

Backhauling im Kontext eines wettbewerblichen FTTH-Ausbaus

Bedeutung des Footprints für die Backhaul-Kosten – eine modellgestützte Analyse

Autoren:

Martin Ockenfels, Dr. Gabriele Kulenkampff
Fabian Eltges, Wolfgang Kieseewetter, Desislava Sabeva, Konrad Zoz

Bad Honnef, Dezember 2025

Impressum

WIK Wissenschaftliches Institut für
Infrastruktur und Kommunikationsdienste GmbH
Rhöndorfer Str. 68
53604 Bad Honnef
Deutschland
Tel.: +49 2224 9225-0
Fax: +49 2224 9225-63
E-Mail: info@wik.org
www.wik.org

Vertretungs- und zeichnungsberechtigte Personen

Geschäftsführung	Dr. Cara Schwarz-Schilling (Vorsitzende der Geschäftsführung, Direktorin) Alex Kalevi Dieke (Kaufmännischer Geschäftsführer)
Prokuristen	Prof. Dr. Bernd Sörries Dr. Christian Wernick Dr. Lukas Wiewiorra
Vorsitzender des Aufsichtsrates	Dr. Thomas Solbach
Handelsregister	Amtsgericht Siegburg, HRB 7225
Steuer-Nr.	222/5751/0722
Umsatzsteueridentifikations-Nr.	DE 123 383 795

Stand: Januar 2025

ISSN 1865-8997

Bildnachweis Titel: © Robert Kneschke - stock.adobe.com

Weitere Diskussionsbeiträge finden Sie hier:

<https://www.wik.org/veroeffentlichungen/diskussionsbeitraege>

In den vom WIK herausgegebenen Diskussionsbeiträgen erscheinen in loser Folge Aufsätze und Vorträge von Mitarbeitern des Instituts sowie ausgewählte Zwischen- und Abschlussberichte von durchgeführten Forschungsprojekten. Mit der Herausgabe dieser Reihe bezweckt das WIK, über seine Tätigkeit zu informieren, Diskussionsanstöße zu geben, aber auch Anregungen von außen zu empfangen. Kritik und Kommentare sind deshalb jederzeit willkommen. Die in den verschiedenen Beiträgen zum Ausdruck kommenden Ansichten geben ausschließlich die Meinung der jeweiligen Autoren wieder. WIK behält sich alle Rechte vor. Ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung des WIK ist es auch nicht gestattet, das Werk oder Teile daraus in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren) zu vervielfältigen oder unter Verwendung elektronischer Systeme zu verarbeiten oder zu verbreiten.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	IV
Zusammenfassung	V
Summary	VI
1 Einführung	1
2 Wettbewerblicher Ausbau von Anschlussnetzen und Backhauling	2
2.1 Definition: Was ist „Backhauling“?	2
2.2 Technische Aspekte des Backhauling	4
2.3 Besonderheiten des Backhauling im wettbewerblichen FTTH-Ausbau	5
3 Modellierungsansatz	7
3.1 Modellgestützte Analyse zur Bestimmung relativer Kostenunterschiede und Datenbasis	7
3.2 Definition von Netzbetreibertypen	10
3.2.1 Generische Abbildung von Netzbetreibertypen	10
3.2.1.1 Nationaler Monopolist [Referenzszenario 1]	11
3.2.1.2 Regionaler Netzbetreiber Urban [Szenario 2]	11
3.2.1.3 Regionaler Netzbetreiber Rural [Szenario 3]	12
3.2.1.4 Lokaler Netzbetreiber groß [Szenario 4]	12
3.2.1.5 Lokaler Netzbetreiber klein (Basis und Erweitert) [Szenarien 5a & 5b]	13
3.2.2 Adaptierte Footprints des deutschen Marktes	13
3.2.2.1 Multiregionaler Netzbetreiber [Szenario 6]	14
3.2.2.2 Regionaler Netzbetreiber Groß [Szenario 7]	14
3.2.2.3 Regionaler Netzbetreiber Mittel [Szenario 8]	15
3.2.2.4 Regionaler Netzbetreiber Klein [Szenario 9]	15
3.2.2.5 Regionaler Netzbetreiber Klein (mit und ohne Cherrypicking) [Szenarien 10a & 10b]	16
3.2.2.6 Lokaler Netzbetreiber Klein [Szenario 11]	16

4 Szenarien und Modellergebnisse	17
4.1 Vergleich der Netzbetreibertypen – Backhaul-Kosten bei Versorgung der Grundgesamtheit im Footprint	19
4.2 Vergleich der Netzbetreibertypen – Berücksichtigung von Verfügbarkeit und Marktanteilen	22
4.3 Bedeutung der Trassenlängen (Layer-0-Kosten)	26
4.3.1 Einfluss einer Remote-Anbindung	26
4.3.2 Einfluss der Trassenlänge	27
4.3.3 Bedeutung von gemeinsamer Trassennutzung	30
4.4 Auswirkung von Cherrypicking	32
4.5 Zusammenfassung der Erkenntnisse aus der Modellierung	34
5 Realisierung des Backhauling – Erkenntnisse aus dem deutschen Markt	36
5.1 Generelle Erkenntnisse in Bezug auf den verwendeten Modellierungsansatz	36
5.2 Backhauling- und Ausbau-Strategien	36
5.3 Realisierung des Backhaul (Bedeutung der Vorleistungsnachfrage)	37
5.4 Vorleistungsanbieter Backhaul	38
5.5 Schlussfolgerungen aus den Interviews	38
6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	39
Literatur	41

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schematische Darstellung des Backhaul: von Anschlussnetz und Kernnetz	2
Abbildung 2:	Segmente eines Telekommunikationsnetzes	3
Abbildung 3:	Überblick OSI-Schichtenmodell	5
Abbildung 4:	Netzebenen im WIK-NGN-Modell 2.3	8
Abbildung 5:	Nachfrage nach FTTH-Anschlüssen: Datenbasis und Modellinput	10
Abbildung 6:	Logische Realisierung von Aggregationsnetzen am Beispiel des nationalen Monopolisten	18
Abbildung 7:	Backhauling-Kosten pro Anschluss nach Netzbetreibertyp	20
Abbildung 8:	Backhauling-Kosten pro Anschluss nach Netzbetreibertyp in Relation zur Anzahl Anschlüsse	21
Abbildung 9:	Backhaul-Kosten pro Anschluss bei unterschiedlichen Take-Ups	23
Abbildung 10:	Steigerung der Backhaul-Kosten pro Anschluss bei Berücksichtigung der Versorgungsquote bzw. Anschlussquote (Aktivierung)	24
Abbildung 11:	Steigerung der Backhaul-Kosten pro Anschluss bei Berücksichtigung der Anschlussquote	24
Abbildung 12:	Backhaul-Kosten pro Anschluss normiert auf das Basisszenario (Grundgesamtheit)	25
Abbildung 13:	Einfluss einer Remote-Anbindung	27
Abbildung 14:	Backhaul-Kosten über der Backhaul-Länge	28
Abbildung 15:	Zoom - Backhaul-Kosten über Backhaul-Länge	29
Abbildung 16:	Layer 0 Kosten über der Backhaul-Länge	29
Abbildung 17:	Zoom – Layer 0 Kosten über der Backhaul-Länge	30
Abbildung 18:	Gemeinsame Trassennutzung durch Anschlussnetz und Backhaul	31
Abbildung 19:	Einfluss von gemeinsamer Trassennutzung (Beilauf) auf die Backhauling-Kosten pro Anschluss	32
Abbildung 20:	Einfluss von Cherry picking	33

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Kategorisierung der Netzbetreibertypen und kostenseitig berücksichtigte Netzsegmente	19
Tabelle 2:	Anteil Trassenkosten an den gesamten Backhaul-Kosten (Grundgesamtheit)	28

Abkürzungsverzeichnis

ASB	Anschlussbereich
BAKOM	Bundesamt für Kommunikation (Schweiz)
BNetzA	Bundesnetzagentur
BNG	Broadband Network Gateway
FTP	File Transfer Protocol
FTTB	Fiber To The Building
FTTH	Fiber To The Home
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IP	Internet Protocol
IP-PoP	IP-Point-of-Presence
LLC	Logical Link Control
LER	Label Edge Router
LSR	Label Switch Router
MAC	Media Access Control
Mbps	Megabit per second
Mio	Million (1.000.000)
MPLS	Multiprotocol Label Switching
MPoP	Metropolitan Point of Presence
NGN	Next Generation Network
OLT	Optical Line Terminal
OSI	Open Systems Interconnection
PLZ	Postleitzahl
PON	Passive Optical Network
PPP	Point-to-Point Protocol
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
WIK	Wissenschaftliches Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste

Zusammenfassung

Diese Studie untersucht, wie sich die Backhaul-Kosten im Glasfaserausbau in Abhängigkeit vom räumlichen Footprint unterschiedlicher Netzbetreibertypen unterscheiden. Ausgangspunkt ist die Annahme, dass neben der Besiedlungsdichte auch die Anzahl, Größe und räumliche Verteilung der Anschlussbereiche maßgeblich die Backhaul-Kosten pro Anschluss beeinflussen. Vor dem Hintergrund heterogener Siedlungsstrukturen in Deutschland sind diese Kostenunterschiede insbesondere für den wettbewerblichen Glasfaserausbau von Bedeutung.

Die Analyse basiert auf einer modellgestützten Bottom-up-Methodik, mit der relative Backhaul-Kosten für generische Netzbetreibertypen berechnet werden. Diese Typen repräsentieren unterschiedliche Ausbaukonstellationen und Footprints, die anhand öffentlich verfügbarer Daten zu Postleitzahlregionen approximiert werden. Ergänzend werden reale, adaptierte Netzbetreiber-Footprints in das Typenschema eingeordnet. Die Modellierung beschränkt sich auf die Backhaul-Kosten pro Anschluss und berücksichtigt weder vor- noch nachgelagerte Wertschöpfungsstufen. Die Ergebnisse werden als relative Kostenvergleiche ausgewiesen und haben aufgrund der exemplarischen Szenarien indikativen Charakter. Zusätzlich wurden qualitative Interviews mit Netzbetreibern geführt, um die Modellergebnisse einzuordnen und zu plausibilisieren.

Die Ergebnisse zeigen deutliche Kostenunterschiede im Backhaul in Abhängigkeit vom Footprint. Unter der Annahme monopolistischer Versorgung weisen große Netzbetreiber mit zusammenhängenden, dicht besiedelten Versorgungsgebieten signifikante Kostenvorteile pro Anschluss gegenüber kleineren oder räumlich fragmentierten Netzbetreibern auf. Urbane Regionen sind dabei grundsätzlich kostengünstiger als ländliche. Dieses intuitive Muster verliert jedoch an Klarheit, sobald reale Rahmenbedingungen wie tatsächliche Glasfaserverfügbarkeit, aktive Anschlüsse und Kontrahierungsquoten berücksichtigt werden. Insbesondere in urbanen Gebieten können Infrastrukturwettbewerb und geringe Auslastung zu vergleichsweise hohen Backhaul-Kosten pro Anschluss führen.

Die ergänzend durchgeführten Interviews verdeutlichen die Grenzen der Modellierung. Regionale Kostenunterschiede, projektbezogene Investitionsentscheidungen sowie die Verfügbarkeit von Wholesale-Backhaul-Angeboten werden im Modell nur unzureichend abgebildet. In der Praxis tragen insbesondere vorleistungsbasierte Infrastrukturen Dritter – soweit verfügbar – zur Kostensenkung und damit Replizierbarkeit bei, während diese Optionen in ländlichen Regionen häufig fehlen. Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass Backhaul-Kosten einen relevanten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des Glasfaserausbaus haben. Ein funktionierendes Wholesale-Angebot kann dabei insbesondere für regionale Anbieter ein „Level Playing Field“ schaffen. Es ist unklar, in welchem Umfang dies für einen flächendeckenden Glasfaserausbau in Deutschland zur Verfügung steht.

Summary

This study examines how backhaul costs in FTTH networks differ depending on the spatial footprint of different types of network operators. The starting point is the assumption that, in addition to population density, the number, size and spatial distribution of access areas also have a significant influence on backhaul costs per connection. Given the heterogeneous settlement structures in Germany, these cost differences are particularly important for competitive FTTH deployment.

The analysis is based on a model-supported bottom-up methodology that calculates relative backhaul costs for generic network operator types. These types represent different expansion constellations and footprints, which are approximated using publicly available data on postcode regions. In addition, real, adapted network operator footprints are classified in the scheme of stylised network operators. The modelling is limited to the backhaul costs per connection and does not consider upstream or downstream stages of the value chain. The results are presented as relative cost comparisons and are indicative in nature due to the exemplary scenarios. In addition, qualitative interviews were conducted with network operators to classify and validate the model results.

The results show significant cost differences in backhaul depending on footprint. Assuming monopolistic supply, large network operators with contiguous, densely populated service areas have significant cost advantages per connection over smaller or spatially fragmented network operators. Urban regions are generally more cost-effective than rural areas. However, this intuitive pattern becomes less clear when real-world conditions such as actual fibre availability, active connections and contracting rates are taken into account. In urban areas in particular, infrastructure competition and low utilisation can lead to comparatively high backhaul costs per connection.

The supplementary interviews highlight the limitations of modelling. Regional cost differences, project-related investment decisions and the availability of wholesale backhaul offerings are not adequately reflected in the model. In practice, third-party wholesale-based infrastructures – where available – contribute to cost reduction and thus replicability, while these options are often lacking in rural areas. Overall, the results show that backhaul costs can have a relevant impact on the economic viability of FTTH deployment. Availability of wholesale offers can create a level playing field, especially for regional providers. It remains questionable to what extent this is available for nationwide FTTH deployment in Germany.

1 Einführung

Dieser Diskussionsbeitrag geht der Frage nach, wie sich die Transportkosten für das Backhauling in Abhängigkeit der Footprints der verschiedenen Netzbetreibertypen voneinander unterscheiden. Aufgrund heterogener Besiedlungsstrukturen in Deutschland besteht die Vermutung, dass nicht nur die Besiedlungsdichte in den Anschlussbereichen, sondern auch die Anzahl an Anschlussbereichen und deren räumliche Verteilung in der Fläche zu Kostenunterschieden pro Anschluss im Backhaul einhergehen. Diese regionalen Unterschiede können im Kontext des wettbewerblichen Ausbaus von Glasfaseranschlussnetzen Bedeutung haben.

Der Glasfaserausbau wird in Deutschland durch eine Vielzahl von ausbauenden Unternehmen vorangetrieben. Ihre Versorgungsgebiete haben unterschiedlichste Größen hinsichtlich Erstreckung und Verteilung in der Fläche sowie hinsichtlich der Zahl der versorgten und erreichbaren Endkunden.

Mit Hilfe einer modellgestützten Analyse (Bottom-up-Modellierung) werden für verschiedene Ausbaukonstellationen relativen Kostenunterschiede im Backhauling ermittelt. Zu diesem Zweck werden generische Netzbetreibertypen definiert, um anhand der Modellergebnisse strukturelle Aussagen ableiten zu können. Zusätzlich werden anhand öffentlich verfügbarer Daten adaptierte Footprints von Netzbetreibern nachgebildet und in das Schema der Netzbetreibertypen eingeordnet. Eine exakte Modellierung konkreter Unternehmen ist dabei weder intendiert noch tatsächlich erfolgt. Die Abbildung des Footprints für betrachteten Netzbetreibertypen erfolgt anhand öffentlich verfügbarer Daten zu Postleitzahl-Regionen, die als Proxy für die Abgrenzung von Anschlussbereichen herangezogen werden. Modellergebnisse werden sowohl für hypothetische Monopolkonstellationen berechnet als auch für die aktuelle Glasfaseranschlussverfügbarkeit bzw. Glasfaserkontrahierungsquote. Sie sind auf die Backhaul-Kosten beschränkt und berücksichtigen nicht die weiteren Wertschöpfungsstufen (weder im Down- noch im Upstream). Der Ergebnisausweis erfolgt in Form relativer Kostenvergleiche pro Anschluss im Backhaul. Da die Analyse nur anhand ausgewählter Beispiele durchgeführt wird, haben die Ergebnisse indikativen Charakter.

Ergänzend wurden Interviews mit ausgewählten Netzbetreibern durchgeführt und die gewonnen Erkenntnisse dazu verwendet, die Modellergebnisse und verwendeten Modellannahmen in den Kontext der Beobachtungen einzuordnen.

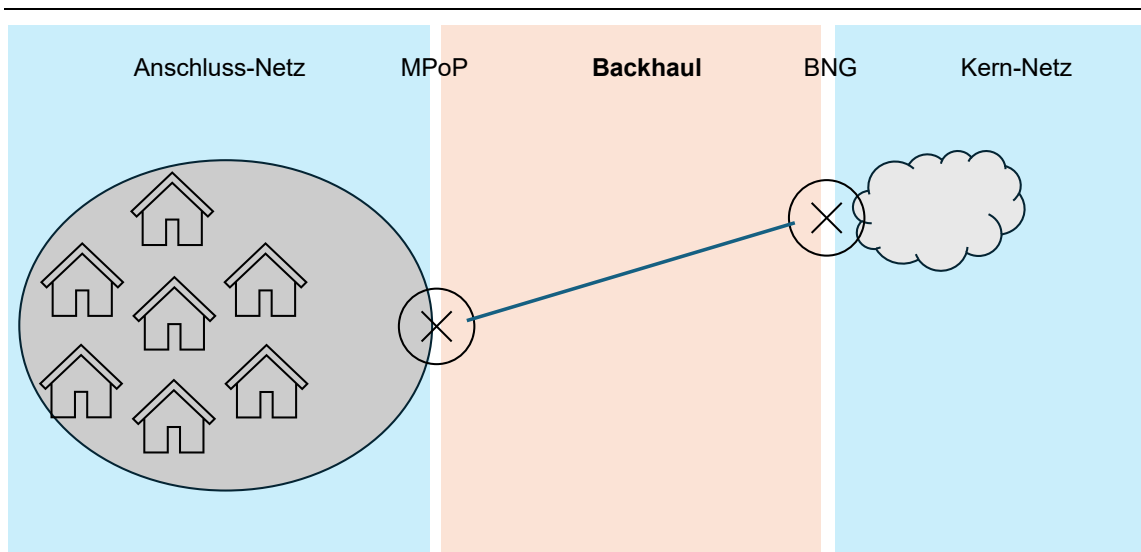
Der Aufbau der Studie gliedert sich wie folgt: Bei der Analyse wurde wie folgt vorgegangen: In Kapitel 22.1 erfolgt eine Begriffsdefinition von Backhauling und ordnet diesen in die marktlichen Strukturen des Ausbaus von Glasfaseranschlussnetzen in Deutschland ein. Anschließend wird in Kapitel 3 der Modellierungsansatz erläutert sowie die untersuchten Netzbetreiberkonstellationen spezifiziert. Kapitel 4 stellt die berechneten Szenarien und Ergebnisse dar. Anschließend werden in Kapitel 5 die Erkenntnisse aus den geführten Interviews in den Kontext der Modellergebnisse gestellt. Die Zusammenfassung und Schlussfolgerungen sind im abschließenden Kapitel 6

2 Wettbewerblicher Ausbau von Anschlussnetzen und Backhauling

2.1 Definition: Was ist „Backhauling“?

Backhauling bezeichnet bei Festnetzen im Allgemeinen die Anbindung von Versorgungsgebieten bzw. lokalen Anschlussnetzen an das Kernnetz. In der nachfolgenden Abbildung 1 ist die Verbindungsstrecke zwischen dem lokalen Anschlussnetz und dem Kernnetz (MPoP – BNG) als Backhaul gekennzeichnet.

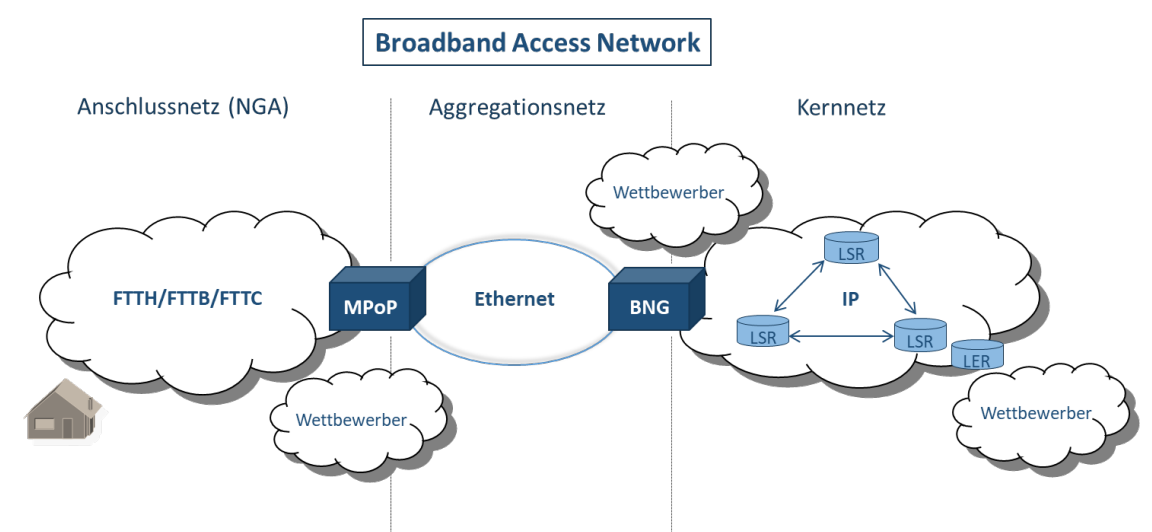
Abbildung 1: Schematische Darstellung des Backhaul: von Anschlussnetz und Kernnetz



Quelle: WIK

Diese in Abbildung 1 vorgestellte Definition wollen wir anhand der Netz-Segment-bezogenen Darstellung einordnen. Abbildung 2 zeigt vereinfacht den Aufbau eines TK-Netzes mit den Segmenten Anschlussnetz, Aggregationsnetz, Kernnetz sowie die Internet-konnektivität. Aus Sicht eines flächendeckend tätigen Netzbetreibers beschreibt das **Aggregationsnetz** die Anbindung und Konzentration der Endkundenverkehre (ausgehend vom MPoP als Abschlusspunkt des Anschlussnetzes) auf die Zugangspunkte des Kernnetzes (IP-PoP). Daher beschreiben Backhaul und Aggregationsnetz die gleiche Funktionalität im Sinne der Anbindung von Anschlüssen an das Kernnetz. Die Verwendung der Begriffe ist in der Regel kontextabhängig.

Abbildung 2: Segmente eines Telekommunikationsnetzes



Quelle: WIK

Der Begriff Backhaul hat mit der Tätigkeit alternativer Netzbetreiber seine Bedeutung gewonnen. Er steht weniger im Kontext der strukturellen Beschreibung eines Netzes, sondern beschreibt vielmehr die Herausforderung der Anbindung eines (neu¹ erschlossenen) Versorgungsgebiets (lokales Anschlussnetz) an ein bestehendes Kernnetz dar. Wie in der Abbildung 1 illustriert, realisiert der Backhaul die Verbindung eines Anschlussnetzes mit dem Kernnetz.² Es handelt sich dabei in der Regel um eine Verbindung mit hoher Kapazität und geringer Latenz, die für eine effiziente und schnelle Datenübertragung ausgelegt ist. Im Mobilfunkumfeld wird auch bereits die Anbindung eines Mobilfunkstandortes als Backhaul angesehen. Dabei wird der Begriff Backhauling nicht ausschließlich für die MPoP-Kernnetz-Relation verwendet. Manchmal findet er auch bereits für die Strecke ab dem Faserverzweiger bzw. PON-Splitter in Richtung Kernnetz Anwendung, oder auch ab dem PON-OLT, wenn dieser direkt mit dem Kernnetz verbunden ist. In allen Fällen jedoch handelt es sich um eine Anbindung von Anschlüssen bzw. Anschlussnetzen an das Kernnetz.

Im Rahmen dieser Studie verwenden wir den Begriff Backhaul, der im Kontext des Anschlussnetzausbaus durch alternative Netzbetreiber üblich ist. Inhaltlich können die von uns in dieser Studie betrachteten Backhaul-Kosten jedoch mit den Kosten eines Aggregationsnetzes gleichgesetzt werden, da wir darauf abstellen die Kosten für die Anbindung der Gesamtheit aller Anschlussbereiche eines alternativen Netzbetreibers an das Kernnetz abzubilden.

¹ „neu“ kann sich sowohl darauf beziehen, dass der Netzbetreiber das Versorgungsgebiet neu ausgebaut hat oder dass er mit eigener Infrastruktur am MPoP die Endkunden auf Basis von Vorleistungen übernimmt (Entbündelung oder Bitstromzugang).

² Siehe auch: <https://www.ionos.de/digitalguide/server/knowhow/was-ist-backhaul/>.

2.2 Technische Aspekte des Backhauling

Die Optionen der Realisierung des Backhaul sind breit gefächert. Auf der einen Seite steht der komplette Bau der Backhaul-Verbindung durch den Netzbetreiber selbst („Make“-Entscheidung) und auf der anderen Seite der Einkauf einer Backhaul-Leistung bei einem spezialisierten Anbieter oder einem anderen Marktteilnehmer („Buy“-Entscheidung). Aber auch zwischen diesen Extremen sind verschiedene Facetten möglich. So wäre eine Mitverlegung im Graben eines anderen Marktteilnehmers oder Gewerks möglich. Statt eines Grabens ist auch die Nutzung von Masten (z.B. Strommasten) denkbar. Auch die Anmietung eines vorhandenen Leerrohrs wäre ebenso eine Möglichkeit wie die Nutzung von Dark Fiber. Neben der Nutzung dieser passiven Vorleistungsprodukte sind auch der Einkauf von Mietleitungen eine weitere Möglichkeit zur Realisierung eines Backhaul-Links.

Technisch lässt sich die Realisierung des Backhauling anhand des OSI-Schichtenmodells erläutern (Abbildung 3). Die physikalische Anbindung von Anschlussnetzen an ein Kernnetz erfolgt in der Regel über einen glasfaserbasierten Backhaul und Einsatz des Ethernet-Protokolls.^{3,4} Grundsätzlich wäre auch eine Realisierung eines Backhails über Richtfunk oder über Satelliten statt über Glasfaserkabel möglich, dies wird aber im Rahmen dieser Studie nicht näher betrachtet, da die Glasfaser die höchste Zuverlässigkeit, höchste Bandbreiten und geringste Latenzen ermöglicht.

Das Backhauling wird in der Regel der OSI-Schicht 2 zugeordnet, die auch als Sicherungsschicht bezeichnet wird (Data Link Layer). Auf dieser Ebene sorgen Funktionen zur Fehlererkennung, der Fehlerbehebung und der Datenflusskontrolle dafür, dass Übertragungsfehler vermieden werden. Das verwendete Protokoll ist hier in der Regel Ethernet, welches sowohl die OSI-Schicht 2 als auch die OSI-Schicht 1 beschreibt. Hierbei ist die OSI-Schicht 1 die Bitübertragungsschicht (Physical Layer), dort werden die zu Übertragenden Daten in physikalische Signale, also im Falle einer Übertragung über eine Glasfaser in Lichtsignale übersetzt.⁵ Streng genommen gilt dies nur, wenn der Backhaul als direkte logische Verbindung zwischen dem Anschlussnetz (MPoP) und dem Kernnetz (BNG) ausgebildet ist.⁶

³ Siehe auch Hackbarth, K. et al., WIK-Consult (2016).

⁴ Das Ethernet Protokoll ist auf der Schicht 2 des OSI-Modells angesiedelt. Die Schicht 2 wird als Data Link Layer oder auf Deutsch Sicherungsschicht bezeichnet. Siehe auch: <https://de.wikipedia.org/wiki/OSI-Modell>.

⁵ Siehe auch <https://www.ionos.de/digitalguide/server/knowhow/das-osi-modell-referenz-fuer-standards-und-protokolle/>.

⁶ Wenn beispielsweise die MPoP keine direkten logischen Verbindungen zum Kernnetz aufweisen, sondern über dritte Knoten (bspw. im Ring) geführt werden, so sind hierzu bereits Funktionen der OSI-Schicht 3, also der Vermittlungsschicht (Network Layer) notwendig, um den Verkehr im Ring zu steuern. Im Analytischen Kostenmodell für das Breitbandnetz ist das Aggregationsnetz topologisch in einer Ringstruktur realisiert, die logischen Verbindungen der MPoP zu den IP-PoP sind jedoch sternförmig und bedürfen daher keiner Funktionalitäten der OSI-Schicht 3. Vgl. Hackbarth, K. et al., WIK-Consult (2016). Dem Ganzen unterliegt, als inoffizielle OSI-Schicht 0 die physische Infrastruktur bestehend aus z.B. Graben, Rohren, Kabeln mit Glasfasern.

In der Praxis beeinflussen netzplanerische Überlegungen unter Einbeziehung von Anschluss- und Verkehrsnachfrage sowie zugehöriger Investitionen und Betriebskosten das Entscheidungskalkül für die Realisierung des Backhails. Letztlich kann ein Backhaul auch auf höheren OSI-Schichten (in der nachfolgenden Abbildung 3 mit der OSI-Schicht 3 gekennzeichnet) realisiert werden.

Abbildung 3: Überblick OSI-Schichtenmodell

OSI-Schicht	Beispiel
7 - Anwendungsschicht (Application Layer)	HTTP FTP SMTP
6 - Darstellungsschicht (Presentation Layer)	HTTP FTP SMTP
5 - Sitzungsschicht (Session Layer)	HTTP FTP SMTP
4 - Transportschicht (Transport Layer)	TCP UDP
3 - Vermittlungsschicht (Network Layer)	IP
2 - Sicherungsschicht (Data Link Layer)	Ethernet LLC/MAC PPP
1 - Bitübertragungsschicht (Physical Layer)	Ethernet
0 - Infrastrukturschicht (Physical Layer)	Graben, Rohre, Kabel, Fasern

Backhauling/
Konzentrationsnetz

Quelle: WIK

2.3 Besonderheiten des Backhauling im wettbewerblichen FTTH-Ausbau

In vorangegangenen Abschnitt wurde bereits Backhaul als ein für Wettbewerber „typisches“ Thema eingeordnet.

Anders als der Altsasse mit seinem auf Kupferdoppeladern beruhenden flächendeckenden Anschlussnetz, verfügen alternative Netzbetreiber über keine flächendeckenden Netze. Vielmehr sind sie in ausgewählten Gebieten und Regionen mit dem Ausbau und Betrieb von FTTH-Netzen tätig. Die **geografische Lage und den Umfang der Ausbau- und Versorgungsgebiete dieser alternativen Netzbetreiber** beschreiben wir im Folgenden mit dem Begriff **Footprint**.

Die Lage und Größe dieser Footprints ist dabei oft durch den institutionellen Hintergrund des alternativen Netzbetreibers bestimmt. Zu nennen sind hier

- kommunale Wurzeln des Anbieters (z.B. Stadtwerke)
- CityCarrier / Regionalnetzbetreiber
- Kabelnetzbetreiber
- Investoren getriebener Ausbau
- Tochterunternehmen von Energieversorgern
- Sonstiges

Die Investitionstätigkeit der alternativen Anschlussnetzbetreiber und die daraus resultierenden Footprints lassen sich durch den wettbewerblich orientierten Ordnungsrahmen sowie die ergänzende Förderung erklären (profitorientierter eigenwirtschaftlicher Ausbau und Förderung). Unternehmen wählen ihre Ausbaugebiete – oftmals unter Berücksichtigung ihrer institutionellen Wurzeln – nach Maßgabe von Profitabilitätsüberlegungen aus. Die Besiedlungsdichte ist hierbei bedeutend. Unprofitable Regionen, selbst wenn sie in eine zum Teil schon ausgebaute Gemeinde fallen, bleiben unversorgt. Auch hat sich die Kleinteiligkeit durch den geförderten Ausbau verschärft: Von Kommunen initiierte Markterkundungsverfahren münden in Konstellationen, bei denen profitable Zentren noch eigenwirtschaftlich ausgebaut, der umliegende Rest jedoch gefördert wird. Somit liegen – anders als im Fall des flächendeckenden Monopols – tendenziell kleinteilige Versorgungsgebiete verschiedener Betreiber oftmals nah beieinander oder überdecken sich (Überbau). Sie bedürfen individueller Anbindungen an das Internet und daher die Kernnetze. Entsprechend fallen bei diesem wettbewerblichen Regime die für Aggregation und Backhaul erforderliche Ressourcen deutlich umfangreicher aus.

3 Modellierungsansatz

Motivation für die Untersuchung ist die Hypothese, dass sowohl die räumliche Größe als auch die Zahl der versorgten bzw. versorgbaren Anschlüssen einen Einfluss auf die Backhauling-Kosten pro Anschluss⁷ haben. Laut BREKO-Markstudie 2025 sind mehr als 300 Unternehmen im Ausbau von glasfaserbasierten Anschlussnetzen in Deutschland aktiv. Sie unterscheiden sich hinsichtlich

- der infrastrukturellen Voraussetzungen/Anfangsausstattungen
- der Anzahl an Versorgungsgebieten (Anschlussbereiche/MPoP)
- der räumlichen Verteilung der Versorgungsgebiete (Dichte & Zusammenhang)
- der Besiedlungsdichte in den Versorgungsgebieten

Entsprechend ist davon auszugehen, dass sich die verschiedenen Footprints von Netzbetreibern in der Höhe der Backhaul-Kosten niederschlagen. Im Fokus steht daher das Zusammenspiel von Kosten und Kostenteilung und die Beschreibung von Größenvor- bzw. nachteilen.

3.1 Modellgestützte Analyse zur Bestimmung relativer Kostenunterschiede und Datenbasis

Mit Hilfe einer modellgestützten Analyse wollen wir Erkenntnisse darüber gewinnen, wie stark sich die Backhaul-Kosten alternativer Netzbetreiber in Abhängigkeit ihres Footprints voneinander unterscheiden. Dazu findet das Analytische Kostenmodell für das Breitbandnetz 2.3 (WIK-NGN-Modell)⁸ Anwendung. Die Bottom-up-Modellierung und -Kostenberechnungen werden für illustrativ ausgewählte, typisierter Netzbetreiber in Deutschland durchgeführt. Die geo-referenzierte Modellierung erlaubt dabei eine Berücksichtigung der räumlichen Verteilung der Versorgungsgebiete sowie der Besiedlungsstrukturen.

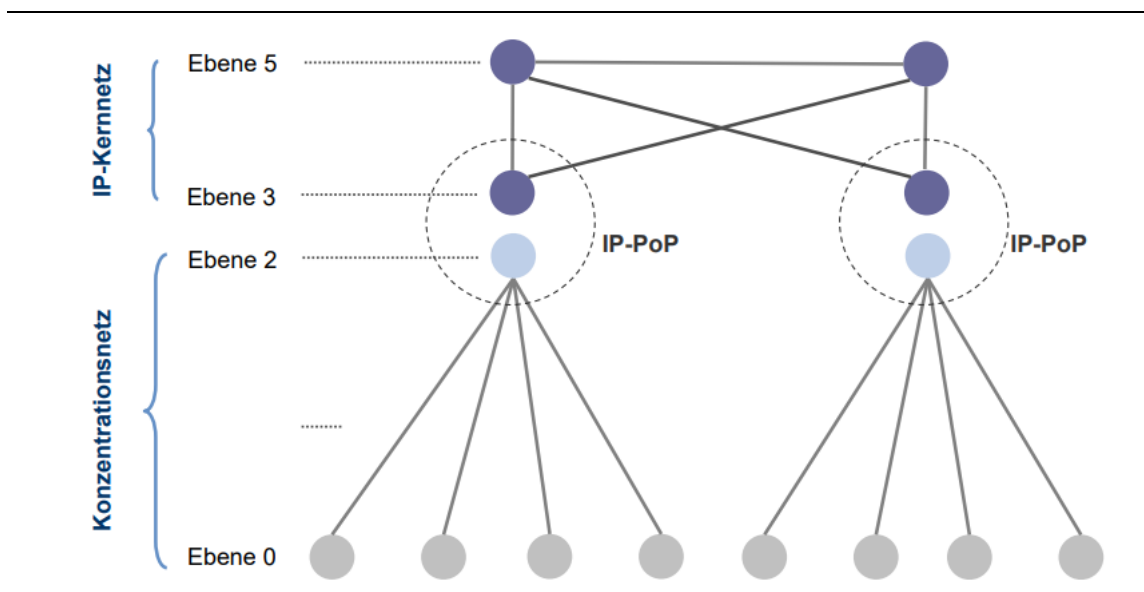
Das WIK-NGN-Modell nimmt eine nachfragegetriebene Netzdimensionierung vor, bei der die produktbezogene Endkundennachfrage und der damit einhergehende Verkehr für die bereitzustellenden Kapazitäten maßgeblich ist (unter Berücksichtigung von Auslastungsfaktoren sowie Redundanzen). Diese ist im Modell auf der Netzebene 0 abgebildet und wird durch die MPoP (Metropolitan Point of Presence) repräsentiert. Die nachfolgende Abbildung 4 illustriert, dass die MPoP auf Ebene 0 individuell (direkt) an den IP-PoP als Zugangspunkt an das Kernnetz angebunden sind. Die Anbindung von Ebene 0 auf Ebene 2 repräsentiert daher den Backhaul bzw. das Aggregations-/Konzentrationsnetz. Im Modell werden hierfür die Kosten der OSI-Schicht 0 (Trasse und Kabel), OSI-Schicht 1 (Übertragungstechnik) sowie der OSI-Schicht 2 (Ethernetequipment) berücksichtigt. Für

⁷ Im Rahmen dieser Studie wollen wir als Bezugsgröße die Kosten pro Anschluss verwenden. Üblicherweise werden die Transportkosten in z.B. € pro Mbps ausgedrückt, aber unter der Annahme, dass je Anschluss der gleiche Verkehr erzeugt wird, ist dies praktisch synonym.

⁸ Hackbarth, K. et al., WIK-Consult (2016)

die Verbindungen des Kernnetzes (Anbindungen von Ebene 3 auf Ebene 5 sowie die Vermaschung der Standorte auf Ebene 5) kommt anstelle von Ethernet-Equipment, IP-Equipment zur Anwendung. In Abschnitt 3.2 wird im Rahmen der Definition der analysierten Netzbetreibertypen konkretisiert, welche infrastrukturbezogenen Kosten in die jeweiligen Szenarien Eingang gefunden haben.

Abbildung 4: Netzebenen im WIK-NGN-Modell 2.3



Quelle: Hackbarth, K. et al., WIK-Consult (2016)

Methodisch wird unterstellt, dass der Netzbetreiber sein Netz im Sinne eines Stand-alone-Investitionsprojekts realisiert. D. h., es wird keine Verbundproduktion berücksichtigt. Da für die Modellierung der verschiedenen Footprints keine spezifischen Investitions- und Kostendaten vorliegen,⁹ wurde für sämtliche Szenarien auf einheitliche Investitions- und Strukturparameter zurückgegriffen,¹⁰ um die Kosten der Errichtung und Inbetriebnahme des Netzes zu quantifizieren.¹¹ Da die Untersuchung auf relative Kostenunterschiede abzielt, kommt den Preisparameter nur eine untergeordnete Bedeutung zu.

Unterschiede in der Modellparametrisierung kommen daher ausschließlich in der Abbildung des Footprints zum Ausdruck. Dieser wird durch versorgte Anschlussbereiche

⁹ In Kapitel 5 werden auf qualitativer Ebene Bestimmungsfaktoren dargestellt, die auf die Kosten spezifischer Netzbetreiber einen Einfluss haben können. Insbesondere in Fällen, in denen Kosten ausgesprochen hoch ausfallen, liegt es nahe, dass ein Netzbetreiber stattdessen eher ein Vorleistungsprodukt einkaufen würden, wenn dieses denn in der jeweiligen Region verfügbar ist. Aber auch die Einkaufspreise werden sich entweder direkt an den Erstellungskosten orientieren oder indirekt durch das Angebot von Backhauling-Diensten, also dass dort wo hohe Backhauling-Kosten zu erwarten sind, auch ein entsprechend geringes Angebot besteht, was wieder zu hohen Vorleistungspreisen führt. Jedoch sind auch Konstellationen denkbar, wo die Backhauling-Kosten deutlich geringer ausfallen als bei einem Eigenbau. Dies wäre dann der Fall, wenn beispielsweise passive Infrastruktur eines anderen Gewerks (z.B. Stromnetzbetreiber) nutzbar wäre. Diese Fälle lassen sich aber nicht modellseitig abdecken.

¹⁰ Preis- und andere Strukturparameter werden mit WIK-Erfahrungswerten befüllt.

¹¹ Insofern repräsentieren die berechneten Kosten ausschließlich die „make“-Entscheidung und blenden die Möglichkeit, einen Backhaul über den Einkauf von Vorleistungen zur realisieren aus.

beschrieben. Dabei repräsentiert jeder MPoP (Ebene 0-Standort) ein Postleitzahl-Gebiet. Der Schwerpunkt der PLZ-Gebiete wurde dabei als MPoP-Standort für die Modellierung verwendet.

Um die Gesamtheit der Nachfrage quantifizieren zu können wurde in einem ersten Schritt auf allgemeine, öffentliche Daten zu der Anzahl Haushalte und Unternehmen in den PLZ-Regionen zurückgegriffen (**Grundgesamtheit**).¹²

Um die Verfügbarkeit von FTTH-Anschlüssen zu erfassen (**verfügbar**), wurde der Breitbandatlas als Quelle herangezogen.¹³ Es wurde der Anteil FTTB/H-Anschlüsse an der Gesamtheit der Anschlüsse im Breitbandatlas ermittelt und auf die Haushalts- und Unternehmenszahlen der Grundgesamtheit angewendet.¹⁴

Die Anzahl verfügbarer FTTH-Anschlüsse wurde wiederum mit einer Aktivierungsquote multipliziert. Diese gibt an, wie viele der bereits verfügbaren FTTH-Anschlüsse bereits aktiv geschaltet sind (**aktiv**). Diese Information stand für sechs Regiotypen zur Verfügung und wurde von der Bundesnetzagentur (BNetzA) für dieses Forschungsprojekt bereitgestellt, um die Zahl der aktiven Anschlüsse in den PLZ-Regionen approximieren und somit eine regional differenzierte Ausgangssituation berücksichtigen zu können.¹⁵ Die verwendeten Regiotypen ergeben sich aus den Einwohnerzahlen und Gemeindeflächen gemäß DESTATIS (GV-Isys, 2023). Die Dichtegrenzen basieren auf Stobbe et al. (2023).¹⁶ Die Regiotypen gliedern sich dabei wie folgt:

- Ländlich
 - Regiotyp 1: 0-149 Einwohner/km²
 - Regiotyp 2: 150-299 Einwohner/km²
- Vorstädtisch
 - Regiotyp 3: 300-749 Einwohner/km²
 - Regiotyp 4: 750-1.199 Einwohner/km²
- Städtisch
 - Regiotyp 5: 1.200-2.699 Einwohner/km²
 - Regiotyp 6: ≥2.700 Einwohner/km²

¹² pan adress (2022).

¹³ Breitbandatlas auf Gemeindeebene transformiert auf PLZ-Ebene, Basis: https://gigabitgrundbuch.bund.de/GIGA/DE/Downloads_Suche/start.html, Stand 12/2024.

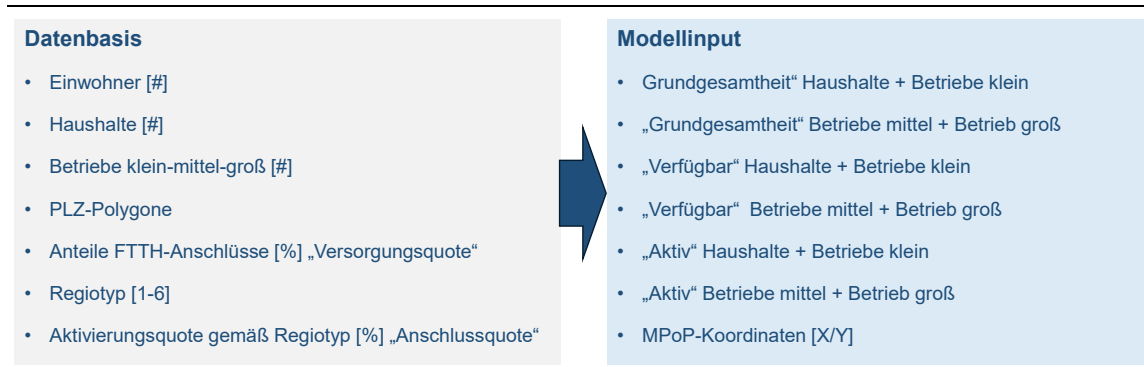
¹⁴ Mit Hilfe von GIS-Tools wurden Gemeinde- und PLZ-Regionen verschnitten.

¹⁵ Der BNetzA liegt eine in sechs Regiotypen differenzierte Aktivierungsquote auf Gemeindeebene vor. Die Regiotypen wurden den Postleitzahlbereiche über ein Matching zugeordnet.

¹⁶ Stobbe, L., Richter, N. et al., Fraunhofer IZM (2023).

Abbildung 5 fasst die verwendete Datenbasis sowie den daraus abgeleiteten Modellinput zusammen.

Abbildung 5: Nachfrage nach FTTH-Anschlüssen: Datenbasis und Modellinput



Quelle: WIK

3.2 Definition von Netzbetreibertypen

In diesem Abschnitt beschreiben wir die konkret erzeugten Szenarien, unterschieden nach solchen, die wir synthetisch-generisch erzeugt haben und denen, die Footprints von realen Marktteilnehmern nachbilden (sogenannte adaptierte Footprints). Sie alle dienen dazu, relative Kostenunterschiede zwischen diesen Footprints sowie ausgewählter Fragestellungen zu untersuchen.

3.2.1 Generische Abbildung von Netzbetreibertypen

Auf Ebene der Postleitzahlbereiche wurden generische Versorgungsgebiete definiert, um strukturell unterschiedliche Netzbetreibertypen abzubilden. Der Mittelpunkt der PLZ-Region wird als Standort für den MPoP verwendet.

Die generisch abgebildeten Netzbetreiber orientieren sich nicht an realen Netzbetreibern, sondern wurden mit dem Ziel erzeugt, strukturelle Kostenunterschiede herauszuarbeiten und spezifischen Fragestellungen nachgehen zu können.

- Nationaler Monopolist (flächendeckende Versorgung von Deutschland als Vergleichsszenario)
- Anschlussbereiche (ASB) in ruraalem Gebiet
- Anschlussbereiche (ASB) in ruraalem Gebiet mit vergrößertem Footpring (zusätzliche ASB)
- mittelgroße Stadt
- mehrere Städte in einer Region (dicht besiedelt) (
- mehrere kleine Gemeinden in einer Region (sehr dünn besiedelt)

Nachfolgend werden die für die Modellierung definierten, generischen Netzbetreibertypen charakterisiert und anhand verwendeten der Nachfragedaten beschrieben.

3.2.1.1 Nationaler Monopolist [Referenzszenario 1]



Dies ist das Vergleichsszenario. Das Szenario stellt einen nationalen Monopolisten dar, welcher die gesamte Nachfrage der Bundesrepublik auf sein Netz verbuchen kann. Es umfasst alle Postleitzahlbereiche und wird wegen der Flächigkeit vermutlich das Szenario mit den geringsten Backhauling-Kosten pro Anschluss sein. Es dient insbesondere als Referenzszenario zum Vergleich mit den anderen Footprints. Darüber hinaus erlaubt es zu analysieren, welchen Einfluss die Glasfaserpenetration (im Sinne von Aktivierungsquote) auf die Kosten des Backhaulings hat.

Das Szenario umfasst in der Variante „Grundgesamtheit“ über 8.000 Postleitzahlbereiche, über 45 Mio. Haushalte, fast 5 Mio. Gewerbebetriebe (mittel & groß). In der Variante „Verfügbar“ sind es über 18 Mio. Haushalte und fast 2 Mio. Gewerbebetriebe. In der Variante „Aktiv“ sind es fast 5 Mio. Haushalte und über 500.000 Gewerbebetriebe. Die berücksichtigte Versorgungsquote liegt damit bei 40 %, die Anschlussquote bei 11 %.

3.2.1.2 Regionaler Netzbetreiber Urban [Szenario 2]



Dies ist ein Szenario, welches einen Verbund von großen und dicht besiedelten Städten abbilden soll. Hierzu wurden die Postleitzahlbereiche von vier direkt aneinandergrenzenden Ruhrmetropolitenstädten ausgewählt. Im Fokus steht hier der Vergleich mit dem Referenzszenario und die Betrachtung der Auswirkung der Varianten. Die Postleitzahlbereiche wurden ausgewählt nach dem Kriterium (KI) einer dicht besiedelten Metropolregion in Deutschland. Das Szenario zeichnet sich dadurch aus, dass eine große Anzahl Anschlüsse in einem dichten Gebiet zusammenhängend erschlossen sind.

Durch die Auswahl der Postleitzahlbereiche hat sich auch ergeben, dass es sich bei dieser Region um eine solche mit vergleichsweise niedrigem Take-Up handelt. Daher werden hier auch die Varianten genauer angeschaut.

In der Variante „Grundgesamtheit“ umfasst das Szenario 700.000 Anschlüsse in 54 Postleitzahlbereichen und in Variante „Verfügbar“ 205.000 Anschlüsse. In der Variante „Aktiv“ sind es 51.000 Anschlüsse. Die Versorgungsquote liegt bei 29%, die Anschlussquote bei 7%.

3.2.1.3 Regionaler Netzbetreiber Rural [Szenario 3]



Dies ist ein Szenario, welches einen Verbund von kleinen und eher dünn besiedelten Gemeinden und Dörfern abbilden soll. Hierzu wurden die 32 Postleitzahlbereiche von direkt aneinandergrenzenden Gemeinden eines ganzen Landkreises ausgewählt. Im Fokus steht hier der Vergleich mit dem Referenzszenario, mit dem Szenario 2 und die Betrachtung der Auswirkung der Varianten.

Das Szenario umfasst in der Variante „Grundgesamtheit“ 95.000 Anschlüsse in 32 Postleitzahlbereichen und in Variante „Verfügbar“ 7.000 Anschlüsse. In der Variante „Aktiv“ sind es 1.800 Anschlüsse. Die Versorgungsquote liegt bei 7%, die Anschlussquote bei 2%.

3.2.1.4 Lokaler Netzbetreiber **groß** [Szenario 4]

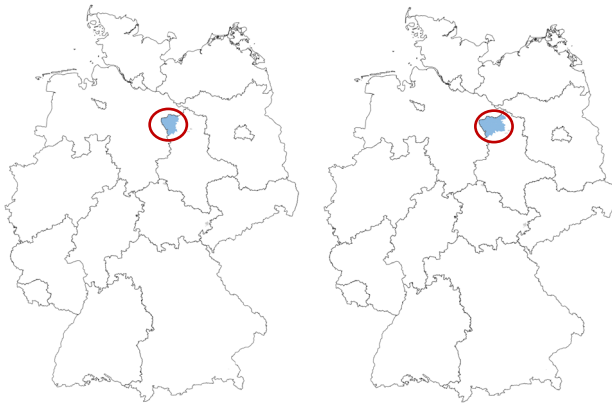


Dies ist ein Szenario, welches z.B. ein Stadtwerk einer mittelgroßen Stadt abbilden soll. Untersucht wird hier die Abhängigkeit der Kosten von der Länge des Backhails. Hierzu werden zunächst nur die Kosten des Netzbetreibers bestimmt unter der Annahme, dass sich ein Kernnetzzugang direkt im gewählten Gebiet der 5 Postleitzahlbereiche befindet, wie bei den anderen Szenarien auch. Diesem Gebiet werden dann modellexogen bestimmte Anbindungskosten mit Remote-Anbindungen an nahegelegene große Städte (23km und 72km entfernt) gegenübergestellt. Durch die Auswahl der Postleitzahlbereiche hat sich auch ergeben, dass es sich bei dieser Stadt um eine

solche mit vergleichsweise sehr geringem Take-Up handelt. Daher werden hier auch die Varianten genauer angeschaut. Die Postleitzahlbereiche wurden ausgesucht nach dem Kriterium (KI) einer mittelgroßen Stadt in Deutschland. Das Szenario zeichnet sich dadurch aus, dass eine relativ große Anzahl Anschlüsse in einem dichten Gebiet ohne große räumliche Ausdehnung zusammenhängend erschlossen sind.

Das Szenario umfasst in der Variante „Grundgesamtheit“ 61.000 Anschlüsse in fünf Postleitzahlbereichen und in der Variante „Verfügbar“ 5.000 Anschlüsse. In der Variante „Aktiv“ sind es 1.200 Anschlüsse. Die Versorgungsquote liegt bei 8%, die Anschlussquote bei 2%.

3.2.1.5 Lokaler Netzbetreiber **klein** (Basis und Erweitert) [Szenarien 5a & 5b]



Dies sind zwei Szenarien, an welchen untersucht werden soll, wie sich die Auswirkungen darstellen, wenn ein kleiner lokaler Netzbetreiber auch benachbarte Regionen mitversorgt. Hierzu wurden zunächst fünf Postleitzahlbereiche in einem sehr ruralen Gebiet der Bundesrepublik ausgewählt und danach um weitere drei angrenzende Postleitzahlbereiche erweitert. Die Postleitzahlbereiche wurden

ausgesucht nach dem Kriterium (KI) einer möglichst dünn besiedelten Region Deutschlands. Durch die Auswahl der Postleitzahlbereiche hat sich auch ergeben, dass es sich bei dieser Region um eine solche mit vergleichsweise hohem Take-Up handelt. Daher werden hier auch die Varianten genauer angeschaut.

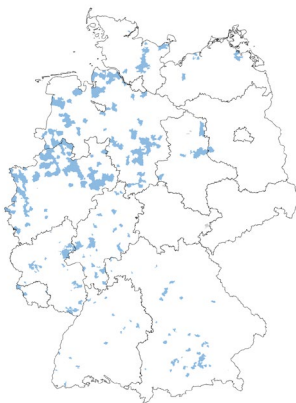
Die Szenarien umfassen in der Variante „Grundgesamtheit“ 32.000 bzw. 45.000 Anschlüsse in fünf bzw. acht Postleitzahlbereiche. In der Variante „Verfügbar“ sind es 28.000 bzw. 39.000 Anschlüsse und in der Variante „Aktiv“ sind es 12.000 bzw. 16.000 Anschlüsse. Die Versorgungsquote liegt bei 87%, die Anschlussquote bei 36%.

3.2.2 Adaptierte Footprints des deutschen Marktes

Die ausgewählten Footprints setzten sich dabei aus einer Reihe von Gebieten zusammen, welche die Netzabdeckung einzelner Netzbetreiber grob nachbilden.

Bei den nun folgenden adaptierten Footprints des deutschen Marktes handelt es sich um eine grobe Annäherung der auf Unternehmens-Webseiten verfügbaren Informationen über die Ausbauggebiete einzelner Netzbetreiber auf Ebene der Postleitzahlbereiche. Die Adaption erhebt hier nicht den Anspruch auf Vollständigkeit oder Detailtreue. Ziel ist es vielmehr, ein Portfolio an Szenarien zu erzeugen, die durch reale Footprints inspiriert sind und tatsächlich existierende Netzbetreiber approximieren können.

3.2.2.1 Multiregionaler Netzbetreiber [Szenario 6]



Dies ist ein Szenario, welches einen in mehreren Regionen Deutschlands aktiven Netzbetreiber abbildet. Die Versorgungsgebiete umfassen kleinere und mittelgroße Städte und Gemeinden, verteilt über das gesamte Bundesgebiet und decken insgesamt 409 Postleitzahlbereiche ab. Das Szenario zeichnet sich dadurch aus, dass zwar insgesamt eine große Anzahl Anschlüsse erschlossen ist, die Gebiete aber teilweise wenig dicht und vor allem nicht zusammenhängend erschlossen sind.

In der Variante „Grundgesamtheit“ umfasst das Szenario 2,4 Mio. Anschlüsse. In der Variante „Verfügbar“ 1,8 Mio. Anschlüsse und in der Variante „Aktiv“ 6000.000 Anschlüsse. Die Versorgungsquote liegt bei 76%, die Anschlussquote bei 25%.

Durch die Auswahl der Postleitzahlbereiche hat sich auch ergeben, dass es sich bei diesen Regionen um eine solche mit vergleichsweise hohem Take-Up handelt¹⁷. Daher werden hier auch die Varianten genauer angeschaut.

3.2.2.2 Regionaler Netzbetreiber Groß [Szenario 7]



Dies ist ein Szenario, welches einen großen regionalen Netzbetreiber in Süddeutschland abbildet. Das Versorgungsgebiet umfasst sowohl urbane als auch suburbane und viele eher rurale Regionen. Insgesamt werden 261 Postleitzahlbereiche versorgt. Das Szenario zeichnet sich dadurch aus, dass zwar eine große Anzahl Anschlüsse erschlossen sind, das Gebiet aber wenig dicht und nicht zusammenhängend erschlossen sind.

In der Variante „Grundgesamtheit“ umfasst das Szenario 1,2 Mio. Anschlüsse, in der Variante „Verfügbar“ 240.000 Anschlüsse und in der Variante „Aktiv“ 72.000 Anschlüsse. Die Versorgungsquote liegt bei 20%, die Anschlussquote bei 6%.

¹⁷ Es darf vermutet werden, dass sowohl die in den Gebieten vorgefundene Anschlussquote als auch Versorgungsquote kausal mit den Aktivitäten des Netzbetreibers in diesen Gebieten zusammenhängen.

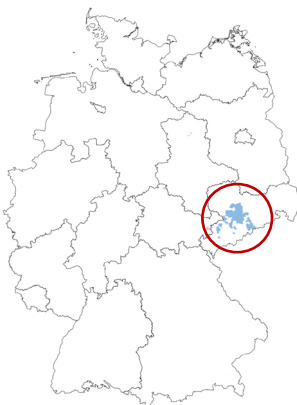
3.2.2.3 Regionaler Netzbetreiber Mittel [Szenario 8]



Dies ist ein Szenario, welches einen mittelgroßen regional tätigen Netzbetreiber abbildet, der im südlichen Nordrhein-Westfalen rund um Köln aktiv ist. Das Versorgungsgebiet geht aber über die Stadt Köln hinaus und umfasst auch Gebiete im näheren und fernerem Umland. Daher werde neben urbanen Gebieten auch suburbane und teils rurale Gebiete versorgt. Insgesamt umfasst es 42 Postleitzahlbereiche. Das Szenario zeichnet sich dadurch aus, dass eine relativ große Anzahl Anschlüsse in einem dichten Gebiet nahezu zusammenhängend erschlossen sind.

Das Szenario umfasst in der Variante „Grundgesamtheit“ 680.000 Anschlüsse in 42 Postleitzahlbereichen und in Variante „Verfügbar“ 290.000 Anschlüsse. In der Variante „Aktiv“ umfasst es 58.000 Anschlüsse. Die Versorgungsquote liegt bei 42%, die Anschlussquote bei 9%.

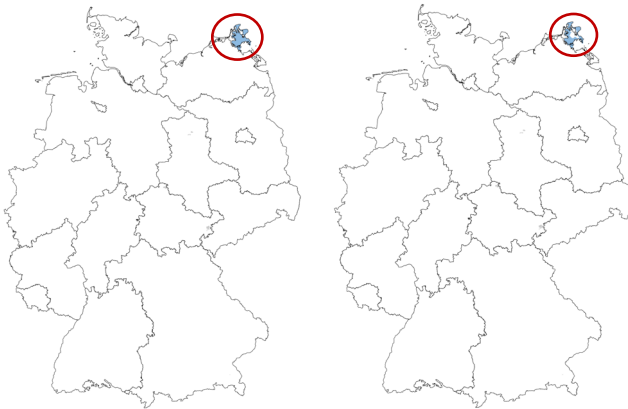
3.2.2.4 Regionaler Netzbetreiber Klein [Szenario 9]



Dies ist ein Szenario, welches einen kleinen regionalen Netzbetreiber aus Ostdeutschland abbildet. Das Versorgungsgebiet umfasst kleinere und größere Städte und deckt 43 Postleitzahlbereiche ab.

Das Szenario umfasst in Variante „Grundgesamtheit“ 350.000 Anschlüsse und in der Variante „Verfügbar“ 97.000 Anschlüsse. Die Variante „Aktiv“ umfasst 26.000 Anschlüsse. Die Versorgungsquote liegt bei 28%, die Anschlussquote bei 7%.

3.2.2.5 Regionaler Netzbetreiber Klein (mit und ohne Cherrypicking) [Szenarien 10a & 10b]

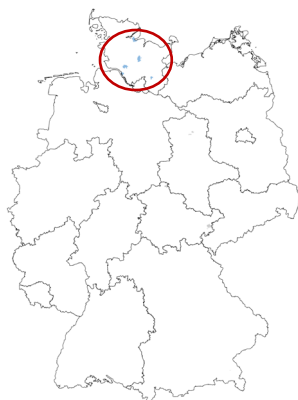


Dies sind zwei Szenarien, welche untersuchen sollen, welche Auswirkungen es hat, wenn einem lokalen Netzbetreiber durch z.B. Cherrypicking eines Wettbewerbers ein dichter besiedeltes Gebiet wegfallen würde. Das Basisszenario bildet einen Netzbetreiber auf einer Ostseeinsel ab. Dieses umfasst zehn Postleitzahlbereiche, einschließlich dem dichter besiedelten Hauptort der Insel und danach wird dieser Hauptort aus der Berechnung genommen, also nur noch neun Postleitzahlbereiche betrachtet.

nach wird dieser Hauptort aus der Berechnung genommen, also nur noch neun Postleitzahlbereiche betrachtet.

Das Szenario umfasst in der Variante „Grundgesamtheit“: 46.000 bzw. 34.000 Anschlüsse und in der Variante „Verfügbar“ 28.000 bzw. 16.000 Anschlüsse. Die Variante „Aktiv“ umfasst 10.000 bzw. 6.000 Anschlüsse. Die Versorgungsquote liegt bei 60% bzw. 46%, die Anschlussquote bei 21% bzw. 16%.

3.2.2.6 Lokaler Netzbetreiber Klein [Szenario 11]



Dies ist ein Szenario, welches einen kleinen lokalen Netzbetreiber im Norden Deutschlands abbildet. Das Versorgungsgebiet umfasst kleinere und größere Städte und Gemeinden und deckt 8 Postleitzahlbereiche, welche nicht zusammenhängend sind, ab.

In der Variante „Grundgesamtheit“ umfasst das Szenario 107.000 Anschlüsse und in der Variante „Verfügbar“ 67.000 Anschlüsse. Die Variante „Aktiv“ umfasst 16.000 Anschlüsse. Die Versorgungsquote liegt bei 63%, die Anschlussquote bei 15%.

Durch die Auswahl der Postleitzahlbereiche hat sich auch ergeben, dass es sich bei dieser Region um eine solche mit vergleichsweise hohem Take-Up handelt. Daher werden hier auch die Varianten genauer angeschaut.

4 Szenarien und Modellergebnisse

In diesem Abschnitt werden die aus der Modellierung mit den WIK-NGN-Modell berechneten Ergebnisse für die unterschiedlichen Szenarien miteinander verglichen. Ziel ist es, Erkenntnisse zu gewinnen über den Einfluss

- der Größe eines Netzbetreibers
- der Backhaul-Länge und einer eventuellen Remote-Anbindung
- von Cherry Picking durch einen Wettbewerber
- einer Vergrößerung des Footprints
- des Take-Up (Versorgungsquote, Anschlussquote)

auf die Backhauling-Kosten.

Hierzu werden die Anzahl der Anschlüsse, differenziert nach den 3 Varianten (Grundgesamtheit, verfügbare Anschlüsse, Aktive Anschlüsse) und die Koordinaten der definierten Szenarien als Eingangsparameter für das WIK-NGN-Modell verwendet, dieses entsprechend dem skizzierten Netzbetreibertypen parametrisiert in Bezug auf die Anzahlen Standorte auf den höheren Netzebenen und die Berechnungen durchgeführt. Es werden lediglich die Privatkunden- und Geschäftskunden-Anschlüsse berücksichtigt – andere Kostenträger, wie beispielsweise Mietleitungen finden in den Berechnungen keine Berücksichtigung. Die Ergebnisse zeigen Preis-Relationen und keine Ergebnisse in Euro an.

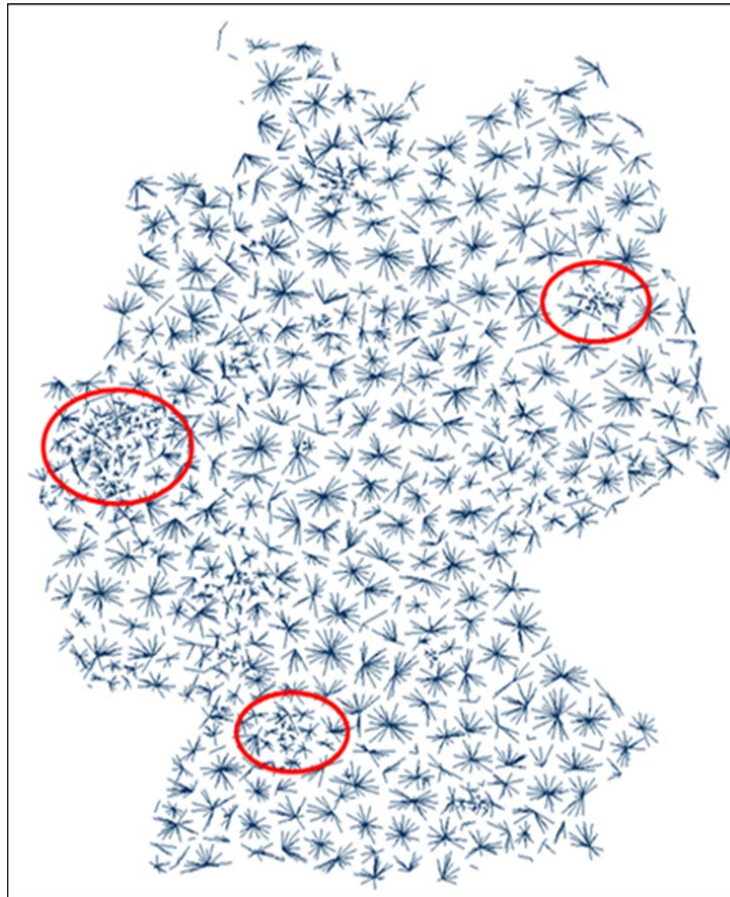
Es werden also für die Vergleichbarkeit der Modellergebnisse die Netzbetreibertypen nach den folgenden Kriterien kategorisiert, um eine Vergleichbarkeit der Backhaul-Leistung und damit Backhaul-Kosten für die Anbindung von Kunden an ein Kernnetz abzubilden (vgl. auch Abschnitt 3.1:

- alle kleinen Netzbetreiber wurden vollständig mit ihrer Infrastruktur berücksichtigt (inkl. Kosten für aktives Equipment),
- bei den mittleren und größeren regionalen Netzbetreibern wurden die Kosten der obersten Kernnetzebene nicht berücksichtigt,
- bei den großen Netzbetreibern wurden ausschließlich die Kosten für die Aggregationsnetze berücksichtigt.

Da die Modellergebnisse relativ (zum nationalen Monopolisten) ausgewiesen werden, ist insbesondere bei den kleinen Netzbetreibertypen sinnvoll davon auszugehen, dass das gesamte Versorgungsgebiet sinnvoll mit einem durchschnittlichen Aggregationsnetz-Cluster zu vergleichen ist. Um dies zu verdeutlichen, verweisen wir auf die Abbildung 6. Diese illustriert die logische Realisierung von Aggregationsnetzen im NGN-Modell für einen nationalen Monopolisten. Dabei repräsentiert jeder „Stern“ ein Aggregationsnetz-

Cluster, in welchem der Verkehr aus den Anschlussbereichen auf die nächsthöhere Netzebene transportiert wird. Vergleicht man die Darstellung mit den in Abschnitt 3.2 dargestellten Versorgungsgebieten, kann die für die Modellierung vorgenommene Typisierung nachvollzogen werden.

Abbildung 6: Logische Realisierung von Aggregationsnetzen am Beispiel des nationalen Monopolisten



Anmerkung: Die roten Kreise heben Ballungsgebiete mit nah beieinanderliegenden Anschlussbereichen hervor; Die „Sterne“ werden kleiner und dichter.

Quelle: WIK

Die nachfolgende Tabelle 1 gibt einen Überblick, welche Netzsegmente in den Backhaul-Kosten der modellierten Betreiber berücksichtigt sind.

Tabelle 1: Kategorisierung der Netzbetreibertypen und kostenseitig berücksichtigte Netzsegmente

Szenario		Aggregationsnetz	inkl. Anbindung an oberste Netzebene	gesamte Infrastruktur
1-Nationaler Monopolist	generisch	X		
2-Regionaler Netzbetreiber Urban	generisch	X	X	
3-Regionaler Netzbetreiber Rural	generisch			X
4-Lokaler Netzbetreiber Groß	generisch			X
5a-Lokaler Netzbetreiber Klein (Basis)	generisch			X
5b-Lokaler Netzbetreiber Klein (Erweitert)	generisch			X
6-Multiregionaler Netzbetreiber	adaptiert	X		
7-Regionaler Netzbetreiber Groß	adaptiert	X	X	
8-Regionaler Netzbetreiber Mittel	adaptiert			X
9-Regionaler Netzbetreiber Klein	adaptiert			X
10a-Regionaler Netzbetreiber Klein (ohne Cherry picking)	adaptiert			X
10b-Regionaler Netzbetreiber Klein (mit Cherry picking)	adaptiert			X
11-Lokaler Netzbetreiber Klein	adaptiert			X

Quelle: WIK

4.1 Vergleich der Netzbetreibertypen – Backhaul-Kosten bei Versorgung der Grundgesamtheit im Footprint

Telekommunikationsnetze gehen mit relevanten economies of scale einher. Daher ist zu erwarten, dass die Größe eines Netzbetreibers – ausgedrückt in der Zahl der Endkunden – sich relevant in den relativen Kostenvorteilen niederschlägt. Wie bereits in Abschnitt 3.1 erläutert, liegen für die modellbasierte Analyse auf Ebene der PLZ Nachfragedaten für unterschiedliche Abgrenzungen vor: (a) Grundgesamtheit: Gesamtheit aller Haushalte und Unternehmen, (b) verfügbare FTTH-Anschlüsse sowie (c) aktivierte FTTH-Anschlüsse.

Zur Untersuchung des Einflusses der Größe eines Netzbetreibers auf die Backhauling-Kosten stellen wir hier zunächst auf ein Szenario ab, das die Gesamtheit aller Haushalte und Unternehmen in den jeweiligen PLZ-Regionen beinhaltet und somit hypothetisch¹⁸ für jeden modellierten Netzbetreiber ein Monopol abbildet.¹⁹

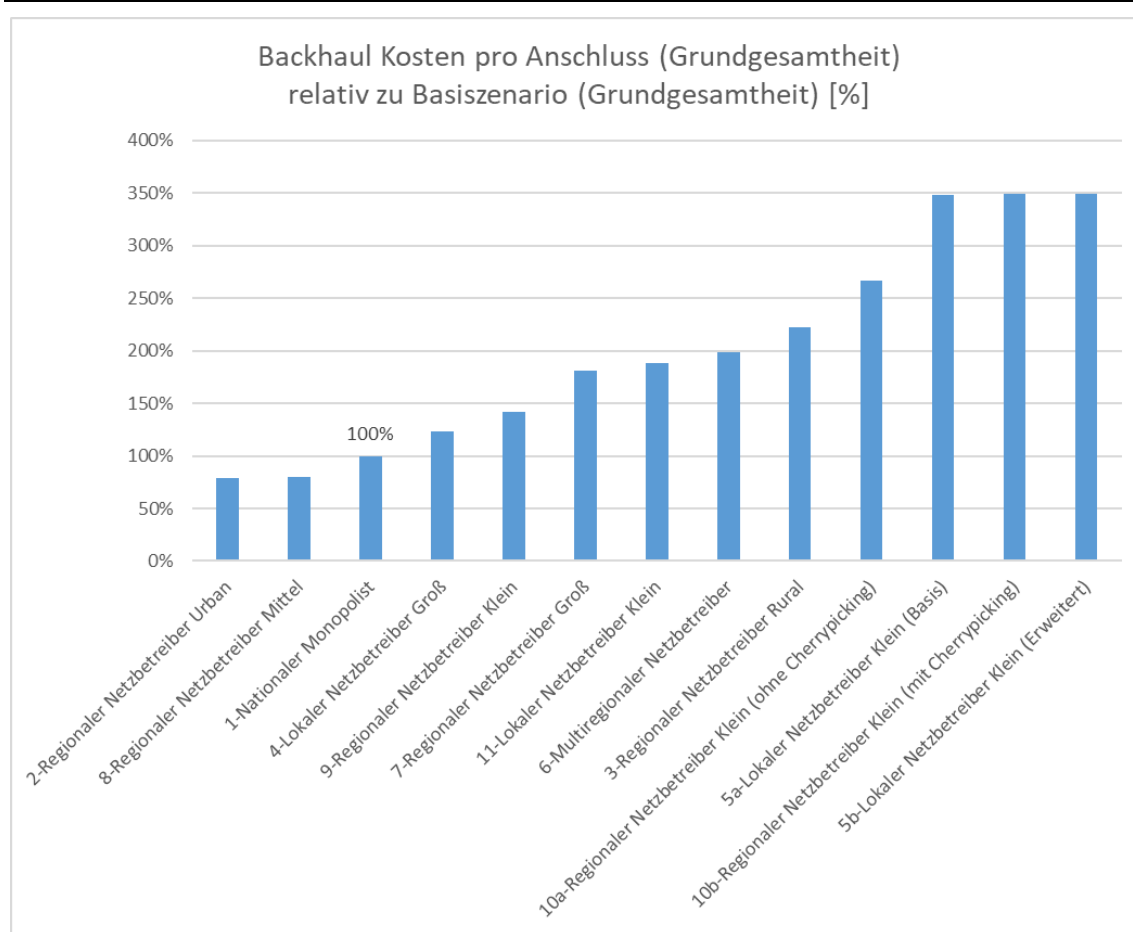
Da der Vergleich ausschließlich auf die Backhaul-Kosten abstellt und die Kosten des Anschlussnetzes keine Berücksichtigung finden, erwarten wir, dass die Lage der Anschlussbereiche zueinander und damit die Backhaul-Länge sowie die Größe der Versorgungsgebiete (Anzahl Nachfrager) einen relevanten Einfluss haben.

¹⁸ Hier wird letztlich davon abstrahiert von tatsächlichen Ausbaubeobachtungen, denen zufolge Versorgungsgebiete zum Teil von mehreren Unternehmen ausgebaut wurden (anteilig oder auch teilweise überbaut). Eine Annäherung an diese Beobachtung soll mit dem Szenario 10 b (CherryPicking) erreicht werden.

¹⁹ In Abschnitt 4.1.3 wird analysiert, wie sich die Erkenntnisse ändern, wenn diese Annahme fallen gelassen wird und stattdessen die Marktanteile in den jeweiligen Versorgungsgebieten berücksichtigt werden.

In der Darstellung der Ergebnisse sind die berechneten Backhauling-Kosten auf das Szenario 1 normalisiert und miteinander verglichen. Erwartungsgemäß zeigt der nationale Monopolist (1) mit 100% geringe Kosten, jedoch sind die Kosten beim urbanen regionalen Netzbetreiber (2) und beim mittelgroßen regionalen Netzbetreiber geringer, da in diesen beiden Szenarien überwiegend verbundene, urbane Bereiche versorgt werden, während der nationale Monopolist alle Facetten von rural bis urban abbilden muss. Die höchsten Kosten zeigt der kleine lokale Netzbetreiber (5a & 5b) zusammen mit dem kleinen regionalen Netzbetreiber mit Cherrypicking (10b). Alle drei Szenarien bilden rurale Gebiete ab. Siehe hierzu Abbildung 7.

Abbildung 7: Backhauling-Kosten pro Anschluss nach Netzbetreibertyp

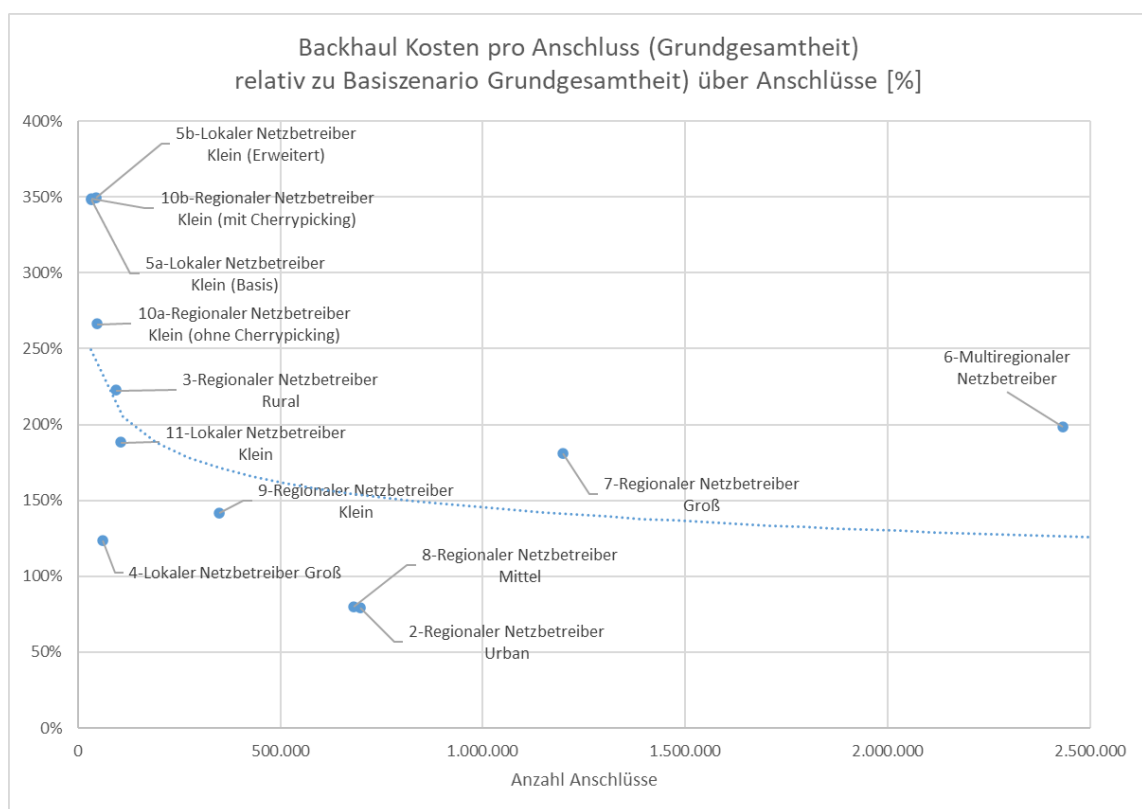


Quelle: WIK

Die nachfolgende Abbildung 8 zeigt die Modellergebnisse für die verschiedenen Netzbetreibertypen anhand der Größe eines Netzbetreibers i.S.v. Anzahl bedienter Anschlüsse und den Backhauling-Kosten. Aus Gründen über Übersichtlichkeit wurde das Szenario 1 „Nationaler Monopolist“ aus der Darstellung Abbildung 8 entfernt, es „befindet“ sich rechts außerhalb der Grafik beim Punkt 100% und 54,7 Mio. Anschlüsse. Auch hier wurden die Backhauling-Kosten auf den nationalen Monopolisten mit 100% normalisiert.

Die eingefügte Trendlinie zeigt hier einen deutlichen Zusammenhang zwischen den beiden Variablen. Einige Szenarien weichen von der dargestellten Trendlinie ab. Die Szenarien 2, 4 und 8 liegen dabei deutlich unterhalb der Trendlinie und sind daher günstiger, was damit begründet werden kann, dass es sich bei diesen Szenarien um solche handelt, die dicht besiedelte und zusammenhängende Gebiete versorgen. Die Szenarien 7 und 6 liegen oberhalb der Trendlinie und sind daher teurer, was damit begründet werden kann, dass es sich bei diesen Szenarien zwar um solche mit einer relativ großen Anzahl Anschlüsse handelt, diese aber in teilweise dünner besiedelten Gebieten und vor allem nicht zusammenhängend liegen.

Abbildung 8: Backhauling-Kosten pro Anschluss nach Netzbetreibertyp in Relation zur Anzahl Anschlüsse



Quelle: WIK

Insgesamt können also durch diese Analyse drei Effekte auf die Backhauling-Kosten identifiziert werden:

- die Anzahl der durch einen Netzbetreiber versorgten Anschlüsse senkt die Backhauling-Kosten, darüber hinaus
- spielen die Dichte und
- die flächige Verteilung der Anschlussbereiche eine wesentliche Rolle.

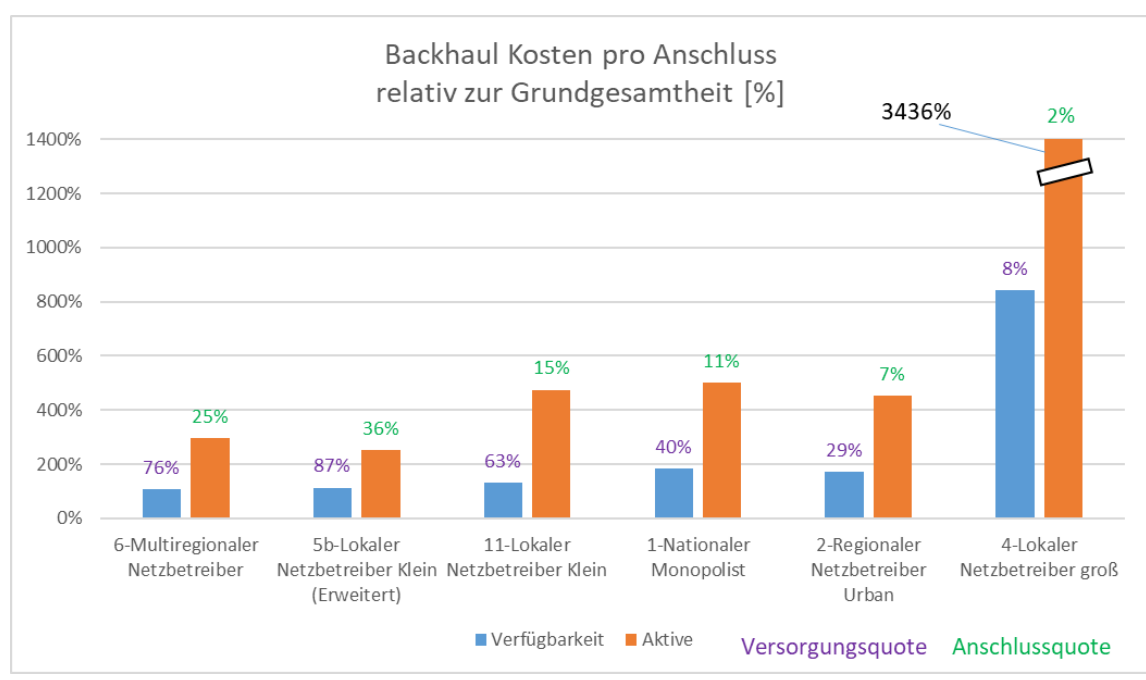
4.2 Vergleich der Netzbetreibertypen – Berücksichtigung von Verfügbarkeit und Marktanteilen

In diesem Abschnitt wollen wir die Bedeutung der Marktanteile in Bezug auf die Backhauling-Kosten beleuchten. Aus Analysen der Kosten von Anschlussnetzen ist bekannt, dass eine deutliche Abhängigkeit der Kosten pro Anschluss von der angenommenen Take-Up Rate besteht. So führt ein hoher Marktanteil immer zu geringen Kosten pro Anschluss im Anschlussnetz, da die meisten Kosten, hier vor allem die Tiefbaukosten, weitestgehend unabhängig von der Anzahl der Anschlüsse ist, die Zahl der Anschlüsse demgegenüber als Kostenteiler fungieren.

Aufgrund des bestehenden infrastrukturbasierten Wettbewerbs ist auch mittel- oder langfristig nicht davon auszugehen, dass ein Netzbetreiber die Grundgesamtheit der Nachfrager in seinem Footprint als Kunden für sich gewinnen kann. Statt eine Prognose von Marktanteilen vorzunehmen, werden hier die Backhaul-Kosten der verschiedenen Netzbetreibertypen für unterschiedliche Marktanteile miteinander verglichen. Dazu wird eine geringere Marktdurchdringung in zwei Stufen untersucht. Einerseits die Anzahl der verfügbaren Glasfaseranschlüsse, welche über die Versorgungsquote angenommen werden und andererseits die Anzahl der aktiven Glasfaseranschlüsse, welche über die Anschlussquote angenommen werden. Die Versorgungsquoten liegen je nach Szenario zwischen 7% und 87%, die Anschlussquoten liegen zwischen 2% und 36%, jeweils bezogen auf die Grundgesamtheit des Szenarios. Diese Ergebnisse werden denen aus dem des hypothetischen Monopolisten, der die Grundgesamtheit an Kunden in seinem Versorgungsgebiet bedient (Abschnitt 4.1), gegenübergestellt.

In einem ersten Schritt wird der Einfluss des Marktanteils bei bestehender Verfügbarkeit und Aktivierung von Anschlüssen auf die Backhaul-Kosten betrachtet. In Abbildung 9 werden für ausgewählte Szenarien mit besonders hohen bzw. niedrigen Versorgungs- und Anschlussquoten die daraus resultierenden Backhaul-Kosten dargestellt. Die Höhe der Säulen repräsentiert die Backhauling-Kosten mit reduziertem Marktanteil relativ zu den Backhauling-Kosten der Grundgesamtheit. Die **violett** dargestellten Prozentwerte zeigen die zugrundeliegenden Annahmen zur Versorgungsquote je Szenario, die **grün** dargestellten Prozentwerte zeigen die zugrundeliegenden Annahmen zur Anschlussquote je Szenario. 100% Backhaul-Kosten pro Anschluss repräsentieren den Fall, dass der Netzbetreiber in seinem Versorgungsgebiet als Monopolist agiert und 100% Haushalte und Unternehmen bedient:

Abbildung 9: Backhaul-Kosten pro Anschluss bei unterschiedlichen Take-Ups

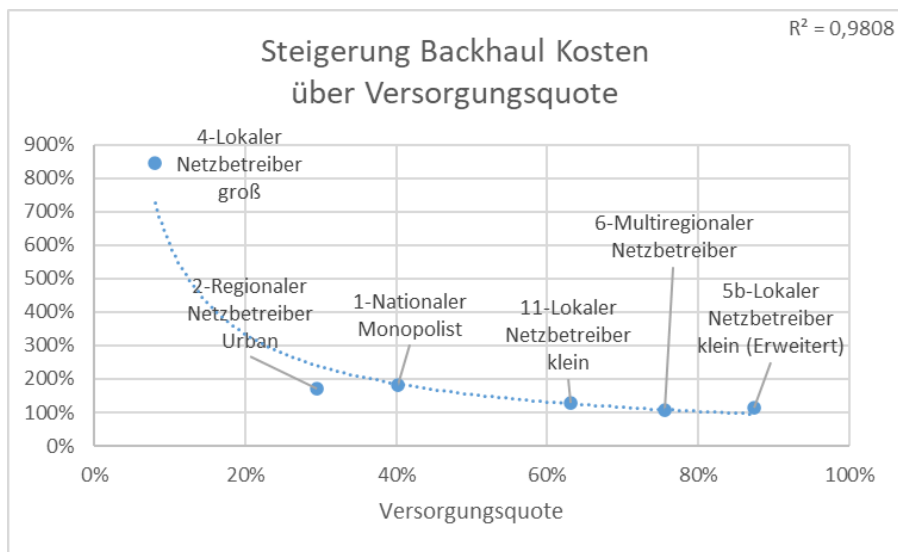


Quelle: WIK

Mit einer geringen Versorgungs- oder Anschlussquote gehen immer auch relativ zur Grundgesamtheit hohe Backhauling-Kosten einher.

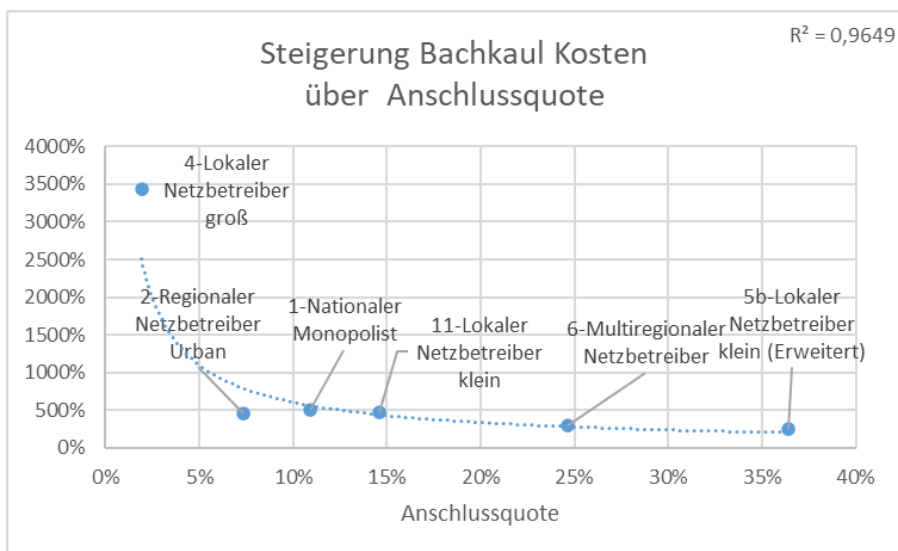
Die nächsten beiden Abbildungen verdeutlichen den Zusammenhang zwischen Take-Up und Steigerung der Backhaul-Kosten pro Anschluss. Je niedriger der Take-Up, umso höher fallen die Backhaul-Kosten pro Anschluss aus. Die unterschiedliche Skalierung der Ordinate in den beiden Abbildungen verdeutlicht, wie stark die Unterscheidung der Nachfrage in die Kategorien „Grundgesamtheit“, „verfügbar“ und „aktiv“ auf die Backhaul-Kosten pro Anschluss hebt.

Abbildung 10: Steigerung der Backhaul-Kosten pro Anschluss bei Berücksichtigung der Versorgungsquote bzw. Anschlussquote (Aktivierung)



Quelle: WIK

Abbildung 11: Steigerung der Backhaul-Kosten pro Anschluss bei Berücksichtigung der Anschlussquote

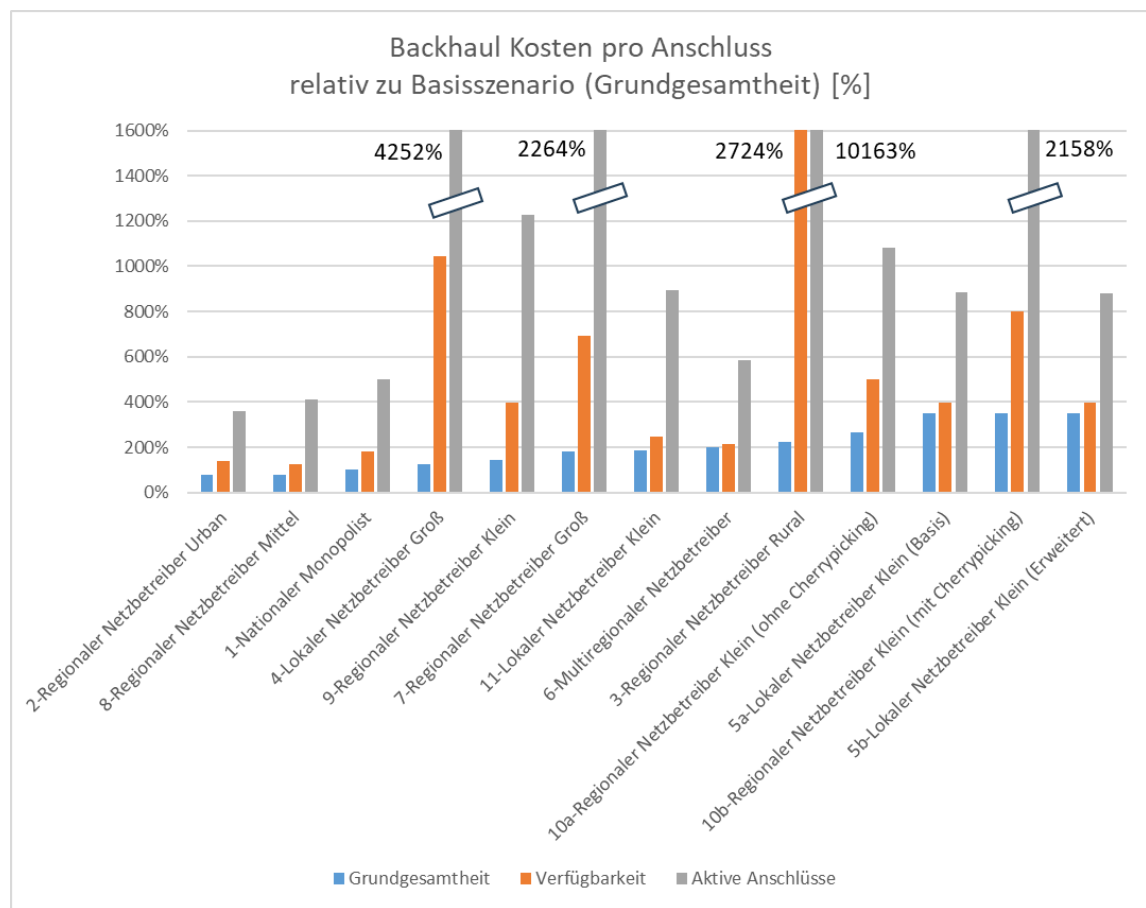


Quelle: WIK

Die Abbildung 12 zeigt in Analogie zu Abbildung 7 die unterschiedliche Entwicklung der Backhaul-Kosten pro Anschluss, normiert auf das Basisszenario in der Variante „Grundgesamtheit“. Hier zeigt sich, dass durch niedrige Take-Up Raten auch Szenarien, welche gemäß der Variante „Grundgesamtheit“ (blaue Säulen) relativ niedrige Backhaul-Kosten

aufweisen überproportional hohe Backhaul-Kosten entwickeln können (orange oder graue Säulen).

Abbildung 12: Backhaul-Kosten pro Anschluss normiert auf das Basisszenario (Grundgesamtheit)



Quelle: WIK

Die Reihung der Vorteilhaftigkeit ändert sich durch Berücksichtigung von aktueller Verfügbarkeit (Versorgungsquote) und Kontrahierungsquote (Anschlussquote). Beispielsweise Szenario 4 liegt gemäß Variante „Grundgesamtheit“ an der vierten Stelle, was angesichts der Typisierung als „großer“ lokaler Netzbetreiber den Erwartungen entspricht. Unter Berücksichtigung der „Verfügbarkeit“ belegt dieser Netzbetreibertyp jedoch nur noch den vorletzten Platz. Gleiches gilt für das Szenario 5b: Dieses belegt in der Variante „Grundgesamtheit“ den letzten Platz, landet aber unter Berücksichtigung der Versorgungsquote im guten Mittelfeld. Diese Beobachtungen zeigen, dass die Zahl bedienter Kunden, die Bedeutung des Footprints – charakterisiert durch die Lage und Dichte der Versorgungsgebiete – durch den Vermarktungserfolg überkompensiert werden kann. Insbesondere der infrastrukturbasierte Wettbewerb, der in urbanen Regionen tendenziell ein höheres Gewicht hat, macht die Größenvorteile, die in Abschnitt 4.1 berechnet wurden, unter den aktuellen Bedingungen nicht erreichbar.

4.3 Bedeutung der Trassenlängen (Layer-0-Kosten)

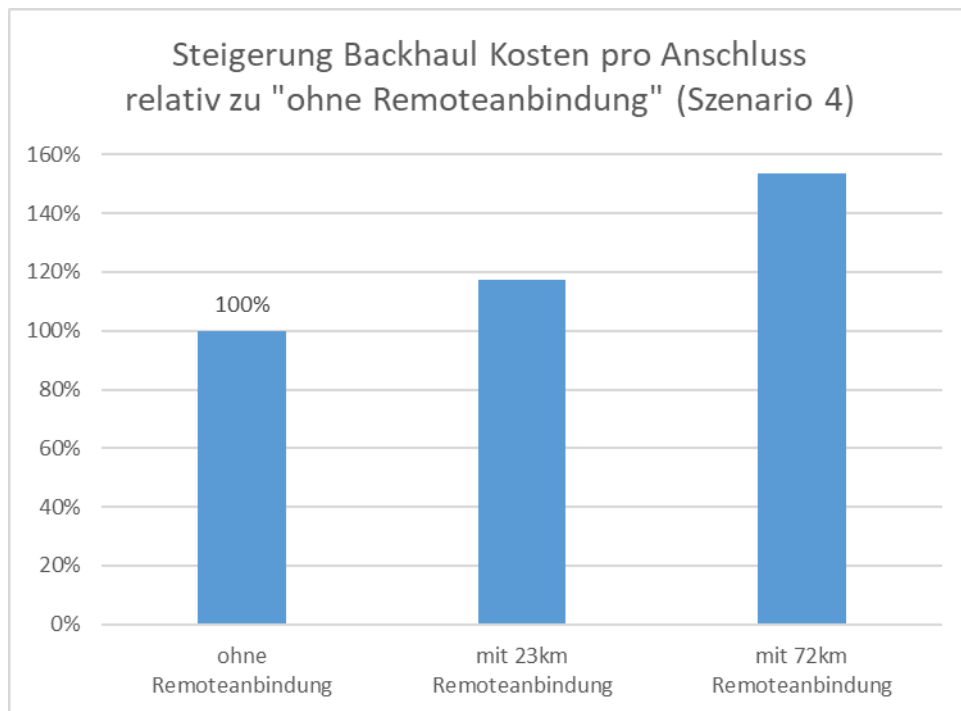
Investitionen in die physikalische Infrastruktur haben bei Telekommunikationsnetzen ein sehr großes Gewicht. Wie sich diese auf die Backhaul-Kosten auswirken und wie groß die Unterschiede zwischen den verschiedenen modellierten Netzbetreibertypen sind, wird nachfolgend untersucht.

4.3.1 Einfluss einer Remote-Anbindung

In diesem Abschnitt wollen wir untersuchen, welche Bedeutung der Anbindung eines Versorgungslinks (Remote-Anbindung) an einen weiter entfernten Netzknoten – sei es zur Übergabe an einen Wholesale-Nachfrager oder einen Internetaustauschknoten – kostenseitig zukommt. Dazu untersuchen wir den Einfluss der Länge des Backhaulings (Layer 0) der Remote-Anbindung anhand der Layer-0-Kosten.

Die Backhauling-Längen werden durch das WIK-NGN-Modell endogen bestimmt und wie auch die Kosten für das Layer 0 als Ergebnis ausgegeben. Den Einfluss einer Remote-Anbindung haben wir über eine modellexogene Nebenrechnung bestimmt, hierbei aber die vom NGN-Modell verwendeten Parameter für Trassenkosten und Kabelkosten verwendet. Die Annahme ist, dass sich in Szenario 5 „Lokaler Netzbetreiber Groß“, wobei es sich um eine mittelgroße Stadt im Südosten von Rheinland-Pfalz handelt, als Grundannahme Kernnetzstandorte innerhalb des versorgten Gebiets befinden. Dann wurden die Entfernungen zu zwei größeren Städten bestimmt unter der Annahme, dass ich alternativ erst dort remote gelegene Kernnetzstandorte befinden und der Verkehr dorthin transportiert werden muss. Als Entfernungen wurden 23km zur nächstgelegenen größeren Stadt und 72km zur nächstgelegenen Großstadt identifiziert. Daraus wurden dann die Kosten für eine redundante Remote-Anbindung der versorgten Anschlussbereiche über diese beiden Distanzen modellexogen berechnet. Im Ergebnis zeigt sich eine deutliche Steigerung der Backhaul-Kosten pro Anschluss um 17% bzw. 54%.

Abbildung 13: Einfluss einer Remote-Anbindung



Quelle: WIK

Eine längere Remote-Anbindung an einen entfernten BNG erhöht die Kosten also signifikant. Eine Minimierung der Entfernungen wirken sich positiv auf die Backhauling-Kosten aus.

4.3.2 Einfluss der Trassenlänge

In einer zweiten Betrachtung sollen die vom Modell bestimmten Längen und Kosten näher analysiert werden. Hierzu werden die Layer-0-Längen, also die vom Modell endogen bestimmten Backhaul-Längen, einerseits den gesamten Backhaul-Kosten, andererseits den Layer-0-Kosten gegenübergestellt. Die Layer-0-Kosten machen je nach Szenario zwischen 13% und 68% der gesamten Backhauling-Kosten aus, siehe Tabelle 2.

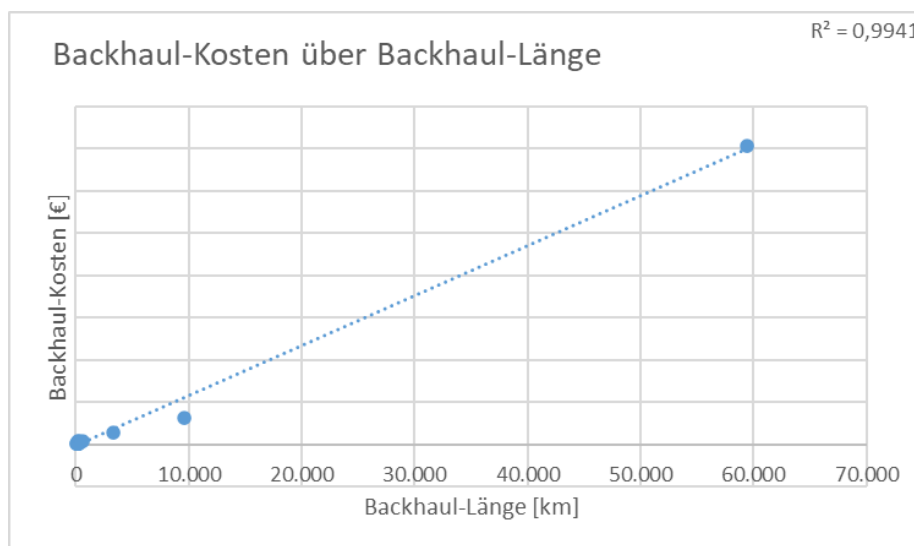
Tabelle 2: Anteil Trassenkosten an den gesamten Backhaul-Kosten (Grundgesamtheit)

Name	ASB	Anschlüsse Grundgesamtheit	Anteil Layer 0 an Backhauling-Kosten
1-Nationaler Monopolist	8.169	54.742.985	38%
2-Regionaler Netzbetreiber Urban	54	697.434	13%
3-Regionaler Netzbetreiber Rural	32	94.994	43%
4-Lokaler Netzbetreiber Groß	5	61.534	16%
5a-Lokaler Netzbetreiber Klein (Basis)	5	32.365	40%
5b-Lokaler Netzbetreiber Klein (Erweitert)	8	45.148	50%
6-Multiregionaler Netzbetreiber	409	2.432.091	68%
7-Regionaler Netzbetreiber Groß	261	1.198.821	55%
8-Regionaler Netzbetreiber Mittel	42	680.975	21%
9-Regionaler Netzbetreiber Klein	43	349.367	46%
10a-Regionaler Netzbetreiber Klein (ohne Cherrypicking)	10	46.577	50%
10b-Regionaler Netzbetreiber Klein (mit Cherrypicking)	9	34.129	54%
11-Lokaler Netzbetreiber Klein	8	106.647	54%

Quelle: WIK

Die Zusammenhänge zwischen der Backhaul-Länge und den Kosten sind in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt.

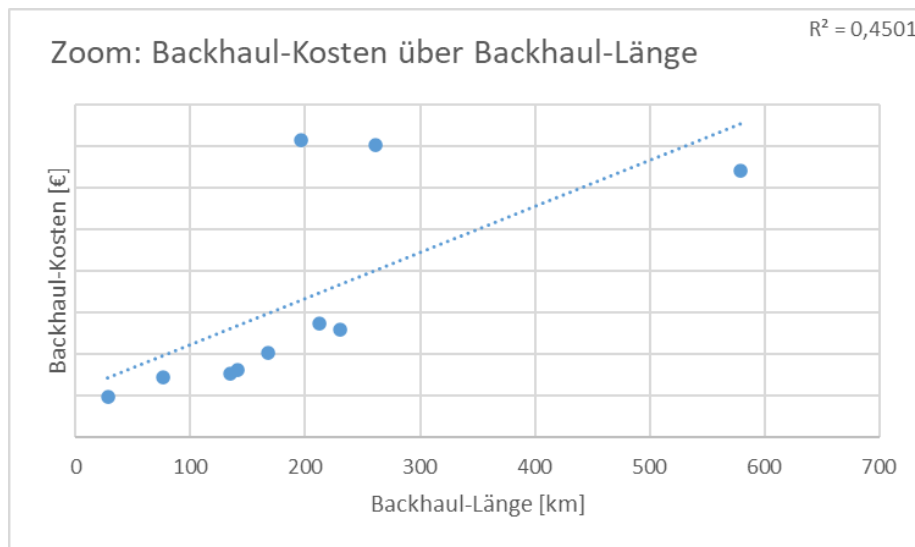
Abbildung 14: Backhaul-Kosten über der Backhaul-Länge



Quelle: WIK

Zur besseren Übersichtlichkeit wurde der untere linke Bereich der Abbildung 14 in Abbildung 15 vergrößert dargestellt.

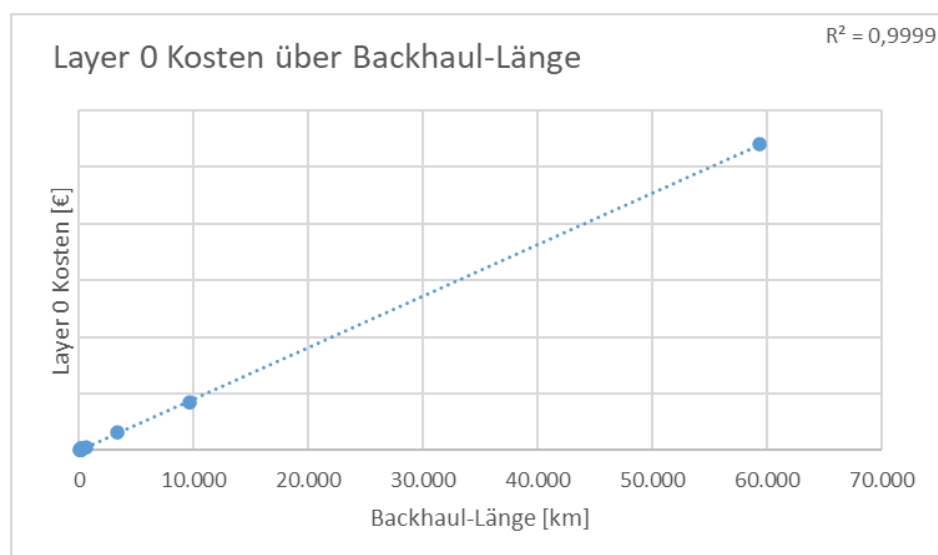
Abbildung 15: Zoom - Backhaul-Kosten über Backhaul-Länge



Quelle: WIK

Es zeigt sich ein nahezu linearer Zusammenhang zwischen der Backhauling-Länge und den Backhauling-Kosten. Die Abweichungen von der Trendline können durch die Kosten des aktiven Equipments, welches abhängig ist von der Anzahl Anschlüsse und nicht von den Längen erklärt werden, wie die beiden folgenden Abbildungen zeigen.

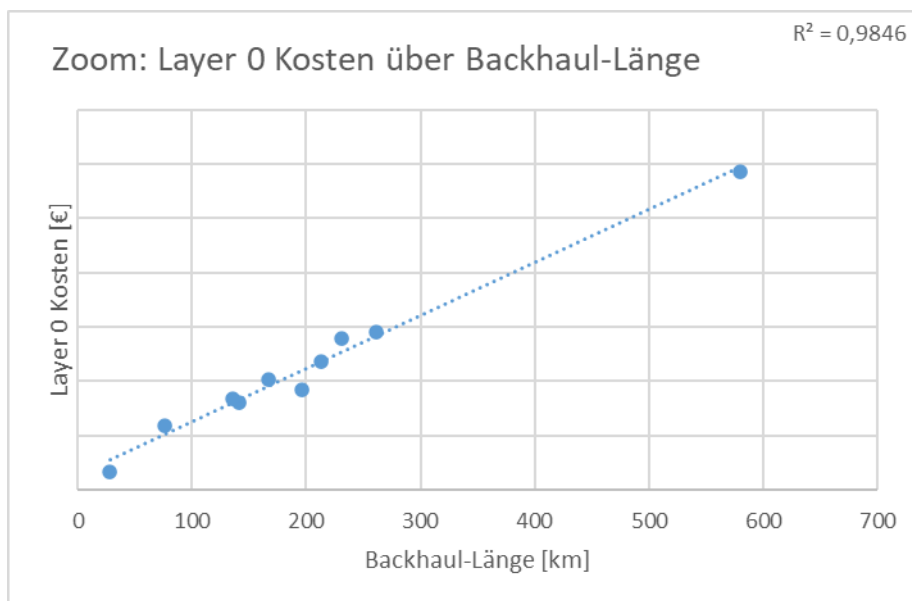
Abbildung 16: Layer 0 Kosten über der Backhaul-Länge



Quelle: WIK

Zur besseren Übersichtlichkeit wurde der untere linke Bereich der Abbildung 16 in Abbildung 17 vergrößert dargestellt.

Abbildung 17: Zoom – Layer 0 Kosten über der Backhaul-Länge



Quelle: WIK

Es zeigt sich ein praktisch linearer Zusammenhang zwischen Backhaul-Länge und den Layer 0 Kosten, wenn das aktive Equipment außer Acht gelassen wird.

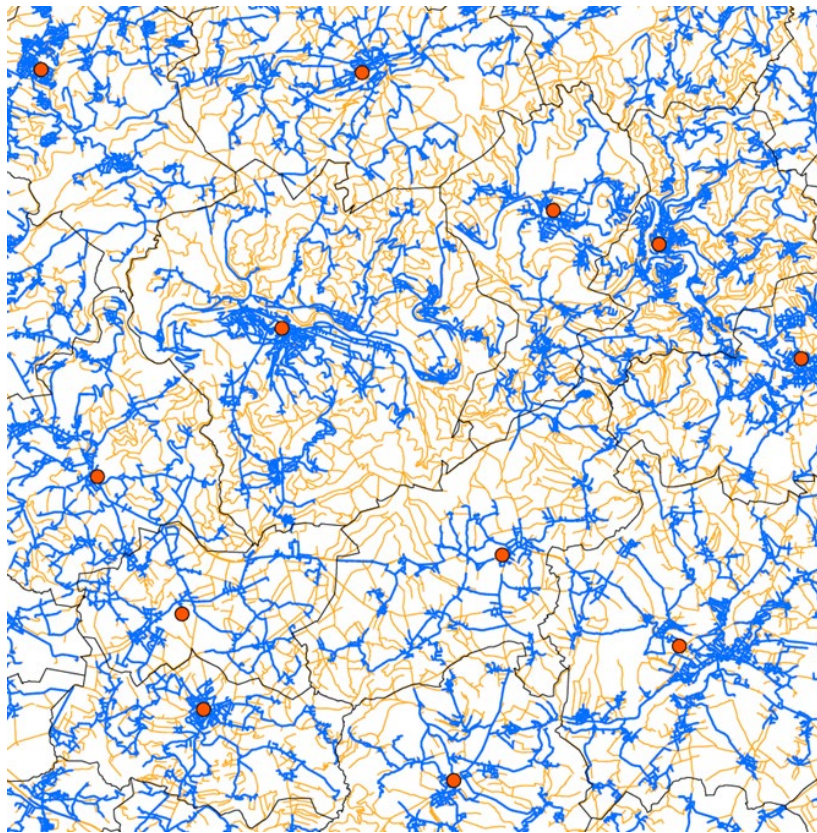
Diese Untersuchung unterstützt die bereits zuvor getroffene Feststellung, dass neben der bloßen Anzahl Anschlüsse auch die räumliche Erstreckung und deren Verteilung einen wesentlichen Einfluss auf die Höhe der Backhauling-Kosten haben.

4.3.3 Bedeutung von gemeinsamer Trassennutzung

Es ist aber festzuhalten, dass die Layer-0-Kosten in der Modellierung tendenziell überschätzt werden, weil modellseitig immer ein vollständig isolierter Ausbau der Grabeninfrastruktur angenommen wird, während in der Realität auch die Möglichkeit für einen gemeinsamen Ausbau besteht, wenigstens aber Tiefbaukosten eingespart werden können, indem z.B. Leerrohrkapazitäten zur Nutzung für das Backhauling vorgesehen werden. Die Abbildung 18 zeigt eine rurale Konstellation. Die blauen Straßenabschnitte sind solche, die bereits durch das Anschlussnetz ausgebaut sind, die gelben Straßenabschnitte sind nicht durch das Anschlussnetz genutzten Straßenabschnitte und die roten Punkte stellen MPoP-Standorte dar. Um MPoP-Standorte über ein Backhaul miteinander zu verbinden, sind demnach selbst im ruralen Umfeld²⁰ – unter der Annahme, dass zur Nutzung gemeinsamer Trassen Umwege in Kauf genommen werden – nur vergleichsweise wenige orange Strecken zusätzlich nötig, um eine Verbindung herstellen zu können.

²⁰ Im urbanen Umfeld – d.h. Städten mit mehreren MPoP – kann der Backhaul nahezu vollständig gemeinsam mit Trassen des Anschlussnetzes realisiert werden.

Abbildung 18: Gemeinsame Trassennutzung durch Anschlussnetz und Backhaul



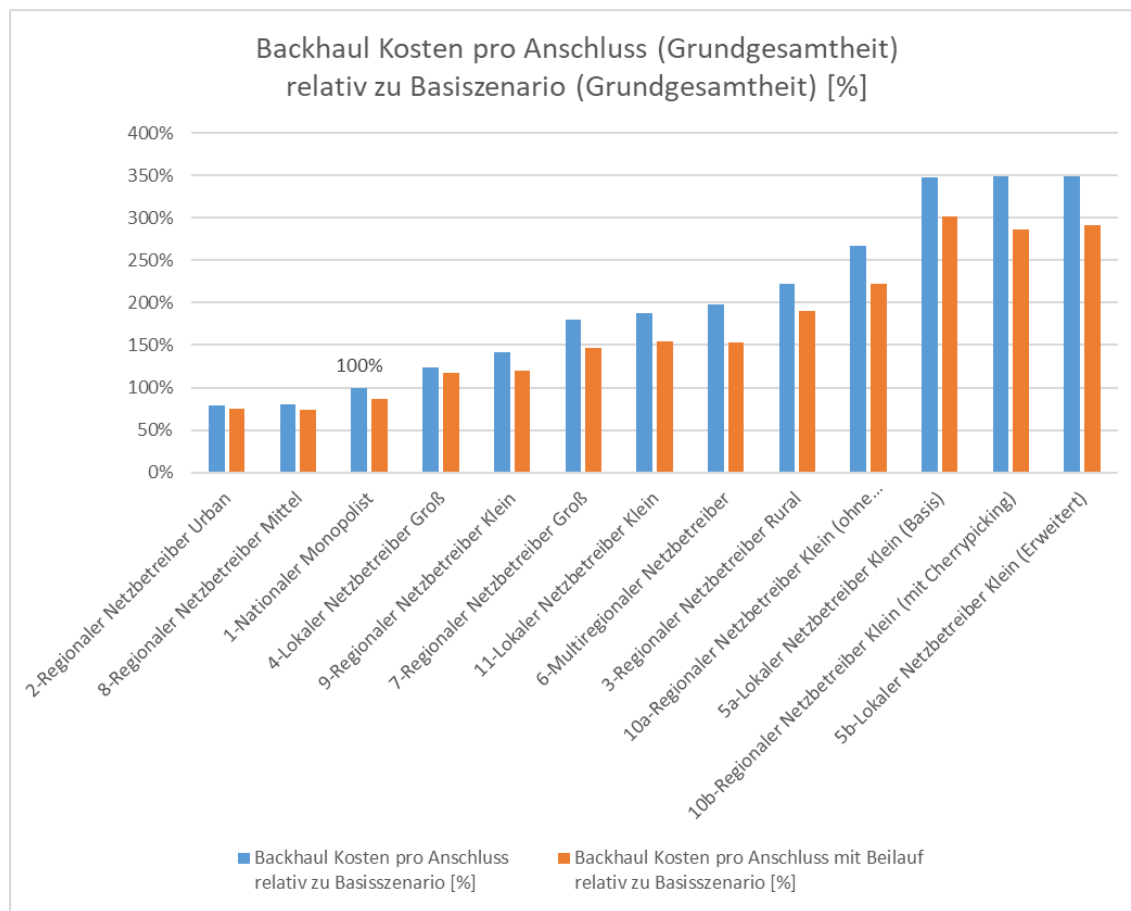
Quelle: WIK

Daher haben wir uns abschließend angeschaut, welchen Einfluss die Annahme, dass ein großer Teil der Infrastruktur-Investitionen durch eine gemeinsame Trassennutzung oder Verlegung mit dem Anschlussnetz oder einer anderen Versorgungsnetzstruktur (z. B. Wasser-, Gas-, Stromanschlussnetz) auf die Backhaul-Kosten hat. Dazu wurden in diesem Szenario die Layer-0-Kosten beispielhaft um 2/3 gekürzt.²¹

Das Ergebnis ist in der Abbildung 19 dargestellt. Die blauen Säulen zeigen die Backhaul-Kosten pro Anschluss analog der Abbildung 7, die orangen Säulen zeigen die durch einen Beilauf reduzierten Kosten. Die Ergebnisse basieren jeweils auf den Varianten „Grundgesamtheit“, sind auf die Backhaul-Kosten je Anschluss für das Szenario 1 „Nationaler Monopolist“ gleich 100% normiert und nach den Kosten ohne Beilauf aufsteigend sortiert.

²¹ Bei der Kürzung im Umfang von 2/3 handelt es sich um eine Annahme des WIK. Der Umfang derartiger Einsparungen hängt relevant von den betrachteten Versorgungsgebieten und dem Ausbau der Anschlussnetzes ab. Letzteres war nicht Gegenstand dieser Studie.

Abbildung 19: Einfluss von gemeinsamer Trassennutzung (Beilauf) auf die Backhauling-Kosten pro Anschluss



Quelle: WIK

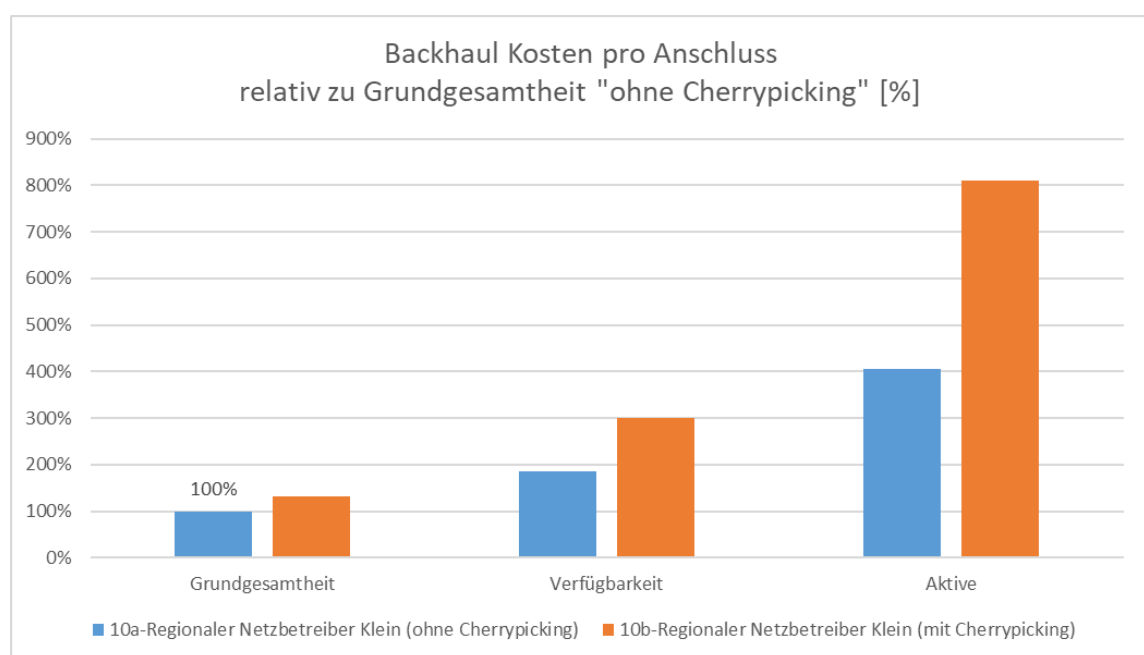
Es zeigt sich, dass die grundsätzlichen Zusammenhänge durch die Beachtung der gemeinsamen Trassennutzung erhalten bleiben, es einen Niveaueffekt hat (Backhaul-Kosten pro Anschluss sinken leicht durch die Berücksichtigung des Beilaufs) und es in Einzelfällen zu leichten Verschiebungen im Ranking kommt. Während das Szenario 2 (Regionaler Netzbetreiber Urban) in der ursprünglichen Betrachtung auf Platz 1 liegt, nimmt diesen das Szenario 8 (Regionaler Netzbetreiber Mittel) an. Die Szenarien 2 und 8 tauschen also ihre Plätze. Ähnlich verhält es sich am rechten Rand der Skala: Die Szenarien 10b und 5b sind dann unter Berücksichtigung einer gemeinsamen Trassennutzung günstiger als in Szenario 5a.

4.4 Auswirkung von Cherrypicking

In diesem Abschnitt wollen wir den Einfluss von Cherrypicking auf die Backhauling-Kosten untersuchen. Hierunter fassen wir das Phänomen, dass Versorgungsgebiete nicht lückenlos zusammenhängen. Dabei handelt es sich bei den „Lücken“ um in der Regel

überdurchschnittlich attraktive Versorgungsgebiete (dicht besiedelt), die durch einen dritten Netzbetreiber versorgt werden – entweder als Resultat des wettbewerblichen Ausbauverhaltens der Betreiber oder als Ergebnis von Markterkundungsverfahren im Rahmen der Förderung des Glasfaserausbaus. Hierzu werden die Szenarien 10a und 10b (Regionaler Netzbetreiber klein) verwendet. Es handelt sich dabei um eine kleine Region auf einer Ostseeinsel mit zehn Postleitzahlbereichen, welche einmal insgesamt und einmal ohne den Hauptort, dann also mit neun Postleitzahlbereichen gerechnet wird. Durch das Entfallen des Hauptorts, welcher dichter besiedelt ist als das übrige Gebiet, wird das Cherrypicking durch einen anderen Marktteilnehmer simuliert. Abbildung 20 zeigt die Ergebnisse, auch für die Varianten „Verfügbarkeit“ und „Aktive“. Es fallen etwa 12.500 (27%) Anschlüsse durch die Auslassung des ASB weg in der Variante „Grundgesamtheit“. In „Verfügbarkeit“ fallen ebenfalls etwas mehr als 12.000 (44%) Anschlüsse und in „Aktiv“ immer noch 4.000 (42%) der Anschlüsse weg.

Abbildung 20: Einfluss von Cherrypicking



Quelle: WIK

Die Ergebnisse zeigen, dass die Auslassung des Postleitzahlbereichs mit dem Hauptort in allen drei Varianten zu einem deutlichen Anstieg der Backhauling-Kosten kommt. Hierbei zeigt sich, dass es bei den beiden Varianten mit reduziertem Take-Up zu einem überproportionalen Anstieg kommt, weil die Kostenträgerschaft negativ beeinflusst wird. Am stärksten ist dieser Effekt, wenn nur die aktuell „aktiven“ Anschlüsse in den Vergleich einbezogen werden.

4.5 Zusammenfassung der Erkenntnisse aus der Modellierung

Aus mit dem WIK-NGN-Modell berechneten Ergebnissen für die generischen Szenarien, wie auch den vom deutschen Markt abgeleiteten Szenarien können einige Erkenntnisse in Bezug auf das Backhauling gewonnen werden.

Die Analyse anhand der hypothetischen Versorgung der Grundgesamtheit durch die betrachteten Netzbetreibertypen (Abschnitt 4.1) hat ein intuitives Ergebnis hervorgebracht: Zum einen haben größere Netzbetreiber i.S.v. Anzahl der Anschlüsse Kostenvorteile gegenüber kleineren Netzbetreibern. Auch bietet die Versorgung zusammenhängender Gebiete einen Vorteil gegenüber unzusammenhängenden bzw. verteilten Versorgungsgebieten. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass dicht besiedelte (urbane) Regionen geringere Backhauling-Kosten aufweisen als weniger dichte (rurale) Regionen.

Im Kontext der aktuellen Glasfaseranschluss-Verfügbarkeit sowie -Nachfrage (Abschnitt 4.2) verliert sich der eingangs in Abschnitt 4.1 ermittelte Zusammenhang, demzufolge kleine rurale Netzbetreiber kostenseitig den großen urbanen unterlegen sind. Hier überlagern die Verfügbarkeit und der Take-Up (Aktivierungsquote) innerhalb der Versorgungsgebiete die Footprint-bezogenen Spezifika. Es ist davon auszugehen, dass der in den jeweiligen Versorgungsgebieten vorherrschende infrastrukturbasierte Wettbewerb hier einen maßgeblichen Einfluss hat. Dabei ist davon auszugehen, dass diesem in urbanen Regionen eine größere Bedeutung zukommt. Anhand der wenigen, illustrativen Beispiele sind hierzu jedoch keine Aussagen möglich. Allgemein kann lediglich die Skalierung der Kosten pro Anschluss mit den Marktanteilen festgestellt werden (inverser Zusammenhang), der bei aktuell sehr geringen Marktanteilen einen merklichen Effekt auf die durchschnittlichen Kosten pro Anschluss haben dürfte, die ein Netzbetreiber für seine Kostendeckung zurückgewinnen muss.

Eine eventuelle Remote-Anbindung eines Versorgungsgebietes an einen entfernt bestehenden Kernnetzstandort erhöht die Backhaul-Kosten. Daher erscheint es vorteilhaft, wenn neu zu erschließende Versorgungsgebiete möglichst nahe bei einem bereits erschlossenen Kernnetzstandort liegen. Aber auch bei innerhalb eines Versorgungsgebietes liegenden Kernnetzstandorten gilt, dass größere Längen zu höheren Kosten führen. Dies bestätigt die oben getroffenen Erkenntnisse, dass sowohl zusammenhängende Regionen als auch solche, die eher dichter besiedelt sind, geringere Backhauling-Kosten aufweisen.

Cherry picking führt durch den Wegfall dichter besiedelter Gebiete, welche daher für sich zu geringeren Backhaul-Kosten führen, zu insgesamt höheren Kosten. In welche Richtung sich die Kosten pro Anschluss für den Backhaul verändern, wenn der Footprint vergrößert oder verkleinert wird, lässt sich anhand der durchgeführten Analysen nicht beantworten. Vielmehr ist festzustellen, dass dies einzelfallabhängig ist. Die Vorteilhaftigkeit ergibt sich letztlich aus der Relation der Anschlussdichten der Gebiete, welche gemeinsam erschlossen werden (vorher und nachher).

Zusammenfassend ist daher festzuhalten, dass sich zwar anhand hypothetischer Versorgungskonstellationen, wie sie sich in lokalen oder regionalen Monopolen darstellen, Kostenvorteile im Backhaul für große Netzbetreiber in zusammenhängend versorgten, dicht besiedelten Gebieten ableiten lassen, diese Zusammenhänge jedoch bei Berücksichtigung aktuell beobachtbarer FTTH-Verfügbarkeiten und Aktivierungsquoten verloren gehen.

5 Realisierung des Backhauling – Erkenntnisse aus dem deutschen Markt

Zur Einordnung der Ergebnisse der WIK-Modellierung wurden ergänzend Interviews mit ausgewählten Experten verschiedener Netzbetreibertypen durchgeführt. Es wurden insgesamt sechs Interviews durchgeführt, wobei sich die Interviewpartner wie folgt charakterisieren lassen:

- Multiregionaler Netzbetreiber
- 3 regionale Netzbetreiber: Groß / Mittel / Klein
- Lokaler Netzbetreiber Klein
- Infrastrukturanbieter

5.1 Generelle Erkenntnisse in Bezug auf den verwendeten Modellierungsansatz

Typisierung der Netzbetreiber

Mehrere Interview-Partner gaben an, dass eine trennscharfe Zuordnung ihres Footprints in die vom WIK generisch definierten Netzbetreibertypen schwierig sei. Grund dafür seien heterogene Besiedlungsstrukturen, sowohl in urbanen als auch ländlichen Gebieten.

Fast alle Interview-Partner gaben an, dass die Anzahl von PLZ-Regionen als Proxy für die Anzahl von MPoP (Anschlussbereichen) mit einer relevanten Unterschätzung einhergehe. In der Praxis würden durch die MPoP kleinere Flächen abgedeckt als in der WIK-Modellierung mit den PLZ-Regionen unterstellt. Die WIK-Berechnungen unterschätzen also die Zahl der MPoP deutlich.

5.2 Backhauling- und Ausbau-Strategien

Modellergebnisse mit relevant hohen Kostenunterschieden haben die Erwartung/Vermutung entstehen lassen, dass sich die Auswahl der zu erschließenden Versorgungsgebiete nach der Verfügbarkeit von Backhaul-Infrastruktur richtet. Die Interview-Ergebnisse bestätigen dies jedoch nicht; vielmehr ergibt sich aus den Gesprächen ein heterogenes Bild hinsichtlich der Auswahl von Ausbaugebieten. Handelt es sich bei dem Zielgebiet um eine "lokale Marke", oder stammt das Unternehmen aus der Region, so spielen die Backhaul-Kosten bei der Entscheidung für einen Ausbau keine Rolle. Auch bei generischem Wachstum und Realisierung des Backhails über die eigene Infrastruktur, wenn z.B. ein Wachstum von innen nach außen aber auch ein Zusammenwachsen mehrerer Ausbaugebiete über die Zeit stattfindet, sind die Backhaul-Kosten nicht entscheidungsrelevant.

Eine Rolle spielt die Verfügbarkeit von physikalischer Infrastruktur bzw. Backhaul-Links jedoch bei verteilten Ausbaugebieten, die an das Kernnetz angebunden werden sollen.

Bei der Auswahl der Ausbaugebiete ist nach Aussage der Interview-Partner die Länge des Backhaul-Links prinzipiell nicht alleine ausschlaggebend für die Umsetzung eines Ausbauprojektes. Das Ausbauprojekt insgesamt muss lohnend sein. Hier spielt auch der bereits durch Wettbewerber realisierte Versorgungsgrad eine Rolle, da dieser die Zahl der erreichbaren Kunden beschränkt. – Letztlich kommen bei dieser ganzheitlichen Perspektive die Kosten des Anschlussnetzes zum Tragen, die bei der WIK-Modellierung nicht betrachtet wurden. Sie haben im Vergleich zum Backhauling ein größeres Gewicht.

5.3 Realisierung des Backhaul (Bedeutung der Vorleistungsnachfrage)

Modellergebnisse mit relevant hohen Kostenunterschieden haben die Erwartung/Vermutung entstehen lassen, dass Backhaul zu einem relevanten Teil nicht auf Basis eigens realisierter Trassen realisiert wird. Mit Hilfe der Interviews sollten Erkenntnisse gewonnen werden, welche Rolle dem Einkauf von Vorleistungen, insbesondere der physikalischen Infrastruktur, zukommt und welche Einsparungen sich dadurch erzielen lassen. Die Interview-Ergebnisse zeigten hierzu jedoch keine eindeutigen Strategien.

Tendenziell wird nur wenig Leerrohrzugang nachgefragt oder Mitverlegung praktiziert, selbst bei Mutterunternehmen mit einem Infrastruktur-Hintergrund (Gas-, Wasser-, Strom-Netz) ist diese vornehmlich nur für die (ältere) Bestandsinfrastruktur relevant (Pachtverträge).

Demgegenüber ist Dark-Fibre das relevante und eindeutig präferierte Vorleistungsprodukt. Diese Vorleistung ist insbesondere auf Langstreckenverbindungen zwischen großen Städten verfügbar.

Aktive Vorleistungsprodukte sind nur für die Internet-Konnektivität relevant, ansonsten aber eher wenig genannt. Dies könnte aber auch auf die Auswahl der Gesprächspartner zurückzuführen sein.

Insgesamt hat sich in den Gesprächen gezeigt, dass der Ausbau eigener Infrastruktur scheinbar großes Gewicht hat, insbesondere bei regionalen Netzbetreibern und tendenziell auch in ländlichen Gebieten, dort jedoch ökonomisch teilweise schwieriger darstellbar.

Eine weitere Feststellung ist, dass teilweise der Backhaul als Beilauf im eigenen Netz mitgeführt wird. Einzelne Interview-Partner gaben an, dass der Backhaul in relevantem Umfang über Trassen des Anschlussnetzes realisiert werden kann.

5.4 Vorleistungsanbieter Backhaul

Vorleistungen für den Backhaul werden von verschiedensten Unternehmen angeboten, auch auf den verschiedenen OSI-Schichten, von Dark Fibre bis IP/MPLS, aber auch Internet-Konnektivität. Der Fokus liegt aber auf Dark Fiber.

Aus den Gesprächen hat sich ergeben, dass je regionaler und ländlicher eine Backhaul-Verbindung nachgefragt wird, desto knapper ist das Angebot an Backhaul-Kapazitäten und daher desto geringer die Kostenvorteile von Vorleistungsanbietern. Dagegen gibt es auf den Weitverbindungsstrecken, den „Autobahnen“ des Datenverkehrs, eine Vielzahl von Angeboten mit relevanter Wettbewerbsintensität. Angeboten werden Dark Fibre, Wellenlängen, Layer 2 und Layer 3 Kapazitäten.

Bottleneck ist dabei immer die jeweilige Anbindung der MPoP an die Infrastruktur der Wholesale-Anbieter. Ist diese möglich, so ist die Anbindungen zu etwaigen Wholesale-Nachfragern oder den Internet-Exchange-Knoten kein Engpass.

Die Preise für die infrastrukturbasierten Backhaul-Dienste sind stark einzelfallabhängig und werden relevant von der jeweiligen Wettbewerbssituation bestimmt.

5.5 Schlussfolgerungen aus den Interviews

Die Erkenntnisse aus Interviews haben für eine Einordnung der Ergebnisse ebenfalls Erklärungsansätze geliefert:

- Wettbewerbliche Wholesale-Angebote auf Weitstreckenverbindungen sind günstiger als die Bottom-Up-modellierten Stand-Alone-Kosten. Dies ermöglicht insbesondere multiregionalen Betreibern durch die verfügbaren Vorleistungen auf den Weitstreckenverbindungen die Kostennachteile des Footprints zu kompensieren.
- Etwaiger Kostennachteile im Backhaul können durch Kostenvorteile im Anschlussnetz durch das höhere Gewicht der Anschlussnetzkosten im Vergleich zum Backhaul und Kernnetz kompensiert werden.
- Mit einem selektiven Ausbau im Anschlussnetz (sog. Cherrypicking) können etwaige Kostennachteile auf den nachgelagerten Wertschöpfungsstufen kompensiert werden.
- Vorteile aus institutionellen Gründen (Infrastruktur der Muttergesellschaft oder andere Kooperationen) können die Kostenposition im Anschlussnetz relevant verbessern.

6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Bottom-up-Analyse zeigt relevante Unterschiede in den modellierten Stand-Alone-Backhaul-Kosten in Abhängigkeit des Footprints. Der teuerste Fall (Szenario 3 - aktuell aktive Anschlüsse) liegt um ein Vielfaches oberhalb des günstigsten Falls (Szenario 2 - 100% aller Haushalte und Unternehmen). Unter der Hypothese, dass die modellierten Netzbetreibertypen als monopolistische Versorger agieren können, sind die Modellergebnisse intuitiv: Größere Netzbetreiber mit vielen Endkundenanschlüssen haben Kostenvorteile gegenüber kleineren Netzbetreibern. Auch bietet die Versorgung zusammenhängender Gebiete einen Vorteil gegenüber unzusammenhängender bzw. verteilten Versorgungsgebiete. Letztlich weisen dicht besiedelte (urbane) Regionen geringere Backhauling-Kosten pro Anschluss auf als weniger dichte (rurale) Regionen.

Mit Berücksichtigung der verfügbaren sowie der aktuell kontrahierten (aktiven) FTTH-Anschlüsse geht jedoch das erwartete Muster über die Reihung der Netzbetreibertypen anhand der Backhaul-Kosten verloren. Beschränkungen, unter anderem aus dem vorherrschenden Infrastrukturwettbewerb und / oder geringen Kontrahierungsquoten resultieren in vermeintlich kostengünstigen urbanen Regionen in vergleichsweise hohen Backhaul-Kosten pro Anschluss.

Erkenntnisse aus der Praxis verdeutlichen jedoch Beschränkungen der Bottom-Up-Modellanalyse. Es wurden keine regionale Kostenunterschiede abgebildet, die Szenarien basieren vielmehr auf einheitlichen Ø-Investitions- und Kostenparametern. Dies betrifft auch und insbesondere die Kostenunterschiede zwischen Stadt und Land. Eine Verfügbarkeit, insbesondere von alternativer physikalischer Infrastruktur (in Form von Vorleistungen) ist in der Modellierung nicht abgebildet.

Die reale Welt ist deutlich heterogener als dies mit der in dieser Studie durchgeführten durchschnittlichen Modellparametrisierung abgebildet werden kann, denn infrastruktur-basierte Vorleistungen Dritter – wo verfügbar – tragen zur aktuell beobachteten Replizierbarkeit bei. Diese sind auf Weitverbindungsstrecken unter weitestgehend wettbewerblichen Bedingungen verfügbar (besonders relevant für multi-regionale Anbieter), demgegenüber in ländlichen Regionen nur begrenzt.

Aus den Interviews wurde deutlich, dass regionale Ausbauentscheidungen selektiv getroffen werden und auf der projektbezogenen Gesamt-Profitabilität fußen. Es ist davon auszugehen, dass sowohl individuelle Anfangsausstattungen als auch lokale Rahmenbedingungen, wie die Verfügbarkeit von Wholesale-Angeboten für den Backhaul, einen relevanten Effekt auf die relative Vorteilhaftigkeit der Ausbauprojekte haben. Diese Kostenvorteile sind projektbezogen realisierbar. Wholesale-Angebote für Backhaul eröffnen hierbei ein Level Playing Field für regionale Netzbetreiber.

Diese aktuell beobachtbare Empirie lässt sich jedoch nur eingeschränkt extrapolieren. Limitationen der aktuellen Ausbaustrategien sind in Bezug auf eine flächendeckende

Versorgung mit Glasfaseranschlüssen relevant: Mit dem voranschreitenden Ausbau dürften die Kosten pro Anschluss steigen – sowohl in den Anschlussnetzen als auch bei der Versorgung von Regionen, die in Bezug auf bestehende Infrastrukturen als weiter abgelegen eingestuft werden und daher mit höheren Backhaul-Kosten einhergehen.

Für ländliche Regionen jenseits der Weitverbindungstrassen gilt dennoch, dass die Backhaul-Kosten einen relevanten Anteil an den gesamten Kapitalkosten haben. Hier können lediglich hohe Marktanteile einen relevanten Hebel auf die Kosten pro Anschluss liefern. Der in urbanen Regionen verbreitete Infrastrukturwettbewerb hat dort eine kostenerhöhende Wirkung auf die tendenziell geringen Kosten pro Anschluss – nicht nur im Anschlussnetz, sondern auch in Bezug auf den Backhaul.

Literatur

- Burrell, S. (2024): „Wie funktioniert ein Backhaul-Netzwerk?“, in: Wray Castle, November 11 2024, [online] https://wraycastle.com/de/blogs/glossary/how-does-a-backhaul-network-work?srsId=AfmBOoo1IFKIZdZuFf_DMuYmLpy5oerXQFvim6ow3TL4HI4OInQaA92 (zuletzt abgerufen 12.12.2025)
- Eckert, M. (2025): „Was ist Backhaul?“, in: ComputerWeekly.de, zuletzt aktualisiert 23. Juli 2025, [online] <https://www.computerweekly.com/de/definition/Backhaul#:~:text=Definition%20und%20Funktion%20von%20Backhaul,und%20eine%20hohe%20Netzqualit%C3%A4t%20sicherzustellen> (zuletzt abgerufen 12.12.2025)
- Hackbarth, K., Kulenkampff, G., Plückebaum, T., WIK-Consult (2016): „Referenzdokument Analytisches Kostenmodell für das Breitbandnetz Version 2.3“, Studie für die Bundesnetzagentur, [online] https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Marktregulierung/Massstaebe_Methoden/Kostenmodelle/Breitbandnetz2x/Referenzdokument_AnalytKM_Breitbandnetz_v2_3_20160815.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (zuletzt abgerufen 12.12.2025)
- IONOS Redaktion (2022): „Sicherungsschicht: Alles über die zweite Ebene des OSI-Modells“, in: IONOS, Digital Guide, 16.11.2022, [online] <https://www.ionos.de/digitalguide/server/knowhow/sicherungsschicht#:~:text=Die%20Sicherungsschicht%20ist%20die%20zweite,auch%20aktiv%20zur%20Fehlerbehebung%20bei> (zuletzt abgerufen 12.12.2025)
- IONOS Redaktion (2022): „Was ist ein Backhaul?“, in: IONOS, Digital Guide, 22.12.2022, [online] <https://www.ionos.de/digitalguide/server/knowhow/was-ist-backhaul/> (zuletzt abgerufen 12.12.2025)
- IONOS Redaktion (2023): „Was ist die OSI-Transportschicht?“, in: IONOS, Digital Guide, 20.10.2023, [online] <https://www.ionos.de/digitalguide/server/knowhow/transportschicht#:~:text=der%20C3%9Cbertragung%20steuern.-.Was%20ist%20die%20OSI%2DTransportschicht?,dabei%20dem%20sogenannten%20Transport%20Layer> (zuletzt abgerufen 12.12.2025)
- IONOS Redaktion (2022): „Vermittlungsschicht: Alles Wissenswerte über die dritte Ebene des OSI-Modells“, in: IONOS, Digital Guide, 16.11.2022, [online] <https://www.ionos.de/digitalguide/server/knowhow/vermittlungsschicht/> (zuletzt abgerufen 12.12.2025)
- Luber, S., Donner, A. (2018): „Was ist Backhaul?“, in: IP-Insider, Definitionen, 01.08.2018, [online] <https://www.ip-insider.de/was-ist-backhaul-a-622611/> (zuletzt abgerufen 12.12.2025)
- Plückebaum, T., Neumann, K.-H., Zoz, K., Ockenfels, M., Kiesewetter, W., WIK-Consult (2022): „Modellierung des Investitions- und Förderbedarfs verschiedener Breitband-Ausbauziele in der Schweiz“, Studie für das Bundesamt für Kommunikation, [online] <https://backend.bakom.admin.ch/fileservice/sdweb-docs-prod-bakomadminch-files/files/2025/04/15/b09f5bf3-7880-40f6-ba2c-5e5356f27fec.pdf> (zuletzt abgerufen 12.12.2025)
- ScienceDirect (2024): „AI generated definition based on: Journal of Network and Computer Applications, 2024“, in: Science Direct, Backhaul Network, [online] <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/backhaul-network#:~:text=A%20Backhaul%20Network%20is%20defined,seamless%20experience%20for%20mobile%20subscribers> (zuletzt abgerufen 12.12.2025)

Stobbe, L., Richter, N. et al., Fraunhofer IZM (2023): „Umweltbezogene Technologiefolgeabschätzung Mobilfunk in Deutschland, Projekt: UTAMO“, Hrsg.: Umweltbundesamt

WAV: All You Need To Know About Backhaul Network & It's Advantagesd, [online]
<https://www.wavonline.com/backhaul-network-and-its-advantages#:~:text=1.Fixed%2DLine%20or%20Wired,a%20closer%20look%20at%20them>
(zuletzt abgerufen 12.12.2025)

ISSN 1865-8997