = 3072$ Teilnehmern
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 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 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

- CPE

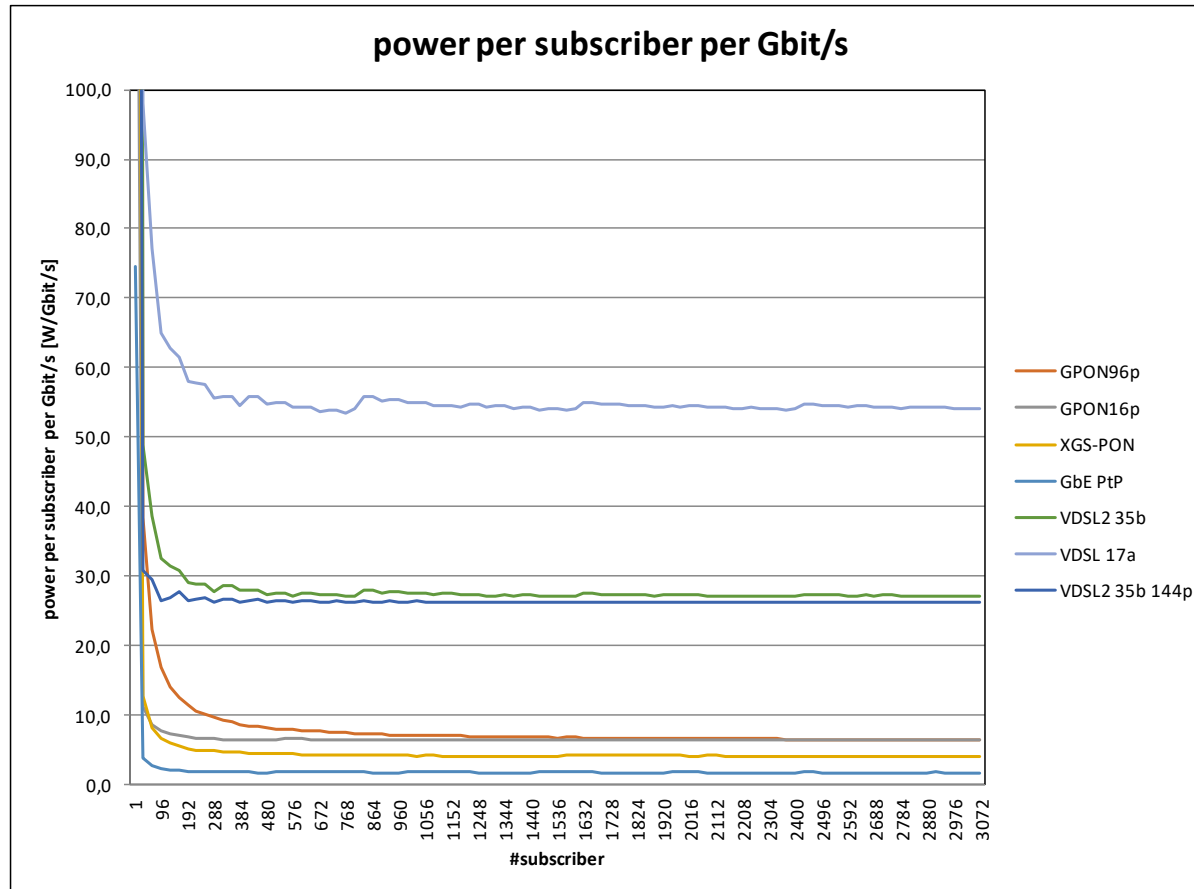
NT	Leistung [W]	Gewicht [g]
GPON ONT (Keymile)	2,2	100
XGS-PON (Nokia)	5,5	336
GbE PtP (Genexis FiberTwist-P2110)	1,8	176
VDSL2 17a/35b (Nokia F-010G-B)	6,1	320

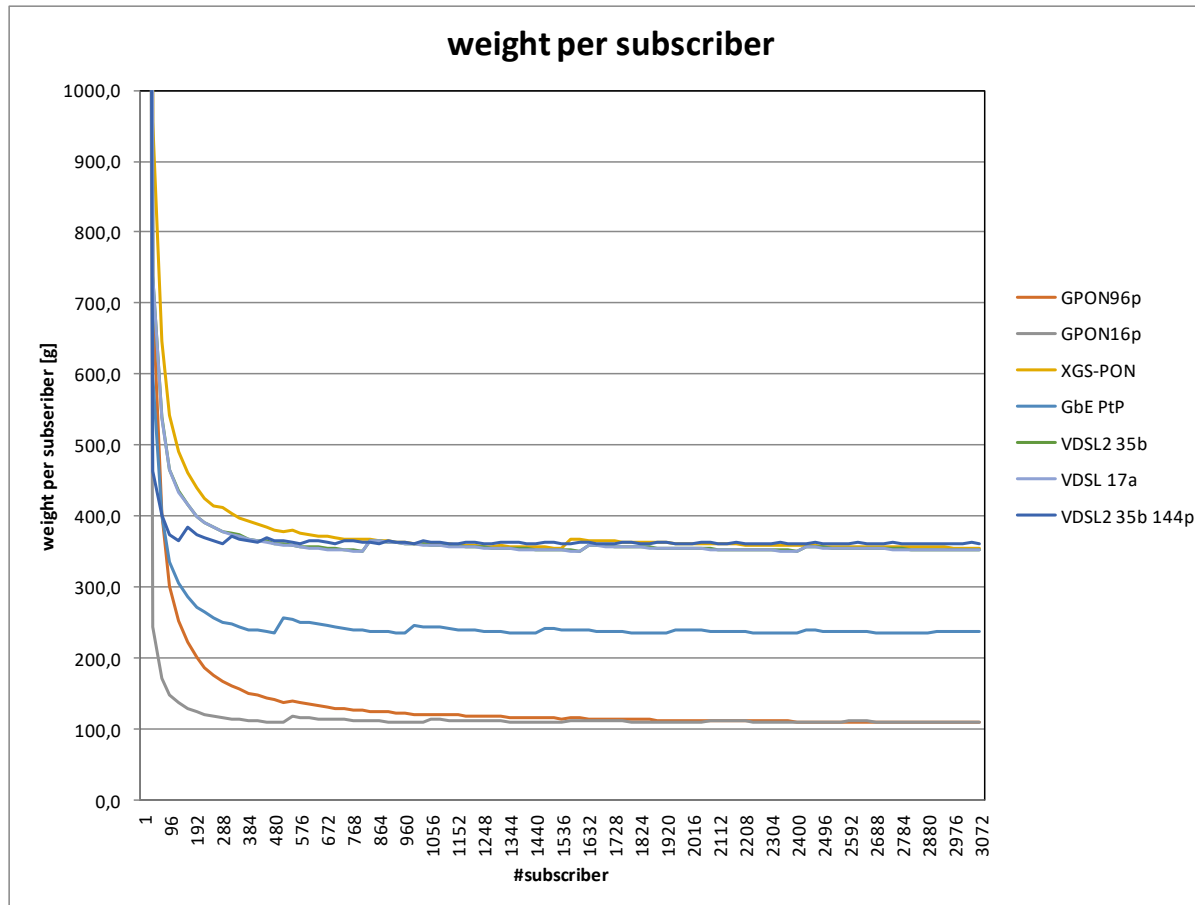
Strombedarf Systemtechnik



=> Ab etwa 500 Teilnehmern ändern sich die Werte kaum noch: 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.
=> Ab einem bestimmten Auslastungsgrad (zwischen 64 und 320 Teilnehmer pro Netzelement) ist der Stromverbrauch der NTs der dominante Anteil am Gesamtstromverbrauch

Strombedarf Systemtechnik

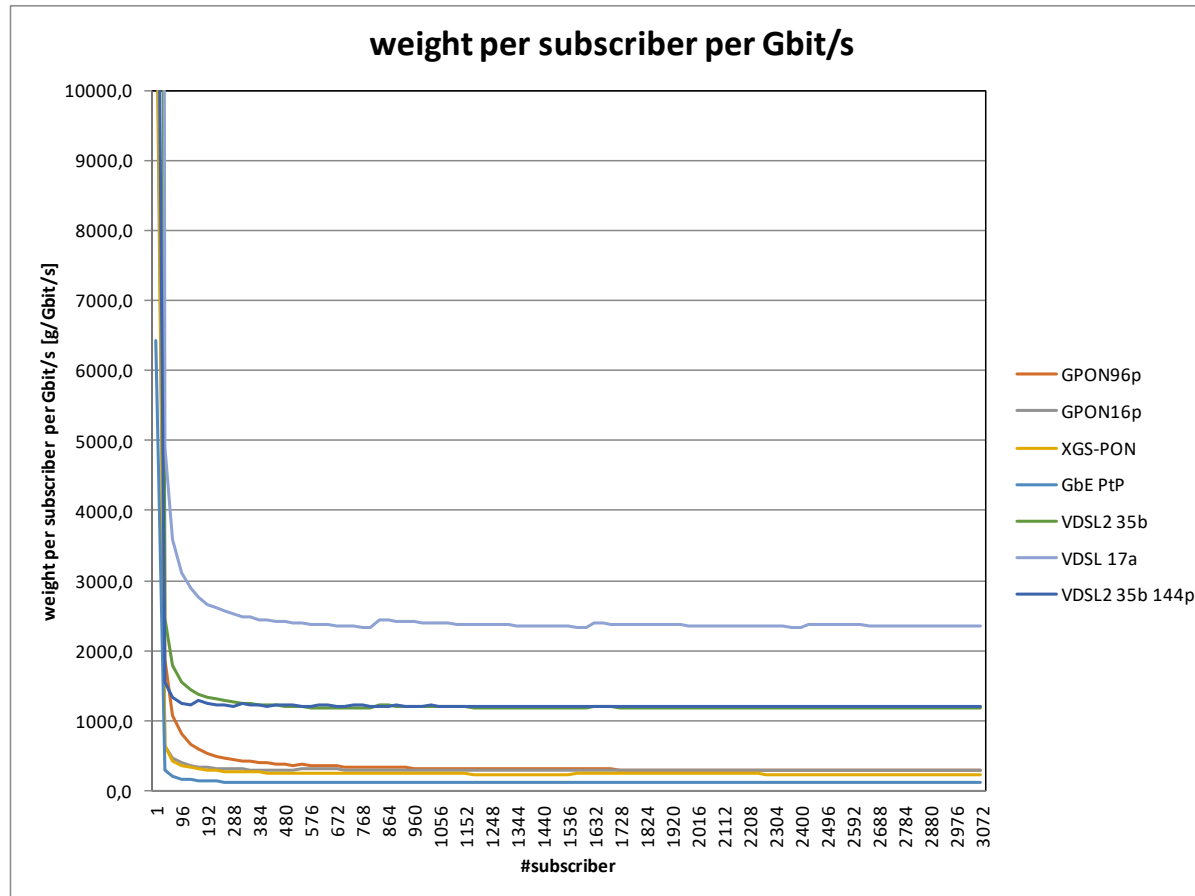




=> Ab etwa 500 Teilnehmern ändern sich die Werte kaum noch: 110 g für GPON 16p; 139 g für GPON 96p; 260 g für GbE PtP; 360 g für VDSL2 35b und 17a; 364 g für VDSL2 35b 144p und 379 g für XGS-PON.

=> 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.

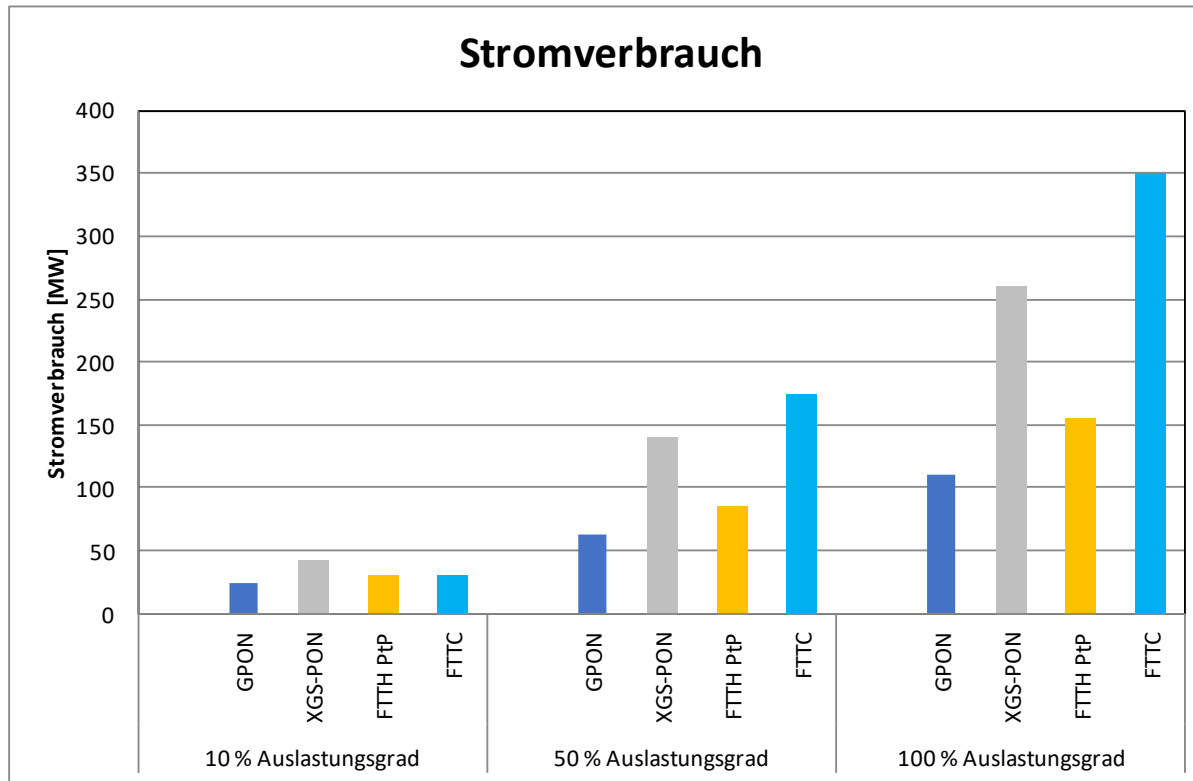
Gewicht Systemtechnik



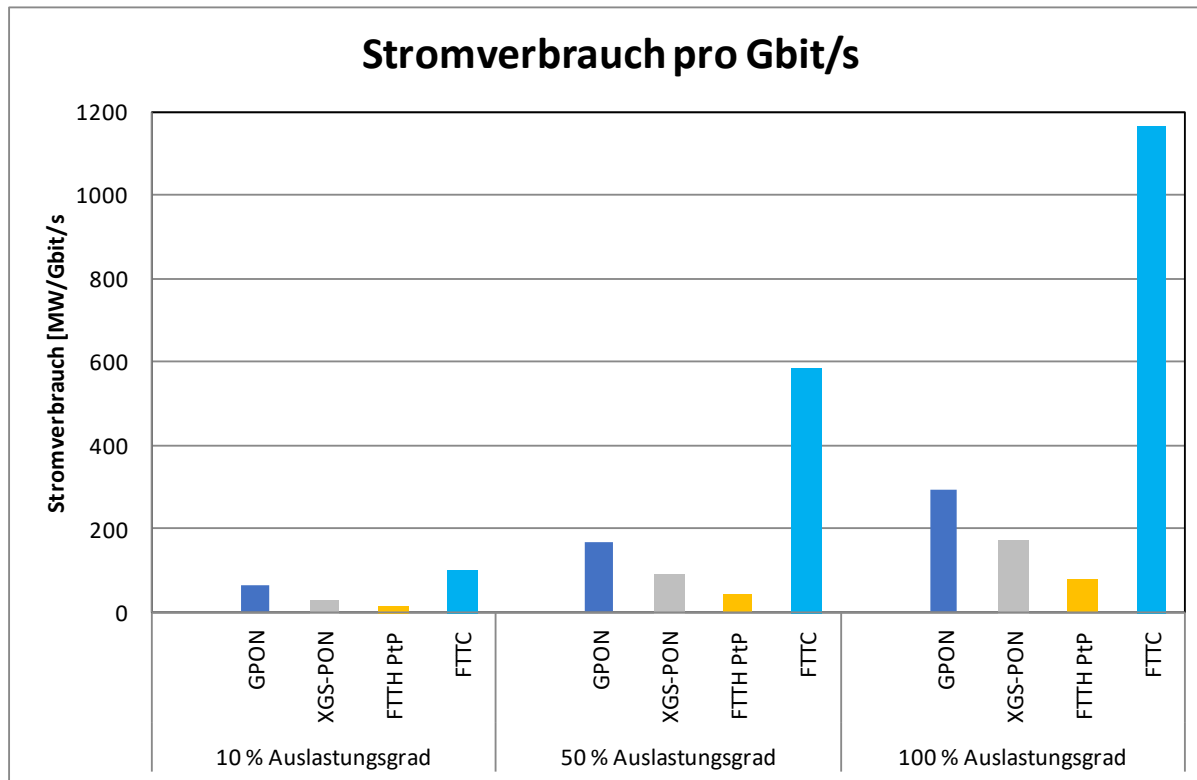
Deutschlandweite Planung

- 40 Mio. Teilnehmer (Haushalte)
- 400.000 Kabelverzweiger
- Gesamtfläche Deutschland 357.582 km^2 , davon in 2018 14,3 %, Siedlungs- und Verkehrsfläche
- 10.000 FTTH POP Standorte (4000 Teilnehmer pro FTTH POP, Handling von Glasfasern)
Anmerkung: Die Reichweite eines FTTH Systems beträgt etwa $r_{\max} = 20 \text{ km}$. Für die Flächendeckung sind nur etwa $51.123 \text{ km}^2 / 450 \text{ km}^2 \approx 114$ (!) FTTH POP Standorte erforderlich
- FTTH POP Standorte: Klimatisierung (Stromverbrauch 1,5 kW; Gewicht 30 kg)
- FTTC : Erschließung von 300.000 der 400.000 KVz Standorte
Hintergrund: maximale Entfernung etwa 0,3 km
 $\Rightarrow 51.123 \text{ km}^2 / 0,18 \text{ km}^2 \approx 280.000$ KVz Standorte.
- FTTC: keine aktive Kühlung der KVz durch Lüfter oder Klimageräte
- Gleichmäßige Verteilung der Teilnehmer auf die FTTH bzw. FTTC Standorte

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

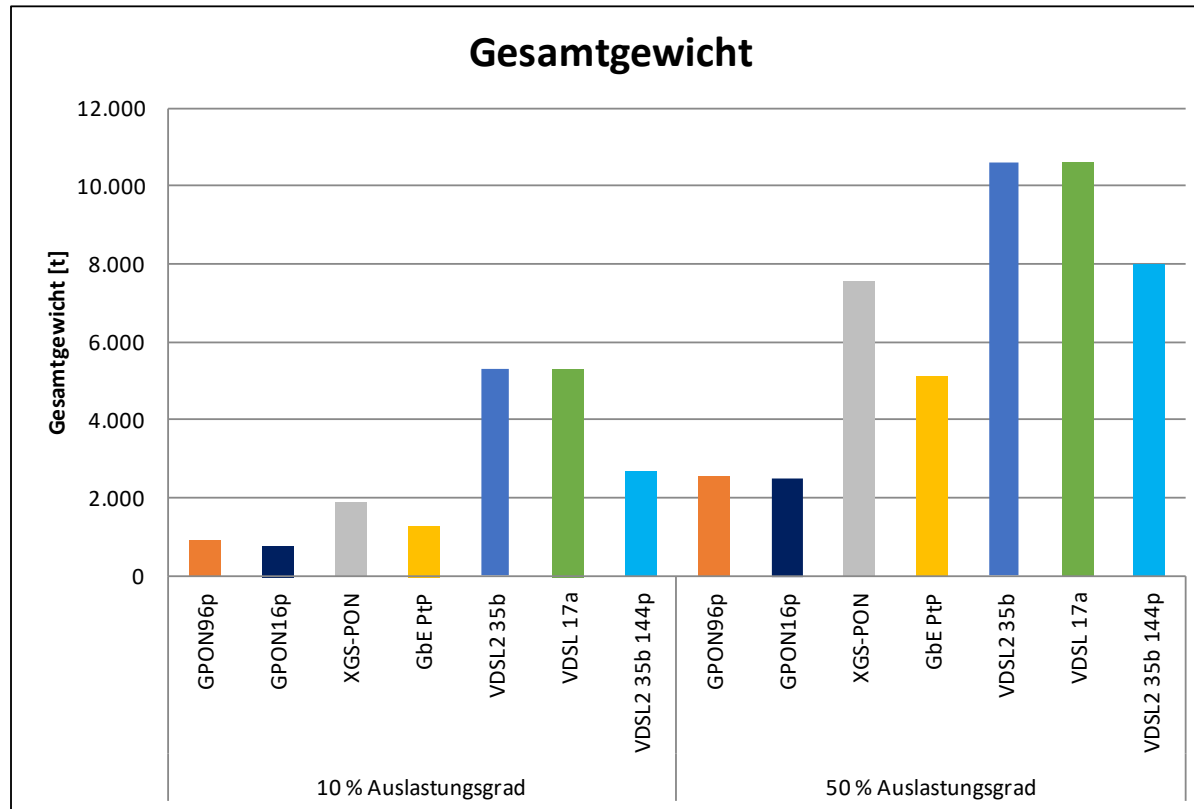


- Geringster Stromverbrauch: GPON gefolgt von FTTH Punkt-zu-Punkt und XGS-PON
- Bei einer Versorgung sämtlicher Haushalte in Deutschland (Auslastungsgrad 100 %) lassen sich mit GPON gegenüber FTTC fast 240 MW einsparen.

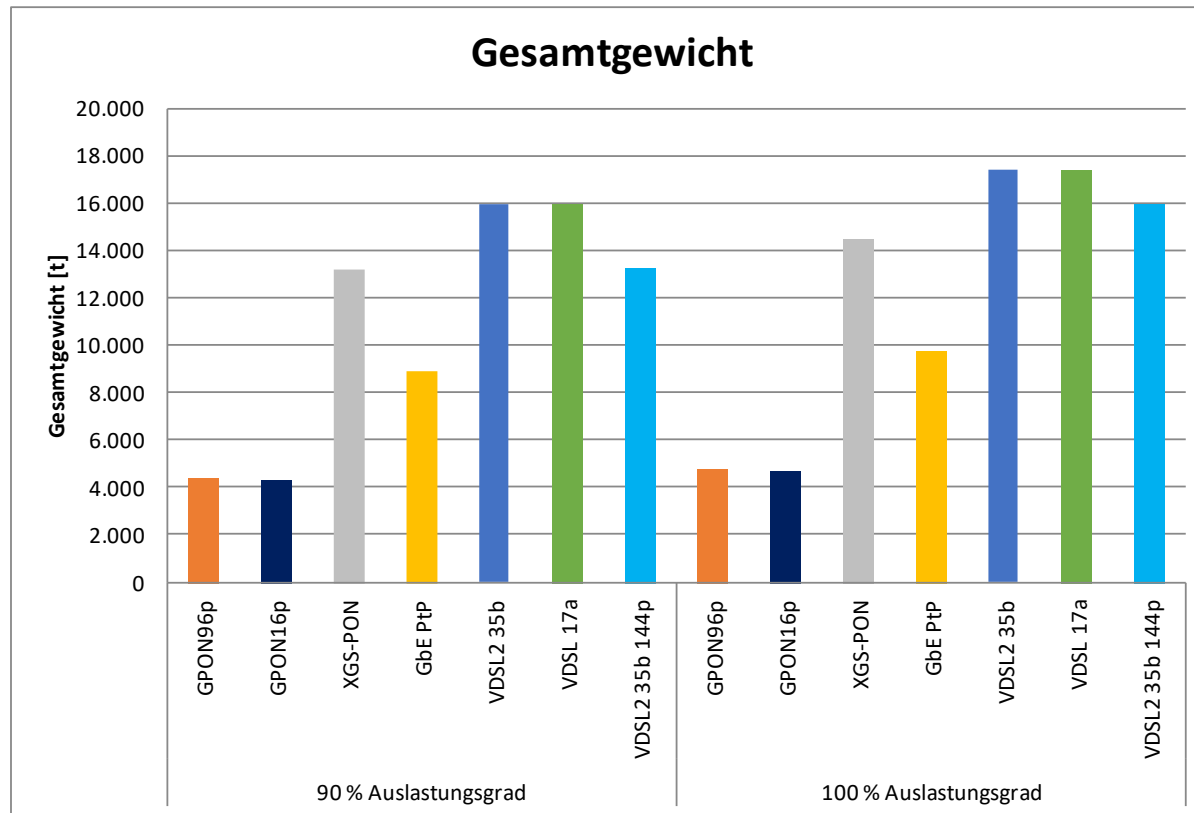


- Geringster Stromverbrauch: FTTH Punkt-zu-Punkt, XGS-PON, GPON
- bei einer Vollversorgung mit FTTH Punkt-zu-Punkt Systemen lassen sich bezogen auf 1 Gbit/s fast 1100 MW an Leistung und 48.000 t an Gewicht gegenüber FTTC einsparen.
Zum Vergleich: Typische Kohle-Kraftwerksblöcke erreichen Leistungen zwischen 100 MW und 1000 MW.

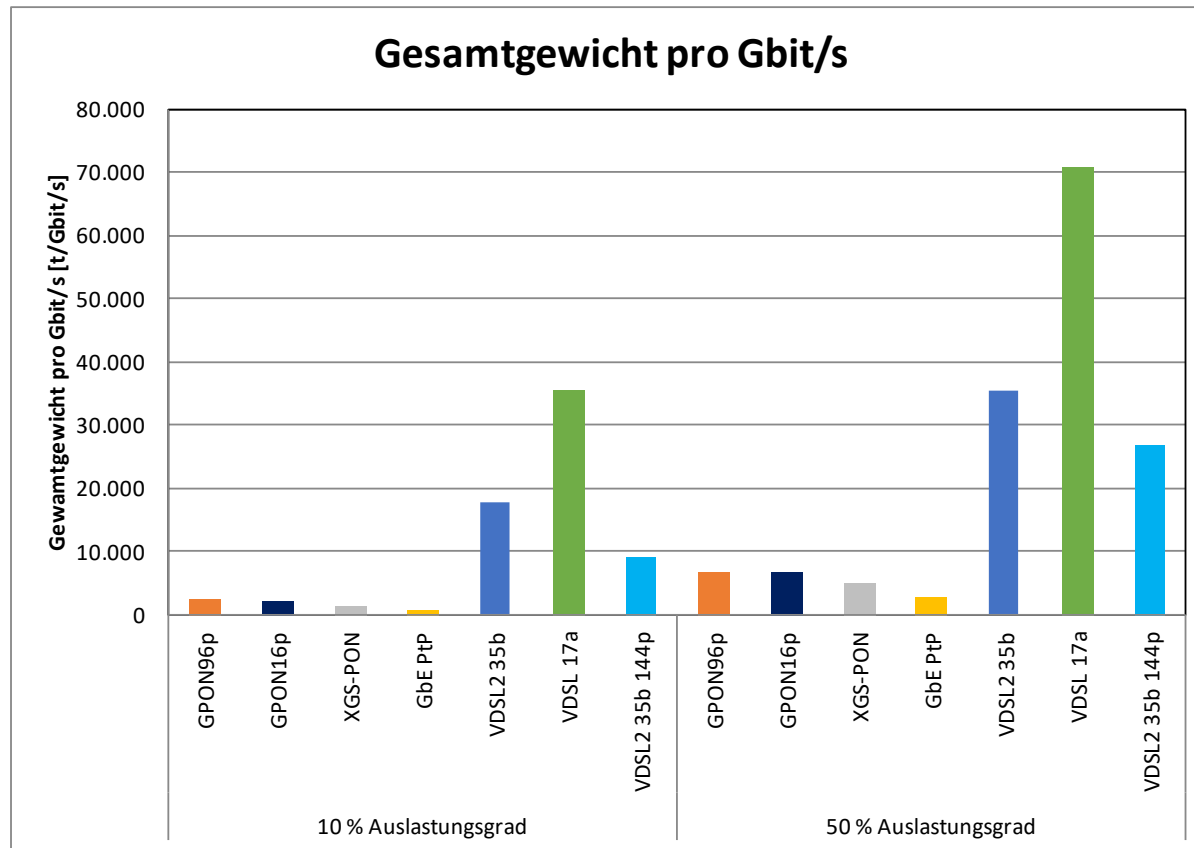
Deutschlandweite Planung



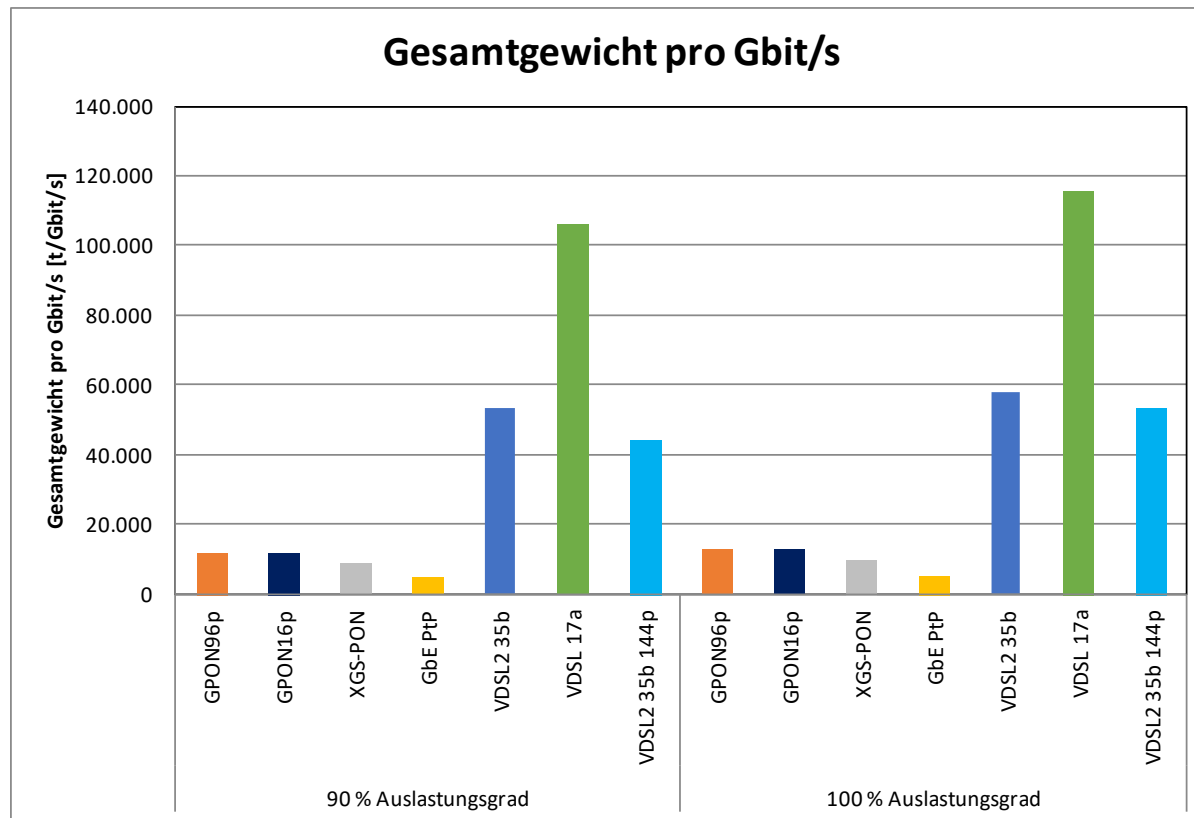
Deutschlandweite Planung



Deutschlandweite Planung



Deutschlandweite Planung



Weitere Untersuchungen

- Städtische Gebiete
 - 27,45 Mio. Teilnehmer (2 Einwohner pro Haushalt)
 - 4000 Teilnehmer pro FTTH POP (Klimatisierung)
 - 150.000 KVz
- Ländliche Gebiete
 - 5,9 Mio. Teilnehmer (d.h. 2,5 Einwohner pro Haushalt)
 - 2000 Teilnehmer pro FTTH POP (passive Kühlung)
 - 100.000 KVz
- Bsp. Für halbstädtisches Gebiet: Haltern am See
 - 17.384 Teilnehmer, 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 (passive Kühlung)
 - 83 FTTC Standorte
- In allen Szenarien ähnliche Ergebnisse!
Unterschiede zwischen FTTH und FTTC fallen in ländlichen Gebieten aufgrund der geringeren Auslastung der Kabelverzweiger sowie der passiven Kühlung der FTTH POP größer aus.

Fazit (1)

- *FTTH Technologien sind in jedem Szenario (deutschlandweit, städtische Gebiete und ländliche Gebiete) 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.
- absoluten Zahlen (Stromverbrauch, Gewicht) FTTH: GPON am günstigsten gefolgt von GbE Punkt-zu-Punkt und XGS-PON.
- Stromverbrauch/Gewicht FTTH bezogen Bitrate: GbE Punkt-zu-Punkt und XGS-PON günstigsten FTTH Technologien. Der Unterschied ist jedoch gering im Vergleich zu FTTC.
- deutschlandweite Abschätzung: mit GPON lassen sich 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.

Fazit (2)

- Ab einem bestimmten Auslastungsgrad (zwischen einigen 10 und 100 Teilnehmern pro Netzelement) ist der Stromverbrauch und das Gewicht der NTs beim Teilnehmer der dominante Anteil am Gesamtstromverbrauch bzw. Gewicht.
 - => Optimierungen der NT haben den größten Hebel in Bezug auf Stromverbrauch bzw. Gesamtgewicht von Zugangsnetzen
 - => Sleep Modi im CPE von großer Bedeutung
 - bei FTTC technisch möglich aber praktisch nicht
 - bei FTTH technisch möglich aber derzeit nicht implementiert
 - => Gemäß Ref. [Jayant Baliga et al.] könnten durch Sleep Modi der Stromverbrauch von Zugangsnetzen weiter um bis zu 40 % gesenkt werden