Ökologische Effekte des Glasfaserausbaus

Abschlusspräsentation

Autor:

G. Kulenkampff, T. Plückebaum, M. Ockenfels, G. Zuloaga

Wien

11. Dezember 2024

Agenda

1. **Hintergrund, Ziel und Abgrenzung der Studie**
2. **Methodische Vorgehensweise**
    1. Modul 1: Netzmodellierung
    2. Modul 2: Energieverbrauch
    3. Modul 3: CO2-Emissionen
3. **Datengrundlage, Modellannahmen und Parametrisierung**
4. **Ergebnisse**
    1. Befunde IST-Stand (2024)
    2. Befunde der Szenario-Analyse

Ziel der Untersuchung

Hintergrund und Fokus der Studie

Hintergrund

- Der European Green Deal und die EU-Taxonomie definieren klare ökologische Ziele. Die Rahmenbedingungen erfordern eine strenge ökologische Prüfung wirtschaftlicher Aktivitäten, einschließlich des Telekommunikationssektors.
- In diesem Kontext wurde die WIK-Consult von RTR beauftragt, die Umweltauswirkungen des Glasfaserausbaus (FTTH) in Österreich in unterschiedlichen Ausbau-, Migrations- und Geschwindigkeitsszenarien zu bewerten.
- Hierbei wird darauf abgezielt, die Effekte von Ausbau und Nutzung sowie von Migrationsprozessen von bestehenden Technologien auf FTTH zu berücksichtigen, um die Gesamtauswirkung beurteilen zu können.

Leitfragen

(1) Was ist der **CO2-Emissions-Ist-Stand** der österreichischen Telekommunikationsinfrastruktur?

(2) Welche Umweltauswirkungen entstehen durch den **erforderlichen Glasfaserausbau**?

(3) Wie kann ein **früherer oder späterer** ganzflächiger Glasfaserausbau und eine teilweise oder vollständige Migration auf die neue Infrastruktur zur Erreichung der Klimaziele beitragen?

Ziel der Untersuchung

Abgrenzung der Studie

Zukunftsorientierte Betrachtung: Glasfaserausbau und netzbetrieblicher Aufwand ab Startzeitpunkt 2024

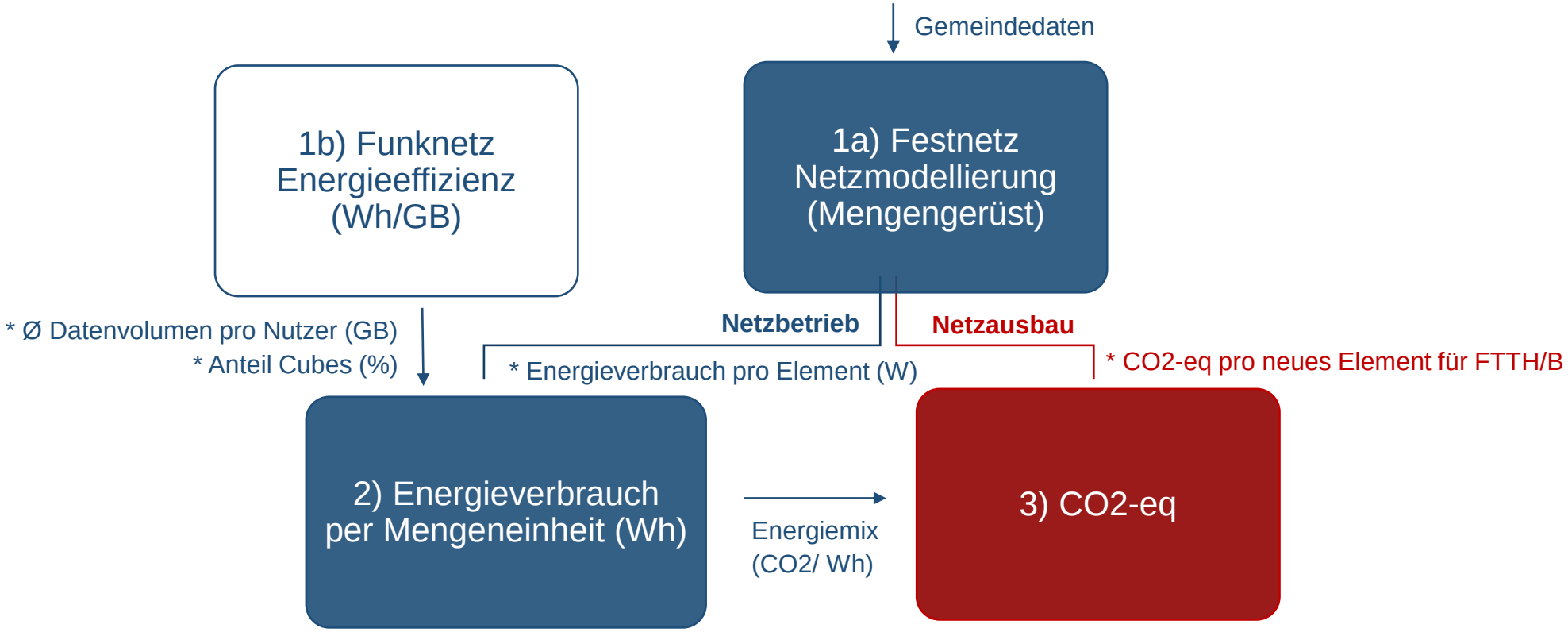
	Gegenstand der Studie	Nicht Gegenstand der Studie
Zielgrößen	✓ Energieverbrauch (in Kwh) ✓ Treibhausemissionen (in CO2)[1]	✗ sonstige Umweltindikatoren
Phase der Lebenszyklus-analyse (LCA)	✓ Netznutzung ✓ Netzausbau (FTTH/B)	✗ End-of-Cycle
Übertragungstechnologien und Netzarchitekturen	✓ Glasfasertechnologien (FTTH/B) ✓ Kupfertechnologien (FTTEx, FTTC) ✓ DOCSIS ✓ stationärer Mobilfunk (Cubes)	✗ Satellitennetze ✗ FWA
Netzsegmente	✓ Anschlussnetz (inkl. Modem) ✓ Funkzugangsnetz (RAN)	✗ Kernnetz & Datenzentren ✗ Kundenendgeräte
Zeithorizont	✓ IST-Stand 2024 ✓ 95% Ausbau bis 2030/ 2035/ 2040 ✓ 10-jährige Migration	

[1] *Weitere Umweltindikatoren werden strukturell im Modell vorgesehen*

Methodische Vorgehensweise

Modelldesign – Überblick

- Vereinfachte Darstellung der Module des Nachhaltigkeitsmodells für Festnetz und Mobilfunk

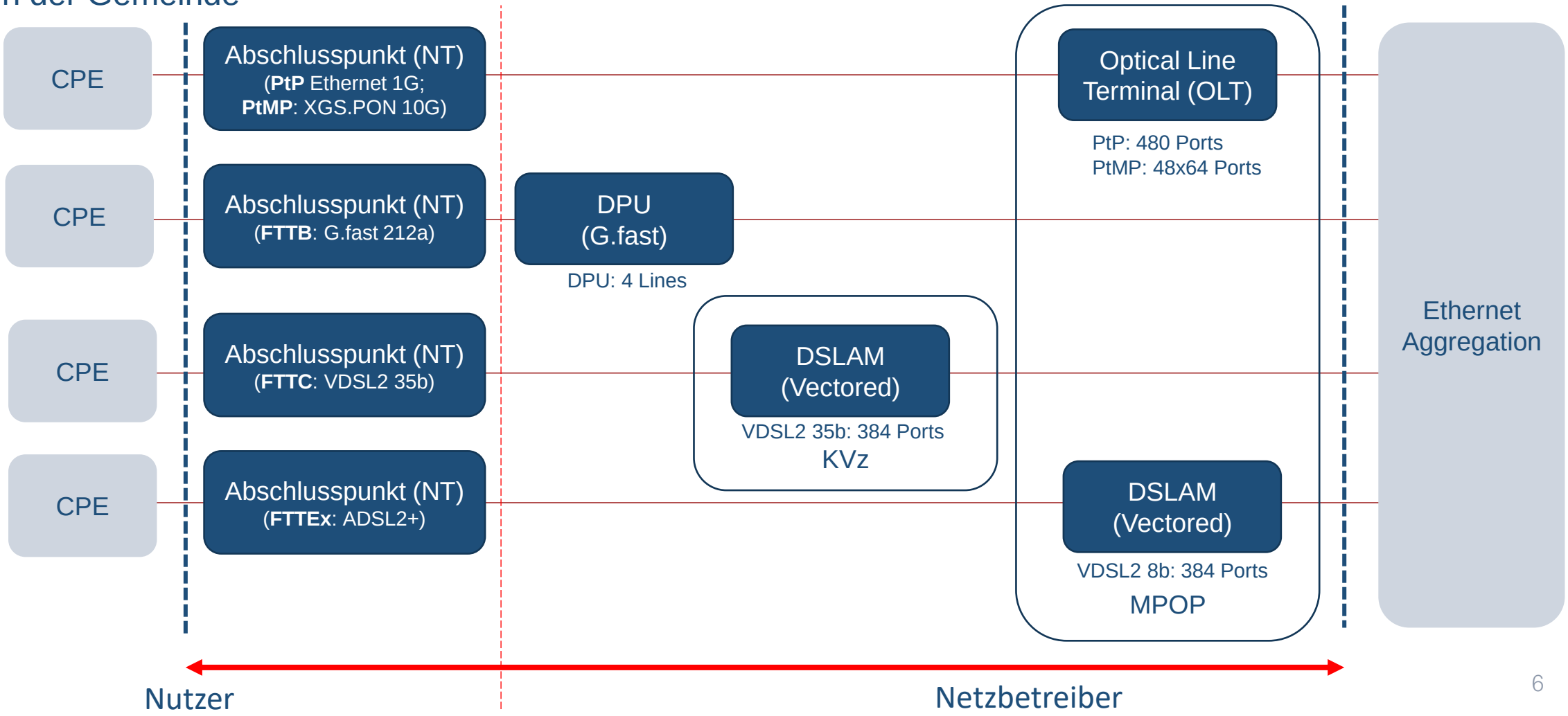


- Im Zeitverlauf, differenziert nach Technologie

Methodische Vorgehensweise

Modelldesign – 1) Netzmodellierung nach FTTX-Anschlusstechnologie

Bestimmung des Mengengerüsts: Anzahl der erforderlichen Geräte für die Anzahl der aktiven Anschlüsse in der Gemeinde



Methodische Vorgehensweise

Modelldesign – 1) Netzmodellierung im Zeitverlauf

Stand des Netzausbaus FTTH/B
(% in 2024 bis 95%)

Prognose (bis 2050) *Gemeinde sukzessiv (nach Priorisierungsfolge: bspw. nach Bevölkerungsdichte) und szenario-spezifische Ausbaugeschwindigkeit (Trassenkilometer/ Jahr)*

Netzausbau *auf Basis von verfügbaren FTTH/B Anschlüssen*

Passive Netzelemente FTTH/B
(Mengengerüst #)

Prognose (bis 2050) *Ableitung der Trassenlängen auf Basis des gemeindegenauen Straßenlayers (anteilig zum aktuellen Stand des Glasfasernetzausbaus)*

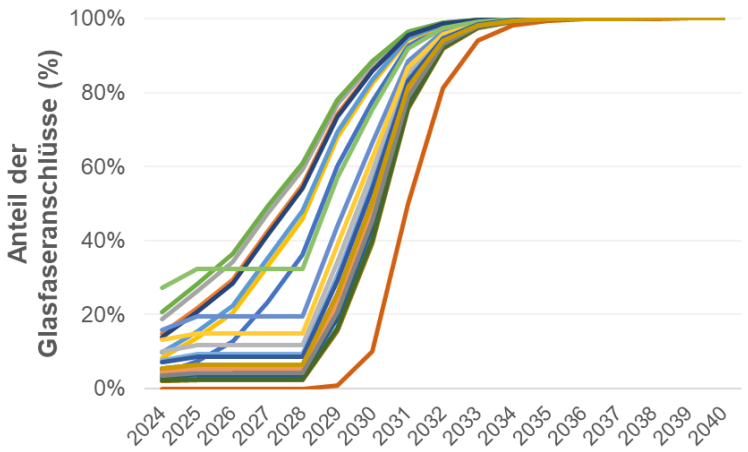
Stand der Migration Alle Technologien
(% in 2024 bis 95%)

Migration *auf Basis von aktiven Anschlüssen*

Aktive Netzelemente Alle Technologien
(Mengengerüst #)

Prognose (bis 2050) *aktive Komponenten steigen bzw. schrumpfen mit der Entwicklung der abgeleiteten aktiven Anschlüsse im Zeitverlauf*

Beispieldarstellung: Migrationsstand (in %) für ausgewählte Gemeinden



Prognose (bis 2050) *Migration findet statt, sofern Glasfasernetz in der Gemeinde verfügbar; Migrationsgeschwindigkeit ist szenario-basiert; Verteilung der migrierenden Anschlüsse stehen in Proportion zu den vorhandenen Anschlusstechnologien*

Methodische Vorgehensweise

Modelldesign – 2) Energieverbrauch für den Netzbetrieb

- Ermittlung des Energieverbrauchs **pro Gemeinde, Technologie und Jahr**
- **Zusammenhänge Festnetz**:

Modul Netzdimensionierung

Aktives Netzelement **x** Menge

Modul Energieverbrauch

- Grundlast pro Netzelement (W)
- Energieverbrauch (max. W/ Port)
- Nutzungsintensität (% von max.)

Low power mode Dauer

elementübergreifende Parameter

1 – Stromumwandlungsverlust AD/DC (%)

Zeitraum
(24 Stunden x 365 Tage)

- **Zusammenhänge Mobilfunk:**
  - Datenvolumenverbrauch pro Nutzer im Jahr t (GB)
  - Energieeffizienz (Wh/ GB) im Jahr t
  - Anzahl der aktiven (Cube/ Hybrid) Nutzer im Jahr t

Methodische Vorgehensweise

Modelldesign – 3) CO2 Emissionen

- Für den **Netzbetrieb** (alle Technologien)
  - Energieverbrauch * [CO2-eq/ kWh]

- Für den **Netzausbau** (FTTH/B)
  - Netzelemente (Mengengerüst) * [CO2-eq/ kg] * [kg / Einheit]
  - Trassenlänge (km) * [CO2-eq/ km]

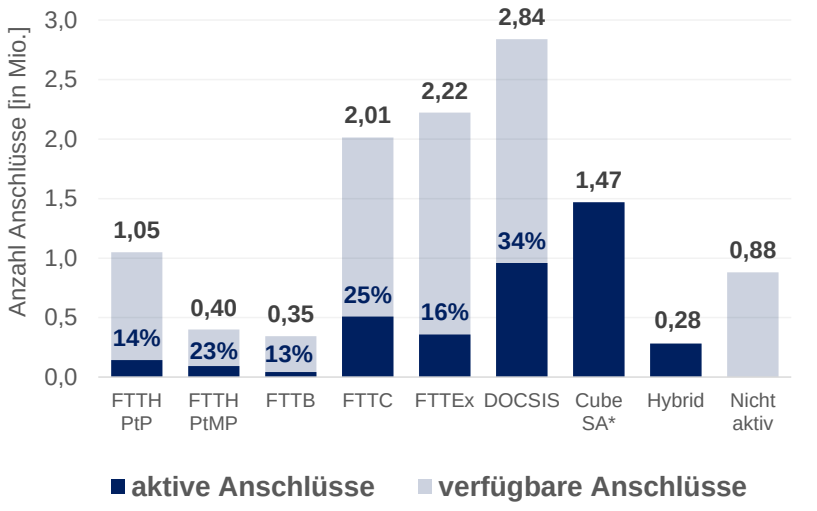
Datengrundlage, Modellannahmen und Parametrisierung

Datengrundlage – i) Netzmodellierung

Haushalts- und Netzdaten (für Netzdimensionierung)

- Anzahl der Haushalte und Gebäude nach Gebäudekategorien (RTR, Jun-Sep 2024)
- Anschluss- und Verteilerzahlen pro Gemeinde (RTR, Jun-Sep 2024)

Anzahl der Anschlüsse – aufbereitet
(Gesamt: 3,86 Mio. aktive Anschlüsse)

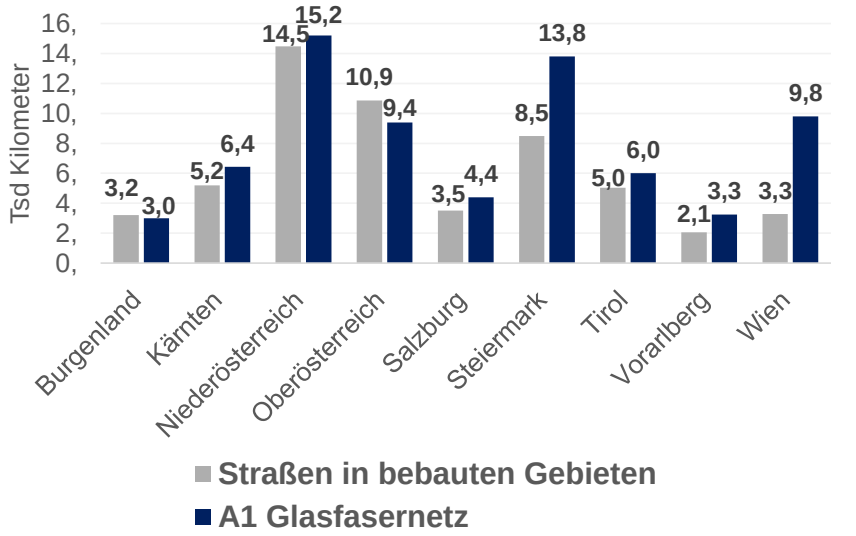


** Anmerkung 1: Cube (stand-alone 90%)*

Straßendaten (Proxy für Trassenlängen)

- Verschneidung der Straßentypen mit den Gemeinden bzw. den bebauten Gebieten (RTR, Aug 2024)
- Länge der Straßen in bebauten Gebieten: 56.097 km
- Vergleich: A1 Glasfasernetz, gesamt: 70.000 km, Stand 2024

Straßenkilometer in bebauten Gebieten und Vergleich mit A1 Glasfasernetz nach Bundesland



Quellen: RTR, 2024 (Excel-Datei: strassenlaengen_m_gem_bup_frc.xls)
Leadersnet (2023). So viele Glasfaserkilometer gibt es in Ihrem Bundesland

Datengrundlage, Modellannahmen und Parametrisierung

Datengrundlage – ii) Energieverbrauch

- **Festnetz** – Technische Energiedaten pro Netzelement
  - Grundlast (Hersteller-Sheets, z.B. Cisco)
  - Watt/ Port (EU, 2024. Code of Conduct on Energy Consumption V.9 - selbst-verpflichtender maximaler Verbrauch für Hersteller und Netzbetreiber)
  - Nutzungsintensität (Desk-Research & Experteneinschätzungen)

- **Mobilfunk** – Energieeffizienz (Wh/ GB)
  - Energieverbrauch österreichischer Funknetze (FMK, 2023)
  - Datenvolumen Mobilfunk in Österreich (RTR, 2023)

Table 21: Optical Line Terminations for PtP ports

Power targets for Optical Line Terminations for PtP ports	Tier 2024 (W)	Tier 2025 (W)
PtP 1000Mbps		
OLT (PtP up to 1000 Mbit/s, up to 100 ports, fully equipped with maximum configuration)	2,5	2,2
OLT (PtP up to 1000 Mbit/s, from 100 and 300 ports, fully equipped with maximum configuration)	2,4	2,0
OLT (PtP up to 1000 Mbit/s, with more than 300 ports, fully equipped with maximum configuration)	1,7	1,6

Lejeune, A., Bertoldi, P. (2024). Code of Conduct on Energy Consumption of Broadband Equipment. Version 9.0. European Commission. https://e3p.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/documents/publications/jrc136991_kjna31875enn.pdf

Datengrundlage, Modellannahmen und Parametrisierung

Datengrundlage – iii) CO2-Berechnung

Datenquellen zur Transformation des Ressourcenverbrauchs in **CO2-Äquivalenten**

- **Energieverbrauch**
  - Anwendung des Emissionsfaktors des Umweltbundesamt (2023) für die Stromaufbringung in Österreich (226 g CO-eq/ kWh) als Umwandlungsfaktor (*Umweltbundesamt (2023). Österreichische Treibhausgas-Emissionsfaktoren*)

- **Herstellung und Installation von Netzelementen**
  - Für Trassenlängen: **5.358** kg CO2-eq/ km aus WIK-Studie mit ICF und EcoAct für die Europäische Kommission (Godlovitch et al. 2021. Support Study accompanying the Review of the Broadband Cost Reduction Directive: Impact Assessment).
  - Für Faserverteiler: **166** kg CO2-eq abgeleitet aus FiberBroadband (2024). Fiber Broadband Deployment is Paramount To Achieving Zero Carbon Footprint
  - Für aktive Equipment: OLT **574 – 2.984** kg CO2-eq, DPU **2.181** kg CO2-eq und Modems **20 – 40** kg CO2-eq aus dem Klima-Beitragsmodell von Galaxus (2020)

Datengrundlage, Modellannahmen und Parametrisierung

Zentrale Modellannahmen

Module	Anwendungsbereich	Annahme für das Basisszenario
Glasfaserausbau und Migration	Glasfaserausbaustrategie	• Fortsetzung der bisherigen Verteilung (FTTH PtP, PtMP und FTTB) • Gemeinde mit höheren Einwohnerdichten werden zuerst ausgebaut
	Migrationsumfang	• 100% FTTC, FTTEx und Hybride (VDSL2+ 35b/ 4G), 50% DOCSIS, 50% Cubes (4G)
	Ausbau- und Migrationsgeschwindigkeit	• 95% Ausbau bis 2035 und 95% Migration bis 2045
Markt-entwicklungen	Datenvolumen in Mobilnetz	• 2024: 379 GB/ Nutzer. Ab 2025: +18,6% jährlich (Wachstumsrate 2023) RTR (2023)
	Sonstige Entwicklungen	• Ceteris paribus (Bevölkerungswachstum 0%; Effizienzsteigerung Festnetz 0%; CO2 Umwandlungsfaktor: konstant)
Netz-dimensionierung	Generisches Netz	• Einheitliches aggregierendes Equipment[1] und Network Termination[2] • Kein Überbau von Trassen- oder aktiven Netzkomponenten • Mindestens 1 POP pro Gemeinde. Kein weiterer POP im Zeitverlauf
Energieverbrauch	Energieeffizienz von Antennenstandorten	• Start: 0,013 W/GB Wagner (2022), Volker (2022) und RTR (2023) • Energieverbrauch steigt um 25% bei 200% Anstieg des Datenvolumens A1 (2022)
	Anteil Grundlast	• 10% für PtP und FTTEx; 13% für PtMP und FTTC; 100% für FTTB und DOCSIS
	Network Termination (Modem)	• 15% (3,6 Std) aktiv Lannoo et al (2015), 25% (6 Std) in Sleep-mode Stobbe et al. (2023) und restliche Zeit in Ready-state (60%).[3] Keine Änderungen im Zeitverlauf unterstellt
	Aggregierendes Equipment	• Nur aggregierendes Equipment in PtP-Architekturen kann Low-power Mode nutzen Kun et al. (2015) und EC (2024). Keine Änderungen im Zeitverlauf unterstellt
	POP PUE („*Power usage effectiveness*“)	• Aufschlagsfaktor 1,3 Moayeri (2024)

[1] *OLT PtP 480 Ports; Obermann (2022) OLT PtMP 48 Ports x 32; Obermann (2022) DPU 4 Ports (RTR-Daten: 4,6 ⌀Wohnung/ Wohngebäude); DSLAM 384 Ports (TAL, 2022); Fibre-Node Größe 250 Breide et al. (2021)*

[2] *PtP Ethernet 1G, PtMP XGS.PON 10G; FTTC VDSL2 35b; FTTEx ADSL2+; DOCSIS 3.1; Cube 4G interface; Hybride VDSL2+ 35b + 4G Interface*

[3] *Ausnahme PtP: Österreicher sind 77% der Zeit offline (18,5 Std) Statista (2023)*

Ergebnisse

Szenarioanalyse (bis 2050)

- Identifikation von relevanten Szenarien

	Mäßig steigende Nutzung (+18% Datenvolumen p.a.)	Stark steigende Nutzung (+30% Datenvolumen p.a.)
Langsam Ausbau bis 2040; Migration bis 2050	Szenario 2	
Benchmark Ausbau bis 2035; Migration bis 2045	Basis-Szenario (1)	Szenario 4
Schneller Ausbau bis 2030; Migration bis 2040	Szenario 3	

Weitere Szenarien:

- **Szenario 5**: Höhere Energieeffizienz ggü. Basisszenario
  - 20% weniger Energieverbrauch pro Equipment für Glasfasernetze
  - Effizienzsteigerung um + 1,9% OLT/ DPU bzw. + 0,5% Network Termination pro Jahr
- **Szenario 6**: Vollständige Migration DOCSIS und Cubes
  - Alle Technologien, inklusive DOCSIS und Cubes, migrieren zu FTTH (PtP oder PtMP)
  - FTTB wird nicht ausgebaut

Ergebnisse

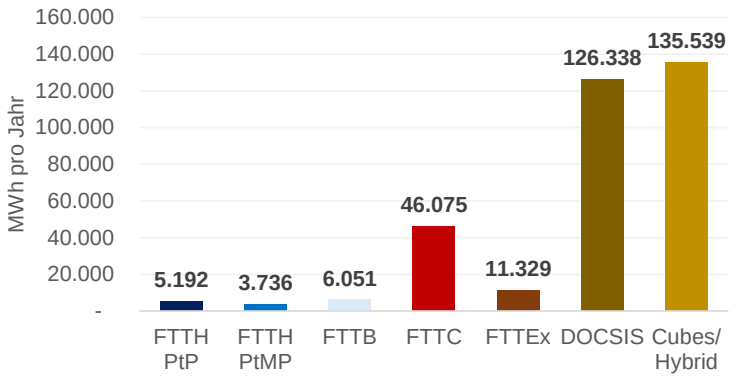
Befund 1) Suboptimal energetischer IST-Stand (2024)

- **FTTH** zeichnet sich durch die **höchste Energieeffizienz** (nur 26 bis 36 Wh/ Mbps im Jahr) aus
- Nach unseren Berechnungen verbrauchen dennoch **Cubes, Hybride und DOCSIS** weiterhin **den Großteil** der gesamten Energie im österreichischen Anschlussnetz (zusammen ca. 80%)

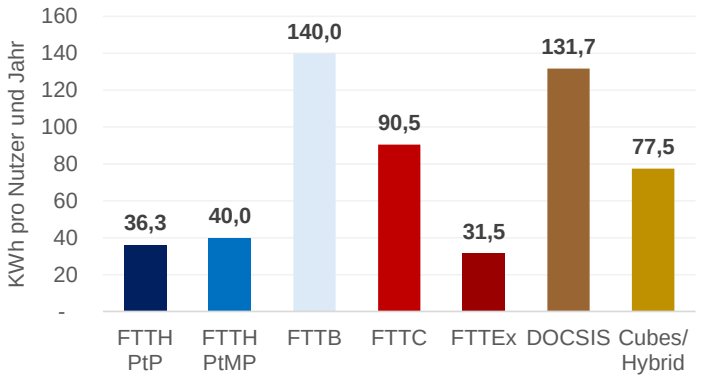
Energieverbrauch in österreichischen Anschlussnetzen nach Technologie im Jahr 2024

(Gesamt: **334.260 MWh** im Jahr 2024)

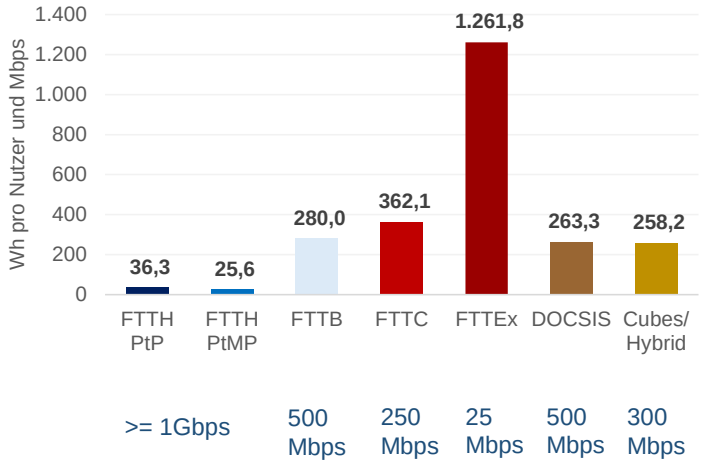
Gesamt Österreich (MWh)



Durchschnitt (KWh pro Nutzer)



Energieeffizienz (W/Mbps pro Nutzer)



Ergebnisse

Befund 2) Zunahme des Energieverbrauchs bis 2050

- Unter Annahmen im Basisszenario ist zu erwarten, dass der **jährliche Energieverbrauch** im österreichischen Anschlussnetze **bis 2050 insgesamt** um **+18%** steigt.

Temporäre Doppelversorgung

- Der modellierte Gesamtenergieverbrauch steigt zunächst leicht (+4,4%) von 334 Tsd. MWh im Jahr 2024 auf 349 Tsd. MWh im Jahr 2034.

Kick-in des Migrationseffekts

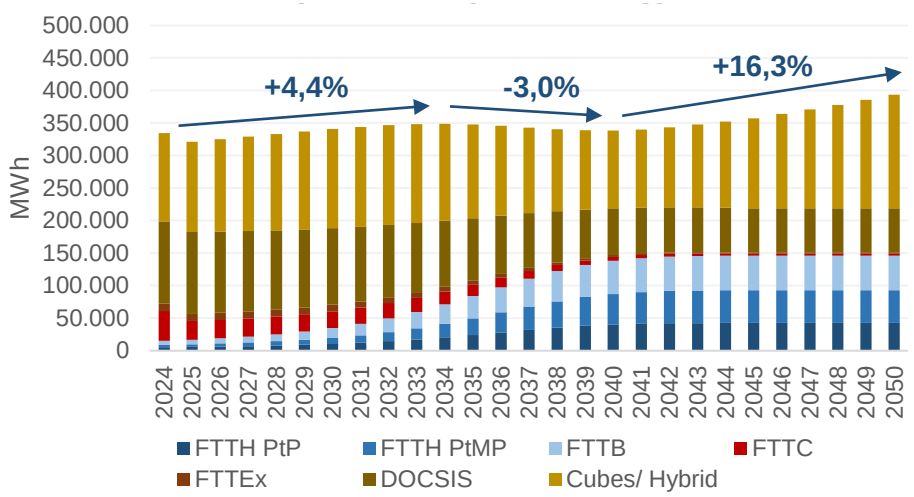
- Dann sinkt er leicht (-3%) bis 339 Tsd. MWh im Jahr 2040 und erreicht somit seinen Tiefpunkt.
- Im Jahr 2042 ist der Migrationseffekt fast vollständig ausgeschöpft (Stand: 93,8%) und der Teil von DOCSIS, die nicht migriert ist (50%) behält weiterhin einen relevanten Teil des gesamten Energieverbrauch.

Cubes und steigende Datenvolumen

- Das Datenvolumen in Mobilfunknetzen steigt weiterhin an. Der Energieverbrauch nimmt aufgrund des hohen Anteils an Cubes/ Hybride (50%), die nicht migriert sind, wieder zu (auf 394 Tsd. MWh in 2050) wg. weiter steigendem Datenvolumen.

Modellergebnisse (bis 2050) des Energieverbrauchs in österreichischen Anschlussnetzen nach Technologie
(Gesamt pro Jahr in MWh)

Szenario 1: Basisszenario



Ergebnisse

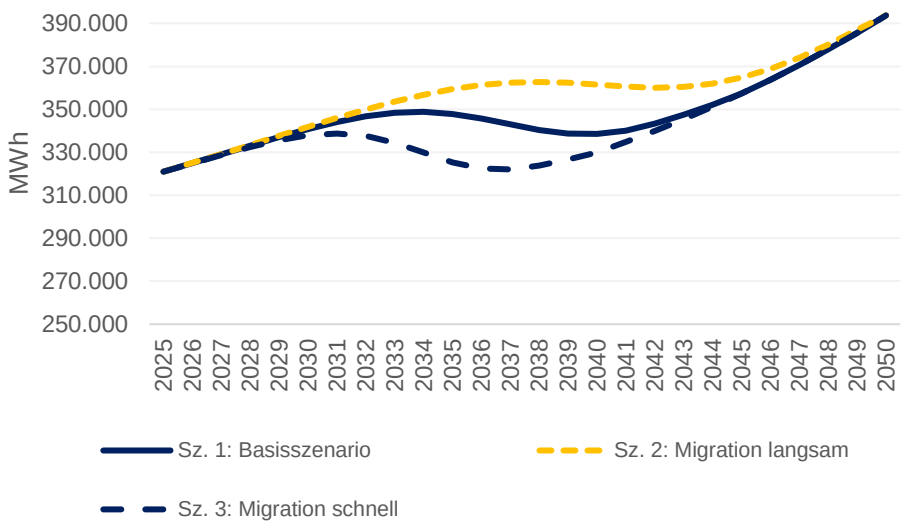
Befund 3) Tempo des Ausbaus und der Migration

- Durch einen **schnelleren Ausbau und eine schnelle Migration** entstehen **energetische Effizienzen** in der Nutzung von Netzkomponenten im Zeitverlauf.
- **Diese Effizienzen** erzeugen Ersparnisse im **Energieverbrauch pro Jahr** gegenüber dem Basisszenario. Sie sind allerdings **zeitbeschränkt.**

- Szenario 2 („**Migration langsam**“) verbraucht pro Jahr mehr Energie, vor allem zwischen den Jahren 2035 und 2045. Im Jahr 2050 ist dieser Effekt verschwunden
- Szenario 3 („**Migration schnell**“) verbraucht pro Jahr weniger Energie, vor allem zwischen den Jahren 2030 und 2040. Im Jahr 2050 ist dieser Effekt verschwunden

Modellergebnisse (bis 2050) des Energieverbrauchs in österreichischen Anschlussnetzen
(Gesamt pro Jahr in MWh)

Szenarienvergleich



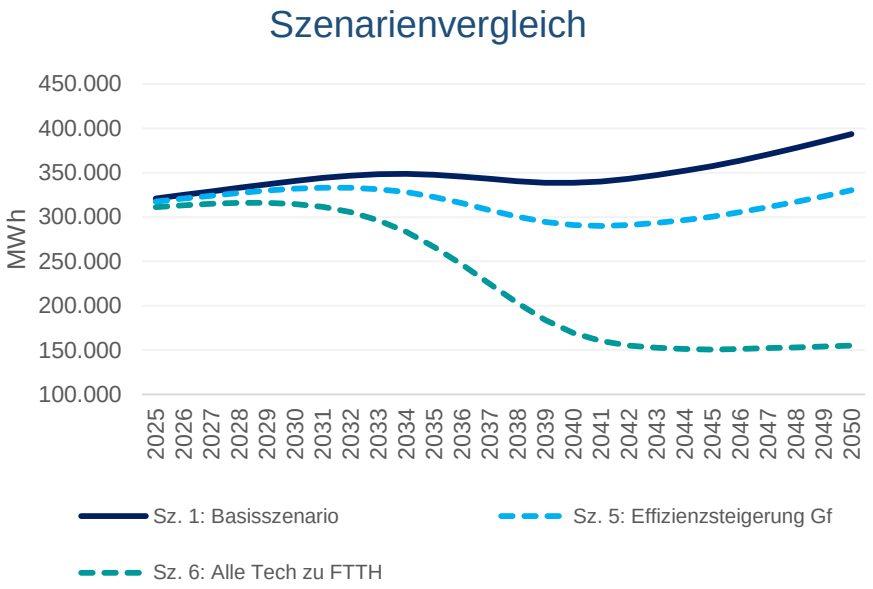
Ergebnisse

Befund 4) Dauerhafte Reduktion des energetischen Kurses

- Wenn **effizientere Glasfasernetzkomponenten** eingesetzt werden und vor allem ein **vollständiger Übergang zu FTTH** erfolgt, können **höhere Energieersparnisse** erzielt werden.
- Der Verzicht auf eine FTTB-basierte Glasfaserausbaustrategie sowie die Rückhaltung von DOCSIS- und Cube-Angebote als **dauerhafte** Lösung können **langfristig** den energetischen Bedarf mehr als halbieren

- Szenario 5 („**Effizienzsteigerung Gf**“). Hier wird eine moderate Effizienzsteigerung im Bereich Glasfasertechnologie angenommen. Die Ersparnisse im Energieverbrauch hängen somit vom Stand der Migration ab. Ist der **Migrationseffekt ausgeschöpft**, dann ist das Maximum der Ersparnisse erreicht und die Kurve **verläuft parallel unterhalb des Basisszenarios** weiter.
- Szenario 6 („**Alle Tech zu FTTH**“). Im Gegensatz zum Basisszenario migrieren nicht lediglich 50% sondern alle DOCSIS- und Cubes-Anschlüsse zu FTTH. Bis 2050 führt dies zu einem signifikanten Rückgang des Energieverbrauchs. Zum einem weil auf das energetisch ineffiziente **FTTB verzichtet** wird. Zum anderen weil der Energieverbrauch – aufgrund der **vollständigen Migration aller Cube-Anschlüsse** – von dem **steigenden Datenvolumen im Mobilfunkbereich entkoppelt** ist.

Modellergebnisse (bis 2050) des Energieverbrauchs in österreichischen Anschlussnetzen
(Gesamt pro Jahr in MWh)



Ergebnisse

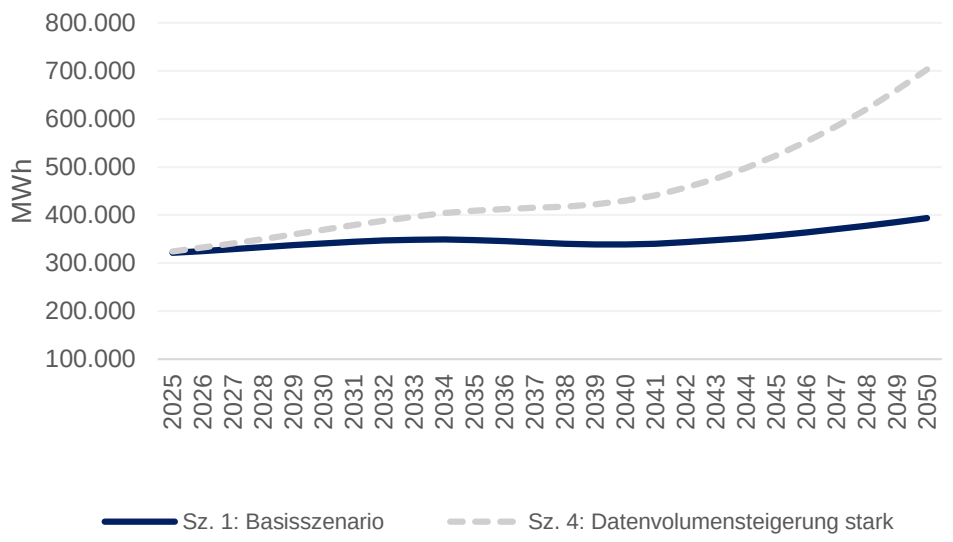
Befund 5) Risiko von stark steigendem energetischem Bedarf aufgrund von Cubes

- Sollte der zukünftige **Bedarf an mobilen Datenvolumen** über die Zeit **schneller steigen** als energetisch über den technologischen Fortschritt kompensiert werden kann, und sollten die mobilfunkbasierten Anschlüsse (Cubes) weiterhin eine relevante Rolle in Österreich spielen, kann sich der gesamte Energieverbrauch im Anschlussnetz bis 2050 verdoppeln.

- Szenario 4 („**Datenvolumensteigerung stark**“). Hier wird davon ausgegangen, dass das Datenvolumen bis 2050 jährlich um 30% (anstatt 18%) zunehmen wird. Unter diesen Umständen kann das ursprüngliche Ziel „nur 25% Energiesteigerung bei 200% Datenvolumensteigerung“ nicht mehr eingehalten werden. D.h. es wird ein mäßiger Rückgang der Energieeffizienz im Funknetz unterstellt: **ca. 35% (anstatt 25%) Energiesteigerung bei 200% Datenvolumensteigerung**.
  Bei einer maximalen Migrationsquote von 50% der Cubes-Anschlüsse steigt der energetische Bedarf erheblich, vor allem nach den Jahren, wenn die entgegenwirkenden positiven Effekte der Migration auf dem Energieverbrauch ausgeschöpft sind.

Modellergebnisse (bis 2050) des Energieverbrauchs in österreichischen Anschlussnetzen
(Gesamt pro Jahr in MWh)

Szenarienvergleich



Ergebnisse

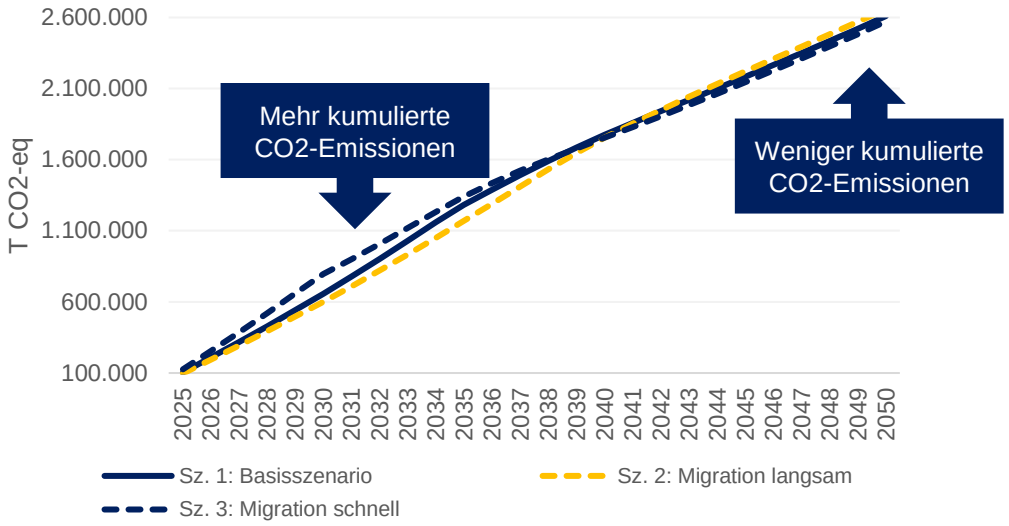
Befund 6) Netto-CO2-Bilanz positiv für den schnelleren Ausbau

- Die zeitbeschränkten Energieersparnisse, die sich aus dem **schnelleren** Glasfaserausbau ergeben, können die CO2-Emissionen während der Ausbauphase **(über)kompensieren.**
- Die kumulierten CO2-Emissionen bis 2050 liegen beim schnelleren Ausbau (95% bis 2030) leicht unterhalb der CO2-Emissionen im Basisszenario (95% bis 2035). Das entspricht einer **Ersparnis von 1,5%** der gesamten Emissionen zwischen 2025 und 2050

- Der Ausbau von FTTH/B ist mit signifikanten CO2-Emissionen verbunden. Ein **schneller Ausbau (95% bis 2030)** führt **kurzfristig** zu einer **erhöhten Umweltbelastung**.
- Diese wird über die Zeit durch **energetische Ersparnisse** aus einer frühzeitigeren Migration zu **FTTH/B (über)kompensiert** (unter der Voraussetzung, dass die unterstellte Migration wirklich stattfindet).
- Die Bedeutung des zeitlich früheren oder späteren Ausstoßes von CO2 auf die Umwelt unter Berücksichtigung möglicher irreversiblen „Memory"-Effekte wurde nicht untersucht.

Modellergebnisse (2025-2050) der kumulierten CO-Emissionen in österreichischen Anschlussnetzen

Szenarienvergleich (kumuliert in T CO2-eq)

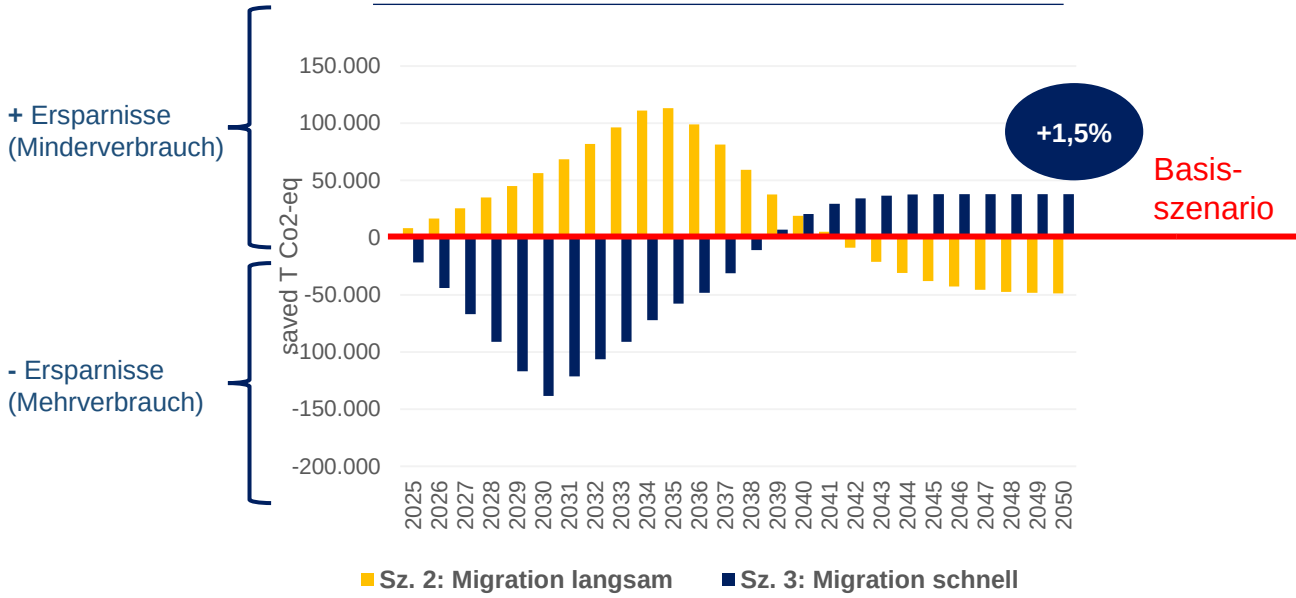


Ergebnisse

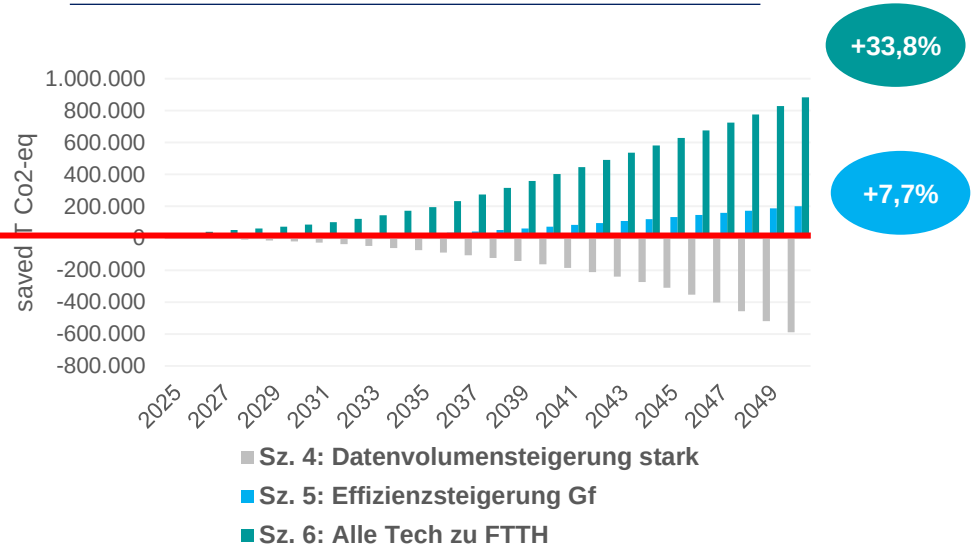
Befund 7) Andere steuerbare Maßnahmen erzielen höhere CO2-Ersparnisse

- Ein schneller Ausbau (bis 2030) führt zu weniger CO2-Emissionen: im Bereich von 1,5% (gegenüber dem Basisszenario) und bis 3,3% (gegenüber dem langsamen Szenario).
- Andere Maßnahmen zur dauerhaften Reduktion des energetischen Kurses führen zu höheren Ersparnissen: Mit dem Einsatz von **effizienteren Glasfasernetzkomponenten** können **7,7%** der gesamten Emissionen bis 2050 gespart werden. Mit einer **vollständigen Migration zu FTTH** sind **33,8% Ersparnisse gegenüber dem Basisszenario** möglich.

CO2-Ersparnisse (kumuliert) Sz. 2/3
im Vergleich zum Basisszenario



CO2-Ersparnisse (kumuliert) Sz. 4/5/6
im Vergleich zum Basisszenario



** Anmerkung: CO2-Ersparnisse = CO2-eq in Basisszenario – CO2-eq in Szenario (2/3/4/5/6)*

WIK-Consult GmbH
Postfach 2000
53588 Bad Honnef
Deutschland
Tel.:+49 2224-9225-0
Fax: +49 2224-9225-68
E-Mail: info@wik-consult.com
www.wik-consult.com