

Analytisches Kostenmodell für das Anschlussnetz AKM-AN Version 3.0

Autoren:
G. Kulenkampff
T. Plückebaum
K. Zoz

WIK-Consult GmbH
Rhöndorfer Str. 68
53604 Bad Honnef

Bad Honnef, 14. Januar 2019

Impressum

WIK-Consult GmbH
Rhöndorfer Str. 68
53604 Bad Honnef
Deutschland
Tel.: +49 2224 9225-0
Fax: +49 2224 9225-63
E-Mail: info@wik-consult.com
www.wik-consult.com

Vertretungs- und zeichnungsberechtigte Personen

Geschäftsführer und Direktor	Dr. Iris Henseler-Unger
Direktor Abteilungsleiter Post und Logistik	Alex Kalevi Dieke
Direktor Abteilungsleiter Netze und Kosten	Dr. Thomas Plückebaum
Leiter der Verwaltung	Karl-Hubert Strüver
Vorsitzende des Aufsichtsrates	Dr. Daniela Brönstrup
Handelsregister	Amtsgericht Siegburg, HRB 7043
Steuer-Nr.	222/5751/0926
Umsatzsteueridentifikations-Nr.	DE 123 383 795

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	IX
1 Einleitende Bemerkungen	1
2 Zielgrößen und rechtlich-regulatorische Rahmenbedingungen der Kostenmodellierung	3
2.1 EU-Empfehlung 2013/466/EU und Anforderungen an die Kostenmodellierung	3
2.1.1 NGA-Kostenmodellierung	3
2.1.2 Überlagerndes NGA-Modell und Beibehaltung der bisherigen Kostenrechnungsmethode	5
2.2 Zielgrößen des zu erstellenden Bottom-up-Modells	5
2.2.1 Anwendungsbereich und Zielsetzung	5
2.2.2 LRIC+ und Modifikationen der Kostenrechnungsmethode	7
2.2.3 Relevantes Inkrement – Netzdimensionierung und Kostenzurechnung	9
3 Anschlussnetzarchitekturen (Kupfer/Glasfaser) und Besonderheiten von Glasfaseranschlussnetzen	11
3.1 Anschlussnetz – Definition und Kostenmodellierung	11
3.1.1 Aufbau des kupferbasierten Anschlussnetzes	11
3.1.2 Netzelementbasierte Investitionsmodellierung	14
3.2 NGA-Architekturen	19
3.2.1 Hybride Glasfaser / Kupferdoppelader Netze	20
3.2.2 Reine Glasfasernetze	23
3.2.3 Auswahl der NGA-Technologien für das Analytische Kostenmodell Anschlussnetz 3.0	29
3.2.4 Auswahl der NGA-Netztopologie für das Analytische Kostenmodell Anschlussnetz 3.0	30
3.3 Erfordernisse der Glasfaseranschlussnetzmodellierung	32
3.3.1 Besonderheiten der Glasfaseranschlussnetze	32
3.3.1.1 Kabel und Kabelverbindungen	34
3.3.1.2 Verlegearten	36
3.3.1.3 Tiefbau	40

3.3.1.4	Abschlusspunkte der Linientechnik und Einrichtungen an den Verzweigerknoten	44
3.3.2	Anforderungen an die Kostenrechnungsmethode	45
3.3.2.1	Kostenrechnungsmethode	45
3.3.2.2	Migrationsaspekte und Kostenteilung mit anderen Anschlussdiensten	45
4	Generischer Modellierungsansatz für Kosten des Teilnehmeranschlussnetzes	47
4.1	Anschlussnachfrage als Ausgangspunkt der Modellierung	48
4.1.1	Technologiebezug: Indexierung der Nachfrage	48
4.1.2	Georeferenzierung der Anschlussnachfrage und GIS-Straßenlayer	48
4.1.3	Nachfragereserve	49
4.2	Technologiewahl und Kostentreiber	50
4.3	Verzweigerbereichsbildung (Clusterung)	52
4.4	Ableitung eines technologieübergreifenden Versorgungsbaumes	55
4.4.1	Optimierungsalgorithmus	57
4.4.2	Beidseitige Straßenverlegung und Straßenquerung	60
4.4.3	Gemeinsame Verlegung von Hauptkabel- und Verzweigerkabeltrassen	61
4.4.4	Erweiterung des Algorithmus zur Berücksichtigung der Auslegung in separierten Kabeln	61
4.5	Hauszuführung – Dimensionierung und Abgrenzung vom Verzweigerkabelsegment	63
4.6	Dimensionierung von Kabeln und Kabelverbindungen	64
4.6.1	Anschluss- und Kabelnachfrage mit NGA-Referenzierung	65
4.6.2	Berücksichtigung von Reserven mittels Zuschlagfaktor	68
4.7	Trassendimensionierung	69
4.7.1	Konfektionierung der Trassengröße nach Zugzahlen	70
4.7.1.1	Zugdefinition, Verlegearten und Zugäquivalente von Kabeln	71
4.7.1.2	Grabengrößen für Erd- und Röhrenverlegung	73
4.7.2	Trassenkosten und Tiefbautechniken	75
4.7.3	Trassenkosten und Verbundvorteile	77
4.7.3.1	Verbundvorteile durch gemeinsame Verlegung mit alternativen Infrastrukturen	77
4.7.3.2	Berücksichtigung von Linien des Verbindungsnetzes und anderer Anschlussnetze	77

4.7.4	Bodenbeschaffenheit und Oberflächenarten als Kostentreiber	78
4.8	Muffen und Spleißkosten	78
4.9	Schächte	80
4.10	Abschluss- und Schalteinrichtungen	81
5	Inputdaten zur Investitionswertermittlung	82
5.1	Netzknoten und GIS-Daten	82
5.1.1	Abschlusspunkte des Anschlussnetzes: Standortinformationen zu Anschlussnachfrage (Endkunden) und Scorched-Nodes (MPoP)	82
5.1.2	Straßendaten	84
5.2	Investitionsparameter – Leistungsmerkmale und Preise	86
5.2.1	Tiefbauparameter	87
5.2.1.1	Herleitung der Tiefbaukosten je Trassenmeter in traditioneller Bauweise	87
5.2.1.2	Berücksichtigung alternativer Tiefbauweisen	91
5.2.1.3	Tiefbaukosten für Straßenquerungen bei einseitiger Straßenverlegung	91
5.2.1.4	Planung und Bauvorbereitung	91
5.2.2	Kabel	92
5.2.2.1	Kupferkabel	92
5.2.2.2	Glasfaserkabel	93
5.2.3	Montagestellen	93
5.2.3.1	Kupfermuffen	93
5.2.3.2	Glasfasermuffen	95
5.2.4	Schächte	96
5.2.5	Verrohrung	97
5.2.6	Hauszuführung	98
5.2.7	Knotenequipment	98
5.2.7.1	Verteiler: HVt und ODF	99
5.2.7.2	KVz/Faserverzweiger (Verteilerkasten, Handschacht)	100
5.2.7.3	Endverzweiger	102
5.2.7.3.1	Kupfer (Endverzweiger)	102
5.2.7.3.2	Glasfaserendverzweiger	103

5.3	Strukturparameter	105
6	Modelloutput	107
6.1	Anforderungen der Kostenrechnung	109
6.2	Mengengerüst	109
6.2.1	Leiterbedarf je Gebäude im Verzweigerkabelsegment	111
6.2.2	Leiterbedarf des Hauptkabels	112
6.2.3	Kabellängen	112
6.2.3.1	Kabel der Hauszuführung	114
6.2.3.2	Kabel des Verzweigerkabelbereichs	114
6.2.3.3	Kabel des Hauptkabelbereichs	114
6.2.4	Montagestellen (Muffen)	115
6.2.5	Gräben	116
6.2.6	Kabelkanalanlagen: Schächte und Rohre	117
6.2.7	Endverzweiger/Hausübergabeverteiler	118
6.2.8	Kabelverzweiger / Faserverzweiger	118
6.2.9	Splitter	118
6.2.10	MSAN	119
6.2.11	HVt/ODF	119
6.2.12	Zusammenfassung Mengengerüst	120
6.3	Investitionsgrößen	122
6.3.1	Trasseninvestitionen	122
6.3.1.1	Erdverlegung	122
6.3.1.2	Röhrenverlegung	122
6.3.1.3	Mikrorohrverlegung	123
6.3.2	Kabelinvestitionen	124
6.3.3	Investitionen in Montagestellen (Muffen)	124
6.3.3.1	Muffeninvestitionen bei kupferbasierter Verlegung	124
6.3.3.2	Muffeninvestitionen bei glasfaserbasierter Verlegung	125
6.3.4	Investitionen in das Endkabelsegment (Hauszuführungssegment)	126
6.3.4.1	Investitionen in Endverzweiger	126
6.3.4.2	Investitionen in die Hauszuführungstrasse	127

6.3.4.3 Investitionen in das Hauszuführungskabel	127
6.3.5 Investitionen in Kabelverzweiger / Faserverzweiger	127
6.3.6 Investitionen für Splitter	128
6.3.7 Investitionen in aktives Equipment	128
6.3.8 Investitionen in Hauptverteiler (HVt) / Optische Faserverteiler (ODF)	128
6.3.9 Investitionen in das Verzweigerkabelsegment	129
6.3.10 Investitionen in das Hauptkabelsegment	130
7 Durchschnittliche Kosten der Teilnehmeranschlussleitung	131
8 Abschließende Bemerkungen	132
Anhang Modelleingangsparameter	

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1:	Aufbau eines kupferbasierten Teilnehmeranschlussnetzes	12
Abbildung 3-2:	Baumstruktur eines reinen Kupferkabelnetzes	13
Abbildung 3-3:	Abzweigmuffen und Endverzweiger	14
Abbildung 3-4:	Investitionswertmodellierung und zu Grunde liegende Netzelemente	19
Abbildung 3-5:	Einsatz von Glasfaser in Anschlussnetztechnologien	22
Abbildung 3-6:	Verschiedene FTTH-Architekturen	24
Abbildung 3-7:	ITU-T G.987 Wellenlängenplan	27
Abbildung 3-8:	NG-PON2 oder TWDM-PON erlaubt bis zu 4 parallele XG-PON-Netze auf unterschiedlichen Wellenlängen	27
Abbildung 3-9:	Topologien von Anschlussnetzen – Anbindung der Verzweigerknoten an den MPoP	31
Abbildung 3-10:	Kabelkanalrohr DN50 (Stangenform) und PVC-Kabelkanalrohr (Trommelware) mit Unterteilungen	37
Abbildung 3-11:	Kabelschutzrohr DN50 mit 7 Rohr-in-Rohr Mikrorohren 10 x 1mm	37
Abbildung 3-12:	Erdverlegbare Mikrorohrverbände und erdverlegbarer Mikrorohrverband für Hauseinführungskabel (Drop)	38
Abbildung 3-13:	Erdverlegung von Glasfaserkabeln	39
Abbildung 3-14:	Mini-Trenching und die Verlegung von Kabel bzw. Leerrohren	42
Abbildung 3-15:	Beispiel für Mikrorohrverbände für den Einbau in den Fräsgraben	42
Abbildung 3-16:	Prinzip des Kabelpflug-Verfahrens	43
Abbildung 4-1:	Netzwerktopologien	58
Abbildung 4-2:	Modifizierter minimaler Spannbaum-Algorithmus	59
Abbildung 4-3:	Hauszuführung und Endkabel	64
Abbildung 4-4:	Anschlussnachfrage und Versorgungsbaum	67
Abbildung 4-6:	Grabenmaße und Rohranordnung (DN110) - Illustration	74
Abbildung 4-7:	Äquivalenz von 2x DN110 und 8x DN50	75
Abbildung 4-8:	Erdverlegbarer Mikrorohrverbund 24x7mm mit Abzweigung	79
Abbildung 5-1:	Verortete Anschlussnachfrage, Straßennetz und Versorgungsgebiete	86
Abbildung 5-2:	Grabenmaße und oberflächenspezifische Maße – Illustration	89

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1:	Merkmale von hybriden Kupfer/Glasfaseranschlussnetzen mit aktivem Equipment	23
Tabelle 3-2:	Datenübertragungsraten verschiedener G.PON-Standards	26
Tabelle 3-3:	Erdverlegbare Mikrorohrverbände für Hauptkabel sowie Rohr-in-Rohr-Mikrorohre	38
Tabelle 3-4:	Konfektionierung von Mikrorohren	39
Tabelle 3-5:	Trenchingverfahren	41
Tabelle 4-1:	Anschlussnachfrage und technologiespezifischer Leiterbedarf	50
Tabelle 4-2:	Dimensionierungsrelevante Leiternachfrage	51
Tabelle 4-3:	Übertragungsmedium in Verzweiger- und Hauptkabelsegment	51
Tabelle 4-4:	Technologieabhängige Kabeldimensionierung im VZB und auf dem Hauszuführungssegment	66
Tabelle 4-5:	Kabelprovisionierung nach Straßensegmenten im VzK-Segment bei FTTH	68
Tabelle 4-6:	Raumäquivalente von Mikrorohrtypen	72
Tabelle 4-7:	Zugäquivalente von Glasfaserkabeln differenziert nach Verlegeart	72
Tabelle 4-8:	Zugzahlen und einheitliche Grabengrößen für Kupfer- und Glasfaserverlegung als Modelleingangsparameter	73
Tabelle 5-1:	Datenerfassung Anschlussnachfrage	83
Tabelle 5-2:	Datenerfassung MPoP	84
Tabelle 5-3:	Oberflächenspezifische Maße und Investitionspreise	88
Tabelle 5-4:	Oberflächenanteile nach Verlegeart und Netzabschnitt [%]	89
Tabelle 5-5:	Boden-/ Felsklassen	90
Tabelle 5-6:	Berechneter Tiefbaupreis je Trassenmeter	90
Tabelle 5-7:	Investitionsparameter für Kupferkabel	92
Tabelle 5-8:	Preise für Glasfaserkabel und Verlegung	93
Tabelle 5-9:	Investitionen in Kabelmuffen (jeweils für Erd- und Kabelkanalverlegung)	94
Tabelle 5-10:	Investitionsparameter für Muffen	95
Tabelle 5-11:	Schachttypen für kupfer- und glasfaserbasierte Anschlussnetze	96
Tabelle 5-12:	Aufschläge auf Schachtgrößen für Grubenmaßbestimmung (illustrativ)	97
Tabelle 5-13:	Investitionsparameter PVC Röhren (für DN110)	97
Tabelle 5-14:	Investitionsparameter für HVt	100

Tabelle 5-15:	Investitionsparameter für ODF	100
Tabelle 5-16:	Investitionsparameter für Kabelverzweiger (Kupfer)	101
Tabelle 5-17:	Investitionsparameter für Faserverzweiger	102
Tabelle 5-18:	Investitionsparameter für Splitter PON	102
Tabelle 5-19:	Investitionsparameter für Endverzweiger	103
Tabelle 5-20:	Investitionsparameter für Glasfaserendverzweiger	104
Tabelle 5-21:	Strukturparameter Hauptkabelsegment	105
Tabelle 5-22:	Strukturparameter Verzweigerkabelsegment	106
Tabelle 5-23:	Strukturparameter Zugäquivalente Glasfaserkabel	107
Tabelle 6-1:	Mengengerüst für reines Kupfernetz	120
Tabelle 6-2:	Mengengerüst für die Glasfasernetze	120

Abkürzungsverzeichnis

#	Anzahl
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AKM-AN	Analytisches Kostenmodell Anschlussnetz
APL	Abschlusspunkt Linientechnik
ASB	Anschlussbereich
ATB	Allgemeine Technische Bestimmungen
BMVIT	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
BNetzA	Bundesnetzagentur
BU-LRIC	Bottom-up-Long-Run-Incremental-Cost
bzw.	beziehungsweise
CATV	Cable TV
CFV	Carrier Festverbindung
cm	Zentimeter
CPE	Customer Premise Equipment
CuDA	Kupferdoppelader
d. h.	das heißt
DA	Doppelader
DAV	Doppeladerverbinder
DF	Doppelfaser
DIN	Deutsche Industrie Norm
DSL	Digital Subscriber Line
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
EF	Einzelfaser
ERT	Economic replication test (wirtschaftlicher Replizierbarkeitstest)
EU	Europäische Union
EVL	Erdkabelverlegung
EVz	Endverzweiger
FTTB	Fibre to the building
FTTEx	Fibre to the exchange
FTTC	Fibre to the Cabinet/Curb
FTTH	Fibre to the Home
FTTO	Fibre to the Office
FTTS/dp	Fibre to the Street / Distribution Point
FTTx	Fibre to the x
FVz	Faserverzweiger
G.fast	Fast access to subscriber terminals
Gbit	Gigabit

ggf.	gegebenenfalls
GIS	Geographische Informationssysteme
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GPON	Gigabit passive optical network
HK	Hauptkabel
HÜV	Hausübergabeverteiler
HVt	Hauptverteiler
ID	Identifikation
i. d. R.	in der Regel
i. e. S.	im engeren Sinne
i. V. m.	in Verbindung mit
IP	Internet Protokoll
ISDN	Integrated Services Digital Network
KK	Kabelkanal
KKA	Kabelkanalanlagen
km	Kilometer
KS	Kabelschacht
KTNB	Kostenträgerschaft des Netzbetreibers
KVz-TAL	Kabelverzweiger Teilnehmeranschlussleitung
KVz-AP	Kabelverzweiger Alternativ Produkt
lfd.	laufend
LRIC	Long-Run-Incremental-Cost
LWL	Lichtwellenleiter
m	Meter
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
Mbit	Megabit
MEA	Modern Equivalent Asset
MFG	Multifunktionsgehäuse
mm	Millimeter
MPoP	Metropolitan Point of Presence
MSAN	Multi Service Access Node
MST	Minimum Spanning Tree
ND&KRM	Nichtdiskriminierungsverpflichtungen und Kostenrechnungsmethoden (verwendet für EU-Empfehlung über einheitliche Nichtdiskriminierungsverpflichtungen und Kostenrechnungsmethoden zur Förderung des Wettbewerbs und zur Verbesserung des Umfelds für Breitbandinvestitionen (2013/466/EU) zitiert als „ND&KRM-Empfehlung“)
NGA	Next Generation Access
NIBIS	Niedersächsisches Bodeninformationssystem

NP	Nicht Polynomial
NRB	Nationale Regulierungsbehörde
NRW	Nordrhein-Westfalen
ODF	Optical Distribution Frame
öG	öffentlicher Grund
OLT	Optical Line Terminator
ONT	Optical Network Terminator
ONU	Optical Network unit
P2P	Point to Point (Punkt zu Punkt)
P2MP	Point to Multipoint
PG	Privatgrund
PLZ	Postleitzahl
PON	Passive optical network
PoP	Point of Presense
PTMP	Point to Multipoint
RAB	Regulatory Asset Base
rd.	rund (etwa)
RFoG	Radio Frequency over Glass
SMP	Significant Market Power
SWD	Staff Working Document
TAE	Telekommunikationsanschlusseinheit
TAL	Teilnehmeranschlussleitung
TKG	Telekommunikationsgesetz
TWDM-PON	Time and wavelength division multiplexed passive optical network
VATM	Verband der Anbieter von Telekommunikations- und Mehrwertdiensten
VDSL	Very High Speed Digital Subscriber Line
VZB	Verzweigerbereich
VzK	Verzweigerkabel
WIK	Wissenschaftliches Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste
XG.fast	Weiterentwicklung von G.fast
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil

1 Einleitende Bemerkungen

Das Analytische Kostenmodell Anschlussnetz für das Teilnehmeranschlussnetz dient seit 1998 der Unterstützung der Entgeltermittlung in Beschlusskammerverfahren. Es wird insbesondere für die Bestimmung von Investitionswerten für ein bundesweites effizientes Anschlussnetz verwendet. Neben dem Einsatz für das zentrale Vorleistungsprodukt Teilnehmeranschlussleitung (TAL) findet es auch bei der Kabelverzweiger-TAL (KVz-TAL), dem Zugang zu Kabelkanalanlagen (KKA) und dem Zugang zur unbeschalteten Glasfaser direkt Anwendung. Seine Ergebnisse gehen ferner in die Preisfindung für die auf den Anschlusslinien aufbauenden Produkte wie dem Kabelverzweiger-Alternativprodukt (KVz-AP), den Bitstromprodukten und den Mietleitungen ein.

Entsprechend den Vorgaben der Empfehlung soll die Weiterentwicklung ermöglichen, teilweise bzw. vollständig aus Glasfaserleitungen bestehende Kommunikationsnetze (NGA) abbildbar zu machen. Zugleich liegt der Fokus der Anwendung des Modells gemäß Empfehlung weiterhin auf der Bestimmung der Entgelte von kupferbasierten Vorleistungsprodukten. Dabei sind die konkreten Vorgaben hinsichtlich der anzuwendenden Kostenrechnungsmethode der Empfehlung der EU-Kommission "über einheitliche Nichtdiskriminierungsverpflichtungen und Kostenrechnungsmethoden zur Förderung des Wettbewerbs und zur Verbesserung des Umfelds für Breitbandinvestitionen" (2013/466/EU) i. V. m. der Empfehlung der EU-Kommission "über den regulierten Zugang zu Zugangsnetzen der nächsten Generation (NGA) (2010/572/EU)" zu beachten.

Nicht zuletzt aufgrund dieser Vorgaben sollen neben dem Kupferleitungsnetz auch moderne NGA-Anschlussnetztechnologien modelliert werden können und die empfohlenen Mechanismen zur Ermittlung der Entgelte implementiert werden.

Die Weiterentwicklung des Kostenmodells zur Version 3.0 berücksichtigt das in § 27, Abs. 2, S. 1 TKG verankerte Konsistenzgebot.

Das hier beschriebene Dokument hat die Kosten von NGA-Netzen zum Gegenstand. Diese sollen die Basis für eine Berechnung der Kosten der entbündelten Teilnehmeranschlussleitung nach Maßgabe der EU-Empfehlung über einheitliche Nichtdiskriminierungsverpflichtungen und Kostenrechnungsmethoden bilden. Das vorliegende Dokument stellt die relevanten Beziehungen zwischen Input- und Outputgrößen in nachvollziehbarer Form dar. Das Modell ist so angelegt, dass Kosten auf der Basis von nicht unternehmensspezifischen Daten ermittelt werden können, es aber zugleich möglich ist, solche Daten, dort wo sie verfügbar sind, in die Berechnungen miteinzubeziehen. Fokus liegt auf der Berechnung der Investitionswerte. Indirekte Investitionen sowie Miet- und Betriebskosten werden unter Rückgriff auf Zuschlagsfaktoren abgebildet. Diese sind außerhalb des Modells zu bestimmen.

Das auf den folgenden Seiten dargestellte Kostenmodell stellt einen analytischen Ansatz dar, der auf einer allgemein zugänglichen Wissensbasis sowie auf Erkenntnissen

bisheriger Kostenberechnungen die Kostenstruktur von Telekommunikationsanschlussetzen auf wesentliche Beziehungen reduziert. Die Bundesnetzagentur hat die Angemessenheit dieser Reduktion mit der Veröffentlichung des Dokuments am 2. Mai 2018 einer Konsultation durch den Markt unterzogen, dessen Ziel es war, eine akzeptierte Methodologie zu etablieren, die als Grundlage zukünftiger Regulierungsentscheidungen technologieneutral¹ über die Höhe von Zugangsentgelten dienen kann. Die von den Marktteilnehmern eingebrachten Kommentare wurden analysiert und bewertet. Eine Dokumentation dessen findet sich in einem separaten Dokument² "Anpassungen des Analytischen Kostenmodells für das Anschlussnetz AKM-AN Version 3.0 – Auswertung der Stellungnahmen –". Das hier vorliegende Dokument ist das Ergebnis des Konsultationsverfahrens.

Das Dokument hat die folgenden zentralen Kapitel.

- Zunächst werden die Anforderungen an die Bottom-up-Kostenmodellierung eines Next Generation Access Networks (NGA) ausgeführt. Dieser Teil beinhaltet die Zielgrößen der Kostenmodellierung sowie die rechtlich-regulatorischen Rahmenbedingungen (Kapitel 2).
- Im zweiten Hauptabschnitt wird der Aufbau von kupfer- und glasfaserbasierten Anschlussnetzen sowie die Konzeption der Kostenmodellierung dargelegt. Ausgehend von einer Bestandsaufnahme möglicher NGA-Anschlussnetzarchitekturen erfolgt eine Eingrenzung der mit dem Modell rechenbaren NGA-Architekturen. (Kapitel 3)
- Im nächsten Kapitel wird der generische Modellierungsansatz unter Berücksichtigung von Glasfaser-Spezifika detailliert. Es werden Parameter spezifiziert, mit Hilfe derer eine architekturenspezifische Bottom-up-Modellierung operationalisiert werden soll. (Kapitel 4)
- Die modellalgorithmische Umsetzung anhand der benötigten Eingangsparameter wird im anschließenden, eigenständigen Kapitel erläutert. (Kapitel 5)
- Im letzten Hauptabschnitt erfolgt eine Darstellung des Modelloutputs. Dieser Abschnitt beinhaltet sowohl die bewerteten und unbewerteten Zielgrößen der Anschlussbereiche heruntergebrochen auf einzelne Investitionsgrößen als auch deren Aggregation zu durchschnittlichen Kosten pro Anschlussleitung. (Kapitel 6 und 7)

¹ Wir verstehen in diesem Zusammenhang unter technologieneutral, dass aus der Implementierung des Kostenmodells keine unmittelbare Festlegung für die Beschlusskammervorfahren hinsichtlich der zu modellierenden Anschlussstechnologie erwächst.

² Die Auswertung der Stellungnahmen wurde auf der Homepage der Bundesnetzagentur veröffentlicht (www.bundesnetzagentur.de/akm-an).

2 Zielgrößen und rechtlich-regulatorische Rahmenbedingungen der Kostenmodellierung

2.1 EU-Empfehlung 2013/466/EU und Anforderungen an die Kostenmodellierung

Die Empfehlung über einheitliche Nichtdiskriminierungsverpflichtungen und Kostenrechnungsmethoden zur Förderung des Wettbewerbs und zur Verbesserung des Umfelds für Breitbandinvestitionen (2013/466/EU, im Folgenden „ND&KRM-Empfehlung“) soll dazu dienen, mit Blick auf die Auferlegung von SMP-Verpflichtungen in den Märkten 3a und 3b der Empfehlung 2014/710/EU (früher: Märkte 4 und 5 der Empfehlung 2007/879/EC) gemäß Artikeln 10 und 13 der Zugangsrichtlinie 2002/19/EC (Verpflichtung zur Nichtdiskriminierung und Verpflichtungen zur Preiskontrolle und Kostenrechnung) eine einheitliche Anwendung – sowohl hinsichtlich der bestehenden Kupfernetze als auch der entstehenden NGA-Netze – sicherzustellen.³

2.1.1 NGA-Kostenmodellierung

Ziffern 30 und 31 der Empfehlung führen aus, dass **für den Fall der Auferlegung einer strikten Preiskontrollverpflichtung im Sinne einer Kostenorientierung** die NRA eine Bottom-up-LRIC+-Kostenmethode (Ausgangspunkt der Netzdimensionierung ist somit die erwartete Nachfrage) zur Bestimmung der Vorleistungsentgelte heranziehen soll; dies gilt grundsätzlich sowohl für die Bestimmung von Kupfer- als auch NGA-Vorleistungsentgelten.⁴ Die Ziffern 30 bis 37 der Empfehlung beschreiben schließlich die Ausgestaltung der sogenannten „empfohlenen Kostenrechnungsmethode“.

Die Regulierungsbehörde sollte dabei mithilfe eines Kostenmodells stets (originär) die Kosten eines **modernen effizienten Netzes**, welches laut Kommission einem NGA-Netz entspricht, bestimmen, selbst wenn für entsprechende NGA-Vorleistungsprodukte im Sinne der Ziffern 48 und 49 von einer strikt kostenorientierten Preiskontrolle (zugunsten eines wirtschaftlichen Replizierbarkeitstests (kurz: ERT)) abgesehen wird.

Die Entgelte für rein kupferbasierte Vorleistungsentgelte sollen hingegen aus dem NGA-Modell abgeleitet werden.

³ In diesem Zusammenhang spezifiziert die ND&KRM-Empfehlung auch die bereits in der NGA-Empfehlung in den Ziffern 25 und 36 angelegten Bedingungen, unter denen von einer strikt kostenorientierten Entgeltregulierung für Zugangspreise abgesehen werden kann, (vgl. Ziffern 48 und 49 der Empfehlung).

⁴ EU Commission: Staff Working Document (SWD(2013) 329 final) Impact Assessment, S. 42: “This costing methodology is proposed to be applied to all copper networks, as well as to NGA networks in circumstances where NRAs consider price control obligations appropriate, having found that the non-discrimination safeguards cannot be implemented and competitive safeguards are not present.”

Bei der Festlegung des effizienten NGA-Netzes belässt die Kommission Freiheitsgrade. Ein solches NGA-Netz muss gemäß Ziffer 32 zumindest die Ziele der Digitalen Agenda der EU-Kommission in Bezug auf Bandbreite und Versorgungsgrad (flächendeckende Versorgung mit min. 30 Mbit/s bis 2020)⁵ und Verbreitungsgrad (50 % der Haushalte in der EU mit Verträgen mit min. 100 Mbit/s bis 2020) erfüllen und ganz oder teilweise aus optischen (Glasfaser-)Elementen bestehen. Freiheitsgrade bestehen im Hinblick auf die angenommene Netzarchitektur, die von FTTC (VDSL) bis zu irgendeiner FTTH-Architektur reichen kann und den nationalen Gegebenheiten bestmöglich entsprechen sollte.

Die Kommission formuliert in ihrer Empfehlung zwei zentrale Merkmale, die bei der Kostenmodellierung zu berücksichtigen sind:

- **Keine vollständige Neuerrichtung wiederverwendbarer baulicher Anlagen:** Es soll berücksichtigt werden, dass bestimmte bestehende bauliche Anlagen des Kupfernetzes auch für ein NGA-Netz im Allgemeinen nutzbar sein können und insofern keine vollständige Neuerrichtung baulicher Anlagen erfolgt. Diesem Umstand ist bei der Modellierung bzw. Bewertung⁶ Rechnung zu tragen (vgl. Ziffer 32 ND&KRM-Empfehlung).
- **Beseitigung des inflationären Volumeneffekts.** Gemeint ist hiermit der bei Modellierung eines reinen Kupfernetzes entstehende Anstieg der pro Kupferanschluss anfallenden Kosten aufgrund einer rückläufigen Nutzung bzw. Anzahl von Kupferleitungen durch die sukzessive Migration von Kupfer- zu NGA-Anschlüssen im Netz des SMP-Betreibers⁷ (vgl. Erwägungsgrund 39 und Ziffer 41 ND&KRM-Empfehlung).

⁵ Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der Empfehlung waren dies die festgelegten Zielgrößen der Digitalen Agenda. Im September 2016 hat die Kommission die Zielgrößen aktualisiert; das Update der Digitalen Agenda sieht vor, dass bis 2025 eine flächendeckende Abdeckung aller Haushalte mit min. 100 Mbit/s besteht (wobei die zu Grunde liegenden Infrastrukturen auf 1 Gbit/s erweiterbar sein sollen).

⁶ Die Kommission sieht für bestehende und (für ein NGA) wiederverwendbare, nicht-replizierbare bauliche Anlagen vor, dass diese in die Regulatorischen Kapitalbasis (RAB, regulatory asset base) zu Wiederbeschaffungskosten unter Berücksichtigung der bereits erfolgten Abschreibungen (sogenannte Indexierungsmethode) eingehen. Vollständig abgeschriebene Anlagen dieser Art sind nicht mehr zu berücksichtigen (vgl. Ziffern 32-34 der ND&KRM-Empfehlung).

⁷ Der Anstieg der Kosten pro Anschluss allerdings, der sich durch die vollständige Migration in andere Netze (d. h. in Kabel- und Mobilfunknetze sowie die Glasfasernetze alternativer Anbieter) ergibt, ist gemäß der Empfehlung nicht abzufangen, vgl. Impact Assessment S. 44.

2.1.2 Überlagerndes NGA-Modell und Beibehaltung der bisherigen Kostenrechnungsmethode

Die Kommission eröffnet Möglichkeiten, von einer Kostenbestimmung auf Basis der Modellierung eines NGA-Netzes abzuweichen. Unter **definierten Voraussetzungen**⁸ können alternativ

- ein überlagerndes NGA-Modell (Overlay) (Ziffer 37., Satz 3) oder
- die bisherige Kostenrechnungsmethode (Ziffer 40.)

zur Anwendung kommen.

Der in diesem Referenzdokument dargelegte Ansatz zielt auf die Modellierung eines originären NGA-Netzes ab, auf dessen Basis eine Ableitung der entsprechenden Kupfer-Vorleistungsentgelte erfolgen kann.

Die ND&KRM-Empfehlung geht hinsichtlich ihrer Festlegungen – insbesondere mit Blick auf die Bewertung – über die für einen Bottom-up-Ansatz erforderlichen Festlegungen hinaus. Der hier beschriebene Ansatz stellt auf eine Bottom-up-Modellierung ab, an dessen Ende sowohl ein Mengen- als auch Wertgerüst steht, auf das der Regulierer die Bewertungsmaßstäbe der ND&KRM-Empfehlungen anwenden kann.

2.2 Zielgrößen des zu erstellenden Bottom-up-Modells

2.2.1 Anwendungsbereich und Zielsetzung

Zielgrößen der Kostenmodellierung sind wie dargestellt grundsätzlich sowohl kupferbasierte und als auch NGA-basierte Vorleistungen. Zielsetzung ist die Berechnung der Kosten eines NGA-Anschlussnetzes. Auf dieser Basis sollen Kosten für kupfer- als auch NGA-basierte Vorleistungen ermittelt werden. Eine dabei zu beachtende **Kernanforderung** der ND&KRM-Empfehlung ist die **Stabilität der Entgelte für vollständig auf Kupfertechnik basierenden Vorleistungen**.⁹ Methodische Anpassungen der Kommission erfolgen mit besonderem Fokus auf diese Zielsetzung. Dies sind die bereits genannten Anforderungen in Bezug auf zum einen die **Tilgung des inflationären Volumeneffekts** bei der Modellierung des Netzes an sich, zum anderen die **Bewer-**

⁸ Die in der EU-Empfehlung formulierten Voraussetzungen sind im Anhang dargelegt.

⁹ Die stabilen Kupferentgelte sollen als Kupferanker der NGA-Entgelte dienen. Definition der Kommission in Ziffer 6c: Der Kupferanker ist ein kostenorientiertes Kupferleitungszugangsprodukt auf der Vorleistungsebene, das die NGA-Preise insofern beschränkt, als die Preisbildung bei NGA-Diensten von der Bereitschaft der Verbraucher abhängt, für die zusätzlichen Kapazitäten oder Funktionen zu bezahlen, die ein NGA-gestütztes Endkundenprodukt im Vergleich zu einem kupferleitungsgestützten Endkundenprodukt bietet.

tung der nicht-replizierbaren baulichen und wiederverwendbaren Anlagen des einmal modellierten Netzes unter Anwendung der Indexierungsmethode auf die RAB.¹⁰

Der Anwendungsbereich für die NGA-Kostenmodellierung ergibt sich insbesondere für diejenigen kupferbasierten Anschlussprodukte, die bisher vollständig oder teilweise unter Anwendung des bestehenden Analytischen Kostenmodells für das Anschlussnetz bzw. dessen Erweiterungen ermittelt wurden. Davon betroffen sind:

- Kosten der **TAL und KVz-TAL** werden auf Basis des Analytischen Kostenmodells Anschlussnetz unter Anwendung einer Bottom-up-Methodik berechnet.
- Kosten für die Überlassung von **Leerrohren und unbeschalteten Glasfasern im Hauptkabel-Segment (HK-Segment)** auf Basis des erweiterten und modifizierten Analytischen Kostenmodells Anschlussnetz berechnet.
- Kosten der **Anschlusslinie bei Bitstromzugangsprodukten** (Layer 2 Ethernet und Layer 3 IP) werden unter Rückgriff auf die TAL bzw. KVz-TAL sowie die Kostenmodellierung für die unbeschaltete Glasfaser berechnet.
- Kosten der **Anschlusslinie bei CFV** (kupfer- und **glasfaserbasiert**) – kupferbasierte Anschlusslinien werden aus den Kosten der TAL abgeleitet, glasfaserbasierte Anschlusslinien werden aus den Trassenkosten der TAL sowie den HK-Segment-Berechnungen der unbeschalteten Glasfaser berechnet.

Die Erweiterungen des bestehenden Analytischen Kostenmodells für das Anschlussnetz beinhalteten zwar eine Kostenberechnung für Glasfaserlinien im HK- und Verzweigerkabelsegment (VzK-Segment), diese basiert jedoch zum Teil auf top-down abgeleiteten Durchschnittsgrößen. Mit der hier verfolgten Entwicklung und Anwendung eines NGA-Modells soll es möglich sein, die glasfaserspezifischen Kosten sowohl für das HK- als auch für das VzK-Segment originär bottom-up zu ermitteln. Dazu werden neben dem Massenmarkt weitere Anschlusstypen, die die Rolle von Kostenträgern ausüben, wie beispielsweise Mobilfunkantennenstandorte oder Hotspots, nach Möglichkeit ebenfalls GIS-referenziert in die Bottom-up-Modellierung mit einbezogen.¹¹

Für die Umsetzung der EU-Empfehlung ist der Kostenmodellierung eine geeignete NGA-Architektur zu Grunde zu legen („Modellierung des hypothetischen effizienten NGA-Netzes in Abhängigkeit von der den nationalen Gegebenheiten“ Ziffer 37. der EU-

¹⁰ Von einer Berücksichtigung bereits vollständig abgegebener Anlagen in der RAB soll dabei abgesehen werden. Damit wird bezweckt, eine übermäßige Rückgewinnung des eingesetzten Kapitals zu unterbinden.

¹¹ In dem bestehenden Modell für die kupferbasierte Anschlussleitung wurden bisher andere Kostenträger ausschließlich unter Anwendung von globalen Beilauffaktoren berücksichtigt. Eine Konkretisierung findet sich Abschnitt 4.4.1.

Empfehlung). Wie bereits ausgeführt, besteht keine Einschränkung hinsichtlich der Festlegung der NGA-Architektur innerhalb des Spektrums FTTC bis FTTH. In diesem Dokument erfolgt **keine** Konkretisierung der in Deutschland vorzusehenden „geeigneten“ NGA-Technologie. Vielmehr soll das Modell für die Bestimmung der Kosten verschiedener NGA-Technologien ausgelegt werden. Das Spektrum an NGA-Architekturen, die mit dem Modell rechenbar sein können, wird im Anschluss an die Darstellung der NGA-Technologien in Abschnitt 3.2.3 erfolgen.

2.2.2 LRIC+ und Modifikationen der Kostenrechnungsmethode

Die Verwendung von Glasfasertechnologie entspricht den Anforderungen des Forward-Looking-LRIC-Kostenmaßstabs: Ein heute in den Markt eintretender effizienter Anschlussnetzbetreiber würde für den Aufbau eines Anschlussnetzes Glasfasertechnologie verwenden.

Mit dem Kostenmaßstab wird darüber hinaus auf ein Inkrement abgestellt, für welches die Kosten zu ermitteln sind. Dies ist im hier betrachteten Fall die Anschlussnachfrage des Massenmarktes für Telefon- und Breitbandanschlüsse. Auf dieser Basis erfolgt die nachfragegetriebene Dimensionierung der Netzelemente. Die Anwendung des Kostenmaßstabs erfordert die Berücksichtigung der Kostenteilung mit anderen Diensten. Dies kann unter Rückgriff auf einen Total-Service- oder – wie in der Regel im Fall der Bottom-up-Modellierung – über einen Total-Element-Ansatz erfolgen. Der Zusatz „+“ stellt sicher, dass sämtliche Kosten (inkl. Gemeinkosten) auf die Dienste (Anschlussnachfragen) verteilt werden. Die Bewertung der Netzelemente erfolgt zu aktuellen Marktpreisen.¹²

Die Umsetzung des LRIC+-Kostenmaßstabs wird in der ND&KRM-Empfehlung – wie in Abschnitt 2.1 ausgeführt – an verschiedenen Stellen modifiziert. Dies betrifft die Bewertung nicht replizierbarer, für ein NGA-Netz wiederverwendbarer baulicher Anlagen (Indexierung der noch nicht vollständig abgeschriebenen, nicht-replizierbaren für ein NGA-Netz wiederverwendbaren baulichen Anlagen). Da beim Forward-Looking-LRIC+-Ansatz der betrachtete hypothetische effiziente Investor gerade erst im Begriff ist, sein Netz zu errichten, bietet ein Bottom-up-Modell keinen Aufsatzpunkt für die Bestimmung (Feststellung) „noch nicht vollständig abgeschriebener Anlagen“. Hierzu bedarf es offensichtlich eines Rückgriffs auf die Rechnungslegungsdaten des bestehenden Netzes, um diesen Anteil feststellen zu können. Die EU-Empfehlung thematisiert nicht das Zusammenspiel der formulierten Vorgaben und lässt offen, wie die geforderten Transformationen zu bewerkstelligen sind: Es findet sich kein Hinweis darauf, dass Buchwerte und bottom-up-modellierte Kosten genuin unterschiedliche Größen konstituieren und wie diese ineinander zu überführen sind. Es bedarf daher zusätzlicher Annahmen bzw.

¹² Für wiederverwendbare bauliche Anlagen soll die Indexierungsmethode unter Zugrundelegung der RAB Anwendung finden, siehe Abschnitt 2.1.

Vereinbarungen, um die Mengen- und Wertgerüste von historischen Buchwerten einerseits und hypothetischen, effizienten Mengen- und Werten andererseits ineinander zu überführen.

Eine weitere methodische Hürde entsteht aus der EU-Anforderung, eine Rückrechnung der NGA-Kosten auf die Kupfertechnologie zu vollziehen. Um diese Brücke vom (zumindest teilweise) auf optischen Elementen beruhenden NGA-Netz auf die kupferbasierten Vorleistungen zu schlagen, ist nach Maßgabe der ND&KRM-Empfehlung die „[...] Kostenkalkulation für das modellierte NGA-Netz so an(zu)passen, dass diese den unterschiedlichen Merkmalen der ganz auf Kupferleitungstechnik beruhenden Vorleistungszugangsdienste Rechnung trägt.“ (Ziffer 37 der EU-Empfehlung). Zu diesem Zweck sollten die NRB in ihrem NGA-Modell gegebenenfalls die Kostendifferenz zwischen beispielsweise einem FTTC-/FTTH-Zugangsprodukt und einem rein auf Kupferinfrastrukturen basierenden Zugangsprodukt schätzen, indem sie die optischen Komponenten durch effizient bepreiste Kupferleitungstechnik ersetzen (Ziffer 37, Satz 1 und 2).

Wie diesen beiden Transformationen im Rahmen einer Bottom-up-Modellierung methodisch Rechnung getragen werden kann, erläutern wir in den nachfolgenden Schritten :

Dazu abstrahieren wir zunächst von dem Problem des Auseinanderfallens von dem Mengengerüst des Ist-Netzes und dem des effizient modellierten NGA-Netzes und unterstellen, dass beiden dieselben Mengen zu Grunde liegen. Nun soll für das Ist-Netz eine Indexierung der noch nicht vollständig abgeschriebenen, wiederverwendbaren baulichen Anlagen erfolgen, so dass diese zu Wiederbeschaffungspreisen bewertet werden. Unter der weiteren Annahme, dass sämtliche wiederverwendbaren baulichen Anlagen noch nicht vollständig abgeschrieben sind, erfolgt daher sowohl nach der Indexierungsmethode unter Rückgriff auf die Buchwerte als auch nach Maßgabe einer Bottom-up-Kostenmodellierung eine vollständige Bewertung zu Wiederbeschaffungspreisen.¹³ Insofern kann von einer Äquivalenz von Indexierung und Bottom-up-Kostenmodellierung ausgegangen werden.

Sofern nun aber nicht replizierbare, für ein NGA wiederverwendbare bauliche Anlagen zumindest teilweise vollständig abgeschrieben und noch in Nutzung sind, muss die RAB entsprechend gekürzt werden. Derartige Informationen lassen sich lediglich (und dies i. d. R. nicht uneingeschränkt) anhand der Rechnungslegung des regulierten Un-

13 Mit Blick auf die Kapitalkosten kann in Abhängigkeit des Betrachtungszeitpunkts eine Abweichung bestehen. Dies liegt darin begründet, dass bei einer Bottom-up-Kostenmodellierung generell von einer durchschnittlichen Kapitalbindung ausgegangen wird. Sofern die buchhalterische Abschreibung davon abweicht, kann damit entweder ein höher oder niedriger Kapitaldienst verbunden sein. – Diese Thematik gilt jedoch losgelöst von der EU-Empfehlung, und ergibt sich aus den unterschiedlichen Bemessungsgrundlagen (Buchwerte einerseits und Bottom-up-Modellierung eines effizienten Markteinsteigers).

ternehmens nachvollziehen¹⁴ und sind nicht aus einer Bottom-up-Modellierung ableitbar. Auch hier sei zunächst unterstellt, dass die Mengengerüste beider Informationssysteme übereinstimmen und die Mengeninformationen aus der Rechnungslegung sich 1:1 auf das bottom-up-modellierte Mengengerüst übertragen lassen. In diesem Fall gilt, dass das Mengen- und auch Wertgerüst nach Maßgabe des Anteils der vollständig abgeschriebenen Anlagen zu reduzieren ist.

Für den Fall abweichender Mengengerüste aus den beiden Informationssystemen halten wir es – mangels alternativer Indikatoren – für angemessen, den Anteil vollständig abgeschriebener Anlagen, wie er sich aus den Ist-Werten der Rechnungslegung ergibt, auf das bottom-up-modellierte Mengengerüst des effizienten NGA-Netzes anzuwenden, um den Kürzungsbetrag für die RAB zu bestimmen. Diese methodische Vorgehensweise fand bereits im Rahmen der letzten TAL-Entscheidung 2016 Anwendung.

Eine weitere Umsetzungsherausforderung stellt die Notwendigkeit der Rückrechnung der NGA-Kosten in Kosten der kupferbasierten Vorleistungsprodukte dar. Dies stellt eine mit der Transformation von Buchwerten und Modellwerten vergleichbare Problematik dar: Letztlich ist davon auszugehen, dass die Mengengerüste von glasfaserbasierten und kupferbasierten Anschlussnetzen voneinander abweichen.¹⁵ In welchem Umfang diese Abweichungen relevant sind, hängt insbesondere von dem gewählten Modellierungsansatz ab.

2.2.3 Relevantes Inkrement – Netzdimensionierung und Kostenzurechnung

Ein Bottom-up-LRIC-Ansatz erfordert eine Definition des zu betrachtenden Inkrements. Hierzu wurde im vorstehenden Unterabschnitt auf die Anschlussnachfrage des Massenmarktes für Telefon- und Breitbandanschlüsse Bezug genommen.

An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass zu unterscheiden ist zwischen

- dem hier vorzustellenden Modellierungsansatz und den damit verbundenen methodischen Anforderungen an die Eingangsparameter zur Berücksichtigung der Anschlussnachfrage einerseits und
- der Entscheidung des Modellanwenders im Rahmen der Modellbefüllung, welche Anschlussnachfragen berücksichtigt werden sollen, andererseits.

Im Kontext der Erstellung von Geschäftsplänen und zugehörigen Kosten des Ausbaus von NGA-Netzen wird i. d. R. auf die Erschließung von Besiedlungsflächen abgestellt.

¹⁴ Es ist davon auszugehen, dass diese Informationen nicht selbstverständlich vorliegen, u. a. aufgrund von Rechtsformänderungen (verbunden mit Rechnungslegungsvorschriften) sowie steuerrechtlichen Abschreibungen, welche in regulatorisch angemessene zu überführen sind. Im TAL Verfahren 2016 wurde jedoch gezeigt, dass diese Hürden überwunden werden konnten.

¹⁵ Dies ist vor allem strukturbedingt der Fall.

Um die Kosten für die Auslegung des NGA-Netzes zu bestimmen, wird dabei auf die sog. „Homes passed“ rekurriert. Diese repräsentieren das realisierbare Kundenpotential, welches über die ausgelegte Infrastruktur erreicht werden kann. Entsprechend werden bei diesem Ansatz bei der Netzauslegung und Dimensionierung des Anschlussnetzes sämtliche „Homes passed“ (d. h. anschließbaren Haushalte) berücksichtigt. Auf dieser Basis kann über die Variation der Anzahl angeschlossener Haushalte („Homes connected“) berechnet werden, ab wann ein Geschäftsplan erfolgreich ist.

Im Kontext der regulatorischen Kostenermittlung könnte der Ansatz „Homes passed“ jedoch auch als eine Operationalisierung für eine Nachfragereserve angesehen werden. Anstelle auf eine Zuschlagskalkulation kann auf eine explizite Berücksichtigung von nicht aktiven Anschlüssen im Ausbaubereich bzw. Anschlussbereich für die Netzdimensionierung zurückgegriffen werden. Es ist selbstredend, dass ein derartiger Ansatz die Verfügbarkeit der entsprechenden GIS-referenzierten Angaben voraussetzt.

Eine Erhebung und Festlegung der dimensionierungsrelevanten Anschlussnachfrage – im Sinne des relevanten Inkrements – erfolgt im Zuge eines Beschlusskammerverfahrens und ist nicht Gegenstand dieses Referenzdokuments.

Gemäß Empfehlung soll mit der BU-LRIC+-Methode die Deckung der einem effizienten Betreiber entstehenden Gesamtkosten für den Aufbau eines modernen Netzes möglich sein. Diesbezüglich wird auch auf die „**erwartete** Nachfrage“ (Hervorhebung nur hier), die also nicht notwendigerweise der aktuellen entspricht, als Grundlage der Dimensionierung verwiesen (vgl. Erwägungsgründe 29 und 30).¹⁶

Losgelöst von der Frage, ob nur angeschlossene oder auch alle anschließbaren Haushalte bei der *Netzauslegung* zu berücksichtigen sind, verdeutlicht die Empfehlung, dass für die Frage der Kostenzurechnung – zur Beseitigung des inflationären Volumeneffekts – jedenfalls keine Unterscheidung bei der Gesamtnachfrage nach kupfer- und NGA-basierten Anschlüssen erfolgen soll (vgl. 2.1.1). Nur Anschlüsse, die auf das Breitbandkabel oder mobile only migriert sind, sollen „als Kostenträger“ **keine** Berücksichtigung finden. Nach der Logik der ND&KRM-Empfehlung ist das folgerichtig, da diese Anschlüsse für den SMP-Betreiber keine Kostendeckung realisieren können.

¹⁶ Die Ausführung in der ND&KRM Empfehlung, dass das Netz auch dem Versorgungsziel der Digitalen Agenda entsprechen solle, kann so verstanden werden, dass die zugrunde zu legende Anschlussnachfrage sich an einer „Homes-passed-Rationalität“ orientiert.

3 Anschlussnetzarchitekturen (Kupfer/Glasfaser) und Besonderheiten von Glasfaseranschlussnetzen

3.1 Anschlussnetz – Definition und Kostenmodellierung

Die Funktion des Teilnehmeranschlussnetzes liegt in der Anbindung des Endkunden an das Verbindungs- bzw. Breitbandnetz. Diese Anbindung erfolgt durch die Bereitstellung einer Infrastruktur für die Nachrichtenübertragung zwischen dem Abschlusspunkt der Linientechnik (APL) im Gebäude des Teilnehmers und dem netzseitigen Leitungsabschluss, der Schnittstelle zum nachgelagerten Breitbandnetz.

Die herkömmliche Abgrenzung zwischen Anschluss- und Verbindungsnetz basierte u. a. auf einem technischen Merkmal: der ungeteilten Überlassung des Anschlussmediums Kupferdoppelader. Ökonomisch ist der Kostentreiber (eine CuDA pro Anschluss) für die Grenzziehung zwischen Anschlussnetzsegment und Verbindungs- bzw. Breitbandnetz bestimmend.

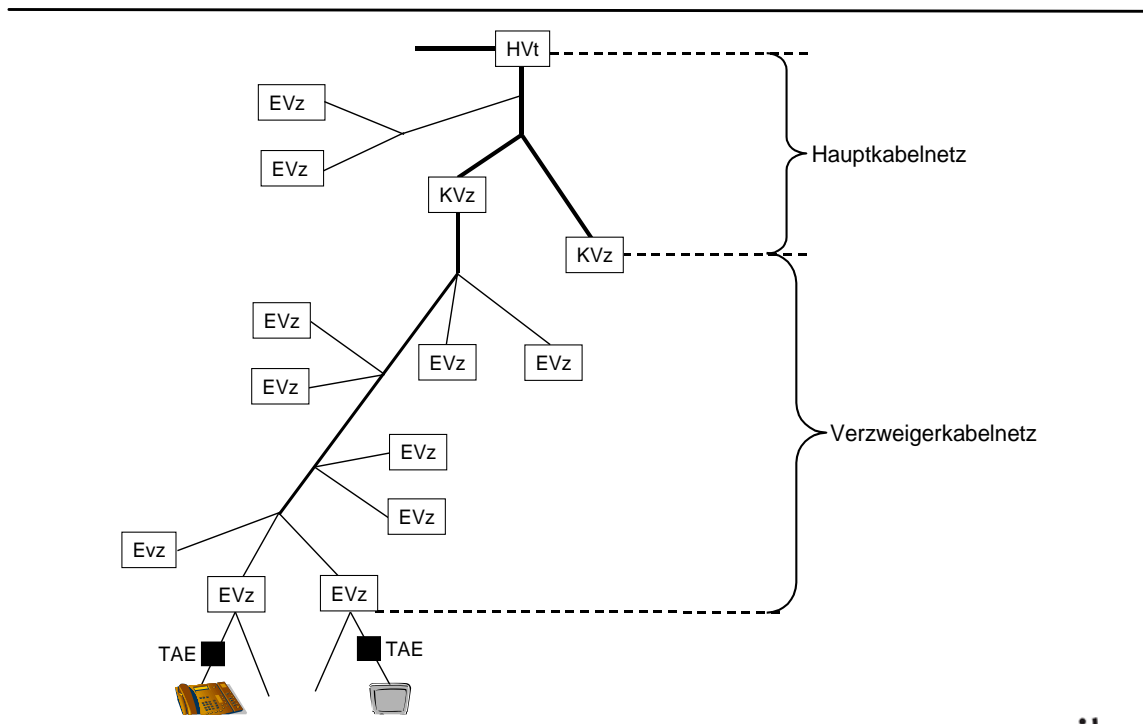
Der nachfolgende Abschnitt soll ein allgemeines Verständnis zum Aufbau des Teilnehmeranschlussnetzes anhand der herkömmlichen Kupferarchitektur vermitteln. Darauf aufbauend wird an späterer Stelle auf die Besonderheiten optischer Anschlussinfrastruktur eingegangen.

3.1.1 Aufbau des kupferbasierten Anschlussnetzes

Im herkömmlichen Kupferanschlussnetz erfolgte die Dimensionierung des Anschlussnetzes und der einzelnen Endkundenanschlüsse nutzungsunabhängig, d. h. unabhängig von der Verbindungs- oder Verkehrsnachfrage (der Nutzungsintensität) der einzelnen Teilnehmer. Als Kostentreiber fungierte der einzelne Endkundenanschluss, die Anzahl der Endkundenanschlüsse sowie deren räumliche Verteilung.

Als weiteres Merkmal wurde die exklusive Überlassung einer Kupferdoppelader für jeden Endkunden herausgestellt, anhand dessen die Separierung von Anschlussnetz und Verbindungsnetz festgemacht wurde. Somit endete das Netz an der ersten konzentrierenden Einrichtung nachgelagerter Übertragungsnetze, wo der Teilnehmer nicht mehr auf exklusiv ihm allein vorbehaltenen Netzressourcen zurückgreifen konnte. Die konzentrierenden Einheiten von Übertragungsnetzen befanden sich in den Gebäuden der klassischen Hauptverteiler. Das Teilnehmeranschlussnetz erstreckte sich folglich vom

Abbildung 3-2: Baumstruktur eines reinen Kupferkabelnetzes



Legende: HVt – Hauptverteiler, KVz – Kabelverzweiger,
EVz – Endverzweiger (=Abschlusspunkt Linientechnik, APL)
TAE – Teilnehmer-Anschluss-Einheit

Das Teilnehmeranschlussnetz wird in Haupt- und Verzweigerkabelnetz¹⁹ zerlegt. Das Hauptkabelnetz schließt kernnetzseitig mit dem Hauptverteiler ab. Die Schnittstelle zwischen Hauptkabelnetz und Verzweigerkabelnetz bildet der Kabelverzweiger (KVz). Der Verzweigerbereich, dessen linientechnischer Aggregationspunkt dem HVt entspricht, wird als starres Netz²⁰ bezeichnet.

Im kupferbasierten Anschlussnetz konstituieren die Standorte der Kabelverzweiger (KVz) generische Aggregationspunkte, u. a. um auf sich ändernde Nachfragemengen reagieren zu können. Der KVz ist letztlich ein flexibler Schaltverteiler, der es – unter Vorhaltung von Reservekapazitäten – ermöglichen soll, zusätzliche Endkunden zu bedienen oder die Kapazität von Endkundenanschlüssen durch die Vervielfachung der bereitgestellten CuDA zu erhöhen, vorausgesetzt, es gibt eine ausreichende Anzahl CuDA im Hauptkabel. Losgelöst von dieser Rangierfunktionalität stellt der KVz-Standort einen linientechnischen Aggregationspunkt dar, der viele Verzweigerkabel in einem Hauptkabel zusammenführt. Funktional kann daher der Verzweigerbereich als eine

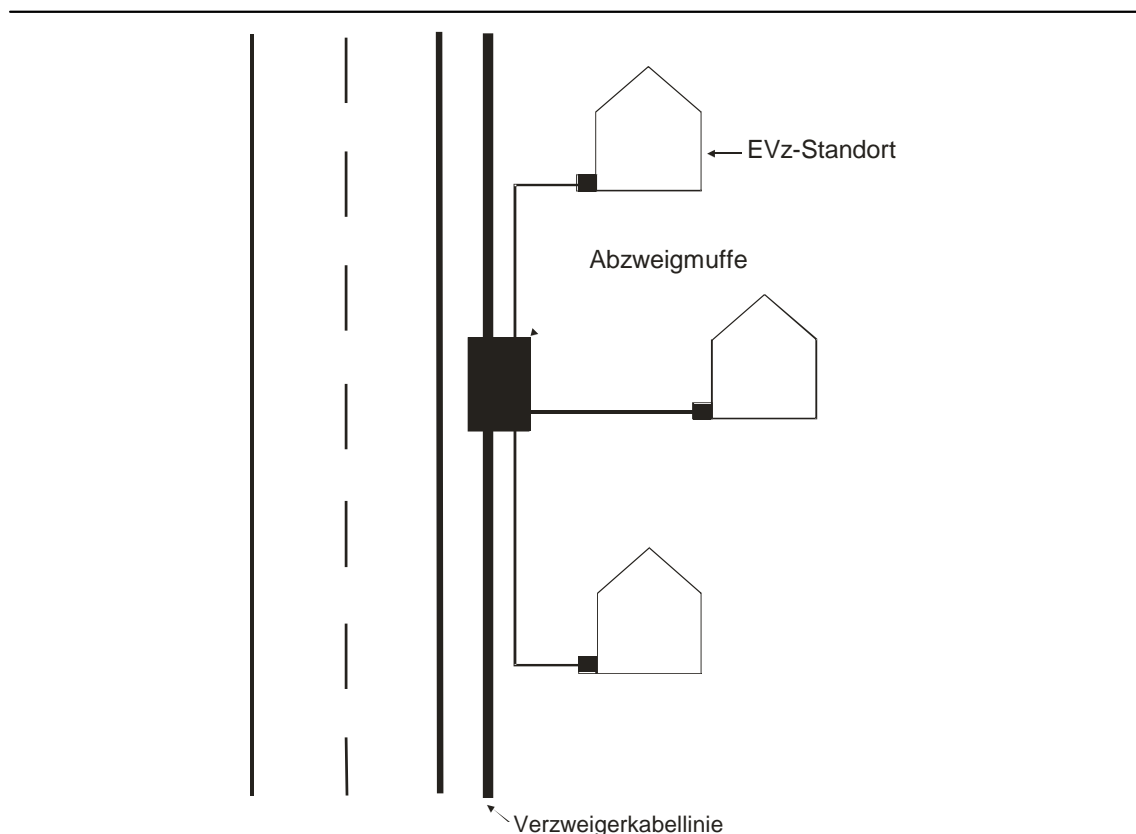
¹⁹ Das Verzweigerkabelnetz wird zum Teil auch als Verzweigungskabelnetz bezeichnet.

²⁰ Das starre Netz bezeichnet den Verzweigerbereich, dessen Anschlusslinien direkt auf den Hauptverteiler geschaltet werden, ohne intermediäre KVz zu durchlaufen. Im Netz der DTAG wird dieser Bereich als A0-Bereich bezeichnet.

(erste) Konzentrationsstufe und das Hauptkabelsegment als eine zweite Aggregationsstufe angesehen werden.

Das Verzweigeretz kann weiter in das Verzweigerkabelsegment i.e.S. und das Endkabelsegment, welches die Hauszuführung beinhaltet, zerlegt werden. Schnittstellen sind hier Verzweigerpunkte in Form von Abzweigmuffen, die ein oder mehrere Gebäude versorgen (siehe Abbildung 3-3).

Abbildung 3-3: Abzweigmuffen und Endverzweiger



3.1.2 Netzelementbasierte Investitionsmodellierung

Methodisch findet auch für die Weiterentwicklung des Anschlussnetzmodells zur Abbildung eines NGA-Netzes ein Bottom-up-Ansatz Anwendung, der dadurch charakterisiert ist, dass die gegebene bzw. prognostizierte Nachfrage den Ausgangspunkt für die Netzauslegung bildet. Für die Anschlussnetzmodellierung ist dabei die geografische Verteilung der Anschlussnachfrage je Gebäude oder Standort von zentraler Bedeutung, um den Umfang der benötigten Netzelemente zu bemessen. Die Erfassung der Nachfrage muss daher georeferenziert erfolgen.

Um die Kostenvorteile, die sich aus einer Verbundproduktion ergeben, zu berücksichtigen, sind methodisch daher entweder sämtliche Nachfragen bei der Bottom-up-Modellierung einzubeziehen oder in Form von Kostenteilungsfaktoren abzubilden. Im Anschlussnetz handelt es sich dabei vor allem um eine Kostenteilung für eine gemeinsame Trassennutzung. Diese kann andere Anschlussnetze²¹ oder auch das Verbindungs- bzw. Breitbandnetz betreffen. Kosteneinsparungen zwischen verschiedenartigen Telekommunikationslinien (z. B. Kernnetzlinien) werden mit dem Begriff interner Beilauf beschrieben. Kosteneinsparungen entstehen aber auch durch die gemeinsame Trassennutzung mit anderen Infrastrukturen (Gas, Wasser, Strom, Verkehrssteuerung, öffentlichen Beleuchtung etc.). Letzteres wird als sog. externer Beilauf bezeichnet.

Die Investitionswertberechnung erfolgt auf Basis zentraler, kostentreibender Netzelemente. Vereinfacht lassen diese sich in

- Trassen und Kabel (mit zugehörigen Kabelverbindungen) sowie
- Schalt- und Abschlusseinrichtungen²²

unterteilen.²³ Sie werden nachfolgend noch weiter herunter gebrochen. Im Bottom-up-Modell erfolgt die Dimensionierung dieser Netzelemente nach Maßgabe der Anschlussnachfrage. D. h., die Nachfrage muss durch die Zuweisung von konfektionierten Netzelementen (Kabelstärken, Grabengrößen, Verteilerkapazitäten, ...) in hinreichender Größe/Menge befriedigt werden. Diese konfektionierten Netzelemente werden mit Preisen belegt. Sowohl die Kapazitäten als auch die zugehörigen Preise gehen als Investitionsparameter in das Modell ein.

Jedes Modell geht mit Abstraktionen und Vereinfachungen einher. Bei dem hier zu spezifizierenden Anschlussnetzmodell wird die Investitionswertberechnung auf eine überschaubare Anzahl von Netzelementen reduziert, für die die Materialkosten sowie Kosten der Installation und Inbetriebnahme zu berücksichtigen sind.

Da mit dem Modell ein generischer Ansatz verfolgt wird, der auf verschiedene Anschlussnetztechnologien anwendbar sein soll, müssen die für die Investitionswertberechnung verwendeten Netzelemente entsprechend generisch, d. h. technologieübergreifend, definiert werden. Erst die Wahl der konkreten Eingangsparameter gibt dann den Netzelementen ihren Technologiebezug.

²¹ Hierbei ist die technische Realisierung nicht maßgeblich; i.d.R. sind es Anschlusslinien für andere Endkunden-Produkte.

²² Schalt- und Abschlusseinrichtungen umfassen die Endverzweiger bei der Hauseinführung, die Kabelverzweiger als Aggregations- und Rangierkosten sowie den Hauptverteiler und die im KVz und HVt benötigten Endverschlüsse mit Trenn- oder Anschlussleisten. Folgt die Modellierung konzeptionell einem Scorched-node-Ansatz bezüglich der Hauptverteiler und der Zuordnung der Endverzweiger zu ihnen, so sind die realisierten Größenvorteile exogen gegeben und die Preisparameter sind allein bestimmend für die Kosten. Lediglich die Kosten für die KVz können durch die Auslegung einer effizienten Netztopologie optimiert werden.

²³ In glasfaserbasierten Netzen können sich architekturabhängig die Netzelemente differenzierter darstellen. Darauf wird an späterer Stelle eingegangen.

Im Einzelnen reduzieren sich die Netzelemente auf:

- Kabel (differenziert nach Verlegeart)
- Spleiße/Muffen
- Trassen (unter Berücksichtigung von Boden und Oberflächenbeschaffenheit)
- Schächte
- Abschlusseinrichtungen (EVz sowie HVt/ODF am MPoP²⁴)
- Verzweigerknoten (Kabel- bzw. Faserverzweiger)

Technologiespezifisches Equipment²⁵ ergänzt an verschiedenen Knotenpunkten des Netzes die oben aufgelisteten Netzelemente. Dazu zählen

- Splitter
- DSLAM/ONU
- MSAN inkl. Multifunktionsgehäuse (MFG)²⁶

Methodisch liegt der Bottom-up-Modellierung eine Segmentierung der Anschlusslinie in drei Abschnitte zu Grunde:

Hauszuführung:

Die nachfragegetriebene Bottom-up-Modellierung hat an den Standorten der Nachfrage ihren Ausgangspunkt für die Netzdimensionierung. Angefangen von der Anzahl der nachgefragten Anschlussleitungen (und Technologie) in einem Gebäude sind ab dem EVz Adern bzw. Fasern für das Hauszuführungskabel vorzusehen. Graben- und Kabel-länge werden durch die Entfernung von der Hauswand bis zum öffentlichen Grund (Mitte des Gehwegs) bestimmt, wo das Hauszuführungskabel in die Trasse des Verzweigerkabels übergeht.

24 Im Sinne der MPoP-Definition in der NGA-Empfehlung vom 20.09.2010 (2010/572/EU) wird MPoP im vorliegenden Dokument z. T. anstelle von HVt und/oder ODF verwendet, wenn dies als eine neutrale Bezeichnung für das Verständnis bzw. die Verarbeitung im Modell von Vorteil erscheint. Die Definition der Empfehlung lautet: „Hauptverteilerpunkt‘ (MPoP, Metropolitan Point of Presence) ist der Zusammenschaltungspunkt zwischen Zugangs- und Kernnetz eines NGA-Netzbetreibers. Er entspricht dem Hauptverteilerknoten in einem Kupferkabel-Zugangsnetz. Alle NGA-Teilnehmeranschlüsse eines bestimmten Gebiets (z. B. einer Stadt oder eines Stadtteils) werden am Hauptverteilerpunkt in einem optischen Verteilerknoten (Optical Distribution Frame, ODF) zusammengeführt. Vom optischen Verteilerknoten (ODF) werden die NGA-Teilnehmeranschlüsse mit der Kernnetzausrüstung des NGA-Netzbetreibers oder anderer Betreiber verbunden, beispielsweise über zwischengeschaltete Rückführungsverbindungen (Backhaul-Links), soweit keine Kollokation im Hauptverteilerpunkt (MPoP) erfolgt.“

25 Die Darstellung beschränkt sich hier auf die Netzelemente zwischen EVz/APL und HVt/ODF.

26 Für den MSAN und MFG erfolgt keine Investitionswertberechnung, sondern lediglich eine Betrachtung des Mengengerüsts. Diese Komponenten werden entweder im NGN-Modell für den MSAN (WIK, Analytisches Kostenmodell für das Breitbandnetz) oder im Rahmen von Entgeltregulierungsverfahren von der Beschlusskammer für das MFG festgelegt.

Begrifflich stellen wir auf „Hauszuführung“ ab, um eine Abgrenzung gegenüber der von Netzbetreibern gewählten Bezeichnung „**Endkabelsegment**“ zu vollziehen. Mit dem Endkabel wird das dem EVz zugeführte Kabel bezeichnet, welches bereits auf der Verzweigerbereichstrasse an einer Abzweigmuffe ausgeführt wird und dann noch für eine (i. d. R.) kurze Strecke gemeinsam, d. h. parallel mit dem Verzweigerkabel verläuft, bis es an der Grundstücksgrenze zum EVz in den Hauszuführungsgraben abzweigt. Insofern ist das Endkabel tatsächlich länger als der Hauszuführungsgraben und die jeweiligen Adern/Fasern auf dem Verzweigerkabelsegment kürzer als das Straßensegment.²⁷ Diese Abgrenzung im Modell ist der Methodik geschuldet, dass die Trassen- und Kabellängen auf Basis der Längen der Straßensegmente bestimmt werden und es für die Investitionswertberechnung hinreichend ist, die Anzahl von Abzweigmuffen pro Straßensegment zu bestimmen, ohne deren genaue Platzierung kennen zu müssen.²⁸

Verzweigerkabelsegment:

Auf öffentlichem Grund laufen die Anschlusslinien dann gemeinsam mit denen anderer Nachfrager (Endkundenanschlüsse) und werden stetig in Richtung Verzweigerknoten aggregiert. Die Trassen sind dabei entlang des mittels Optimierungsalgorithmen bestimmten Versorgungsbaumes und nach Maßgabe des von den auszulegenden Kabeln erzeugten Raumbedarfs auszulegen. Verlegetechniken finden ihren preislichen Niederschlag zum einen (direkt) in den Preisen zum anderen (indirekt) in größerem Raumbedarf für Gräben und Gruben.

Hauptkabelsegment:

Gleiches gilt analog für die Anbindung der Verzweigerknoten an den HVt bzw. ODF am MPoP. Die an den Verzweigerknoten gebündelte Nachfrage wird an den Abschlusspunkt des Anschlussnetzes am MPoP geführt, wobei auch hier für Anschlussnachfragen auf den Straßensegmenten hin zum MPoP eine Aggregation vollzogen wird.

Längenangaben können unter Rückgriff auf einen GIS-Straßenlayer, der in kleinteilige Straßenabschnitte segmentiert und mit den Geokoordinaten der Abschlusspunkte des Anschlussnetzes verschnitten wird, abgeleitet werden.

Für folgende Netzknoten wird unabhängig von der betrachteten NGA-Technologie eine modellendogene Dimensionierung der technischen Einrichtungen vollzogen:²⁹

Endverzweiger (EVz), die den kundenseitigen Abschlusspunkt der Linientechnik (APL) bilden, fließen unter Berücksichtigung der Anzahl nachgefragter Anschlussleitungen als Eingangsdaten georeferenziert in das Modell ein. Die Bezeichnung EVz (oder auch

²⁷ Im Modell ist das Verzweigerkabel um die Länge des Endkabels, welches auf der Verzweigerbereichstrasse verläuft, länger.

²⁸ Siehe hierzu auch die Ausführungen in Abschnitt 4.5.

²⁹ Siehe hierzu auch die nachfolgende Abbildung 3-4.

APL) wird in diesem Dokument sowohl für kupferbasierte als auch glasfaserbasierte Techniken verwendet.

Die **Verzweigerknoten** konstituieren die Aggregationspunkte der Verzweigerkabelsegmente. Dort werden die Anschlusslinien entweder zu Rangierzwecken aufgelegt bzw. gesteckt oder nach Maßgabe der Verzweigerbereichsnachfrage gespleißt. An diesen Verzweigern (im Kupferanschlussnetz als Kabelverzweiger und im Glasfasernetz als Faserverzweiger bezeichnet) entstehen Investitionen nach Maßgabe der Anschlussnachfrage (und in Abhängigkeit der Technologie). Die Anzahl und Lage der Verzweigerknoten wird modellendogen bestimmt.

Der **Verteilerknoten** ist der netzseitige Abschluss der Linientechnik des Anschlussnetzes am **Metropolitan Point of Presence (MPoP)** respektive HVt.³⁰ Die MPoP stellen für das Modell exogene Größen dar. Die Dimensionierung der Verteilerknoten ist vergleichbar mit der des Verzweigerknotens. An dem **Verteilerknoten** werden die Kupferanschlusslinien auf einem Hauptverteiler (HVt) bzw. die Glasfaseranschlusslinien auf einem Optischen Verteiler (ODF, optical distribution frame) abgeschlossen.

Die nachfragegetriebene Dimensionierung und Bewertung des Anschlussnetzes wird vollzogen unter Berücksichtigung von

- vorzuhaltenden Reserven (ökonomische und technische Reserven), die investitionswertsteigernd wirken sowie
- gemeinsamer Nutzung der Infrastruktur, die kostensenkend wirkt.

Die hier geschilderte methodische Reduktion der Anschlussnetzinvestitionen auf Linientechnik und technische Einrichtungen an den Knoten des Anschlussnetzes ist als notwendiger gemeinsamer Nenner des technologieübergreifenden Modellierungsansatzes zu verstehen.

Der Technologiebezug entsteht durch

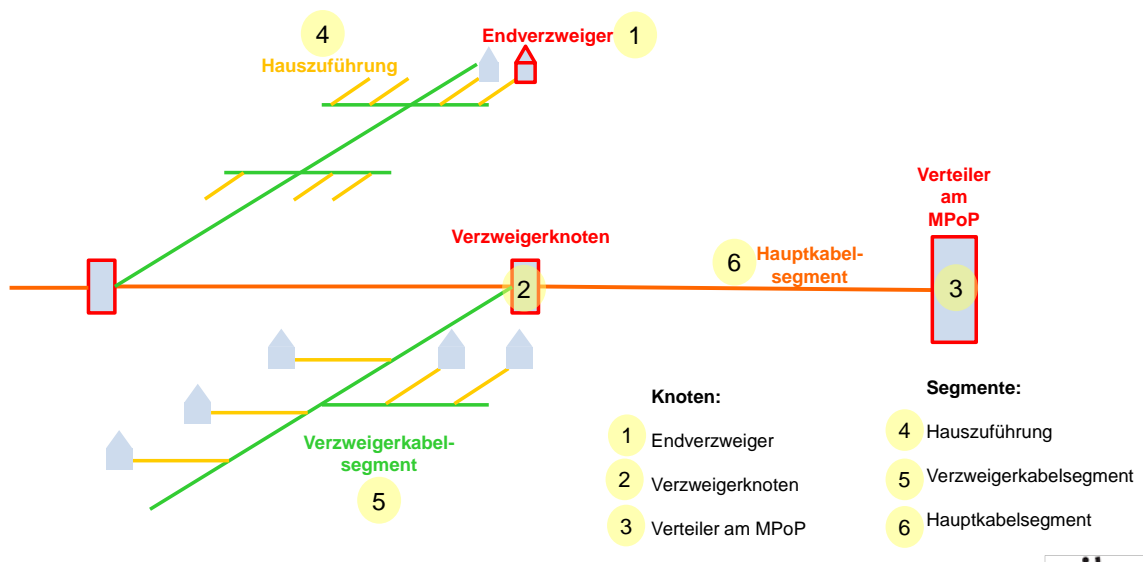
- die Berücksichtigung technologiespezifischen Equipments, welches wiederum sowohl eine individuelle Konfektionierung als auch Preisparametrisierung mit sich bringt sowie
- die technologieabhängige Aggregation von Anschlusslinien auf eine reduzierte Ader-/Fasernachfrage

In der nachfolgenden Abbildung sind die im Einzelnen bei der Investitionswertberechnung berücksichtigten Knoten und Netzsegmente illustrativ dargestellt. – Auch wenn im

³⁰ Zur Wahl des MPoP als Abschlusspunkt des Anschlussnetzes siehe auch Abschnitt 3.2.3.

Kontext von glasfaserbasierten Anschlussnetzen vielfach die Begriffe "Zuleitungs- und Ableitungsebene" verwendet werden, halten wir für die technologieübergreifende Modellierung an den Begrifflichkeiten "Hauptkabel- und Verzweigerkabelsegment" fest.

Abbildung 3-4: Investitionswertmodellierung und zu Grunde liegende Netzelemente



3.2 NGA-Architekturen

Die Entwicklung der Bandbreitennachfrage und deren netzseitige Realisierung hat in den vergangenen 15 Jahren dazu geführt, dass das bestehende rein kupferbasierte Anschlussnetz an Bedeutung verloren hat und weiterhin verliert. Mit Beginn der zivilen Nutzung des Internet erweiterte sich die Nutzung der kupferbasierten Anschlussleitung, die zuvor auf Telefonie, Fax und schmalbandige Datendienste beschränkt war. Gleichzeitig zeigten sich auch die Grenzen einer rein kupferbasierten Anschlussleitung. Seither werden Ausbaustrategien für Glasfaseranschlusssysteme sowie Alternativen zur Erhöhung der Datenübertragungsrate auf Kupferanschlusssystemen entwickelt und realisiert.

Nachfolgend wird ein kurzer Überblick zu rein glasfaserbasierten als auch zu hybriden Lösungen gegeben. Abschließend erfolgt eine Selektion der im Analytischen Kostenmodell Anschlussnetz 3.0 abzubildenden NGA-Technologien. Dabei spielt insbesondere eine Rolle, in welcher Form der Einsatz von Glasfaserkabeln im Anschlussnetz dieses strukturell und ggf. auch die Kosten bzw. Kostentreiber ändert.

3.2.1 Hybride Glasfaser / Kupferdoppelader Netze

Mit der Entwicklung der DSL-Technik wurde es möglich, auf einer rein kupferbasierten Anschlusslinie parallel zu den für Telefonie genutzten Frequenzen auf darüber liegenden Frequenzen auch Daten mit einer höheren Datenübertragungsrate zu übertragen. Dennoch ist die Übertragung breitbandiger Signale auf den bestehenden Kupferanschlussnetzen zwischen den Hauptverteilerstandorten (HVt) und den Endkunden an ihre physikalischen Grenzen gestoßen. In den bestehenden Kupfer-Anschlussnetzen können einzelne Anschlussleitungen eine Länge von bis zu ca. 7 km haben. Dies ist für eine eigentlich ab HVt eingesetzte ADSL-Übertragungstechnik bereits zu lang. Ein nennenswertes Signal kommt beim Teilnehmer nicht mehr an. Längen von 5 km erlauben bereits nur noch geringe Übertragungsraten von wenigen 100 Kbit/s.

Grundsätzlich gilt auf den im Anschlussnetz typischerweise vorhandenen Kupferdoppeladern, dass höhere Übertragungsraten nur erzielt werden können, wenn die Bandbreite des eingesetzten Frequenzspektrums steigt. Einfach ausgedrückt: Man benutzt bei gleicher Codierung einen breiteren Frequenzbereich, um mehr Informationen in derselben Zeit – schneller – übertragen zu können. Je höher die Frequenz ist, desto stärker wird das zu übertragende Signal aufgrund der frequenzabhängigen Dämpfungszunahme abgeschwächt und dies reduziert dessen Reichweite.

Eine weitere Reduzierung der Reichweiten kommt hinzu, weil die Intensität des **Nebensprechens**, d. h. der Störungen, die die einzelnen Doppeladern eines Kabels den Signalen auf den benachbarten Doppeladern zufügen, mit wachsender Übertragungsfrequenz deutlich steigt. Dieser zweite Effekt des Nebensprechens lässt sich nahezu eliminieren, wenn alle Doppeladern in einem **Vectoring** genannten Korrekturverfahren eingebunden werden. Dabei wird aus dem Wissen über alle auf den Doppeladern übertragenen Informationen die jeweilige Störung aus dem Nebensprechen auf den einzelnen Doppeladern abgeschätzt und herausgerechnet. Nachteil dieses Verfahrens ist, dass es nur funktioniert, wenn die benachbarten Doppeladern von einem Netzbetreiber beschaltet werden.³¹

Vectoring wirkt nur auf das Nebensprechen und damit auf dessen Implikation in Form von Reichweitenverkürzung³². Am Grundsatz der deutlich steigenden Dämpfungswirkung auf die Signale mit steigender Frequenz ändert sich dadurch aber nichts. D. h., für die Übertragung höherer Datenübertragungsraten müssen die Längen der Kupferdoppeladern deutlich verkürzt werden. Dies erfolgt vom Hauptverteiler in Richtung der Kabelverzweiger (KVz) und dann weiter in Richtung der Endkundenstandorte, in dem zunächst die Hauptkabel bis zum KVz durch sehr dämpfungsarme Glasfaserleitungen

³¹ Eine physische Entbündelung der Teilnehmeranschlüsse auf der Ebene gleicher breitbandiger Signale ist dadurch unmöglich und muss ggf. zurückgenommen werden. Es bleibt nur die Option eines Bitstroms, einer virtuellen Entbündelung.

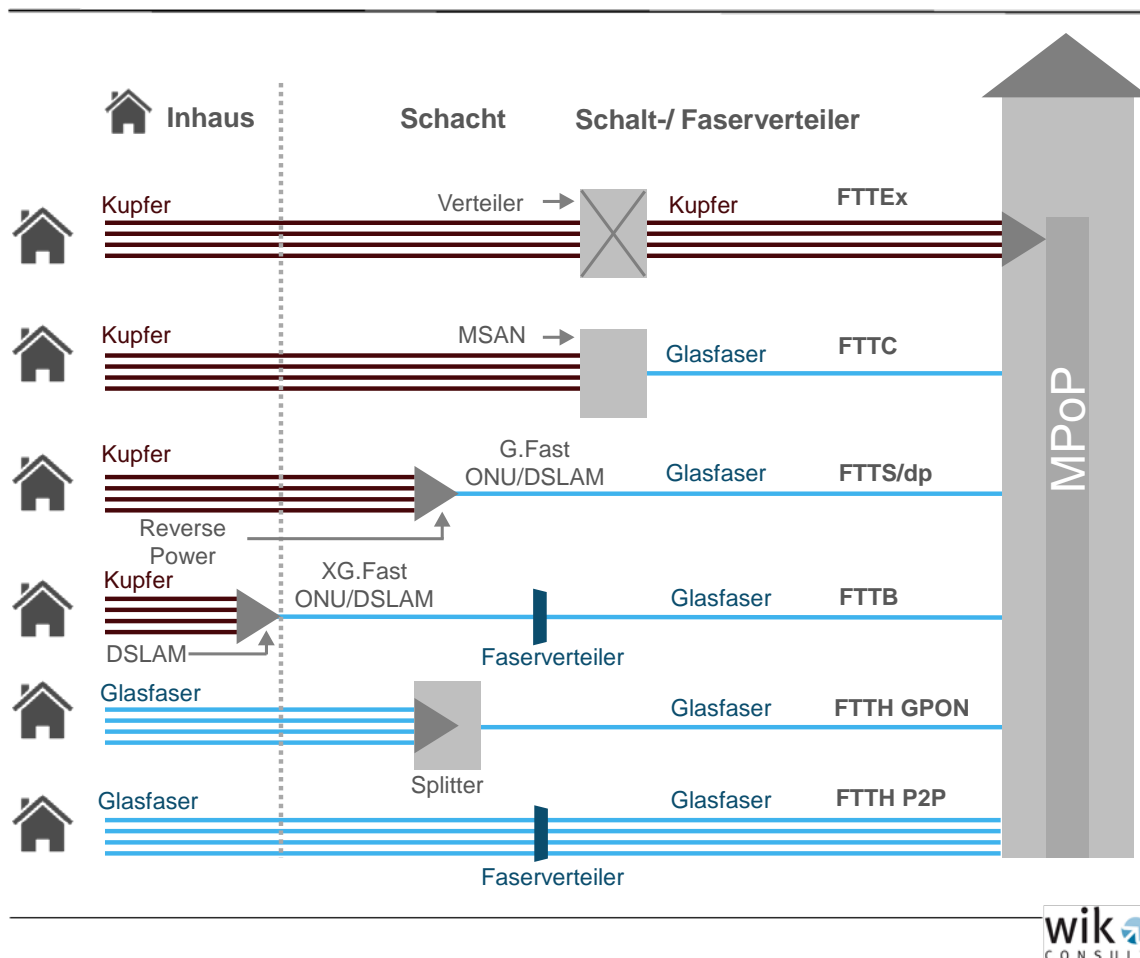
³² Plückebaum, T. (2012): VDSL, Vectoring, Bonding und Phantoming: Technisches Konzept, marktliche und regulatorische Implikationen, WIK Diskussionsbeitrag Nr 374.

ersetzt werden und die die Teilnehmeranschlussleitungen aggregierende Elektronik vom HVt an die Standorte der Kabelverzweiger verschoben werden. Zum Erreichen höherer Datenübertragungsraten müssen dann die noch kupferbasierten Verzweigerkabel weiter verkürzt und entsprechend durch Glasfaserleitungen bis kurz vor die Gebäude oder bis in die Keller dieser Gebäude hinein ersetzt werden (Abbildung 3-5). Nach Maßgabe der Reichweite der Glasfaser in Richtung Endkunde werden die NGA-Technologien sprachlich differenziert nach „Fibre to the x“ (nachfolgend abgekürzt mit FTTx), wobei die folgenden Varianten die gängigsten sind:

- FTTE_x Fibre to the Exchange (HVt)
- FTTC Fibre to the Curb/Cabinet (KVz)
- FTTS Fibre to the Street
- FTTB Fibre to the Building
- (FTTH Fibre to the Home)³³

³³ Bei FTTH handelt es sich nicht um eine hybride Lösung, sondern vielmehr um Glasfaser bis in die Wohnung.

Abbildung 3-5: Einsatz von Glasfaser in Anschlussnetztechnologien



Wird die Glasfaser nur bis zum KVz verlegt, spricht man von FTTC (Fibre To The Curb oder auch Fibre To The Cabinet). Typische Übertragungsverfahren sind VDSL2 Vectoring mit den Profilen 17a und 35b. Letzteres wird auch Supervectoring genannt.

Reicht die Glasfaser bis kurz vor das Gebäude, spricht man von FTTS (Fibre To The Street) oder FTTdp (distribution point). Das hier verwendete Übertragungsverfahren ist typischerweise G.fast.

Reicht die Faser bis in den Keller eines Gebäude hinein oder endet an dessen Außenwand, spricht man von FTTB (Fibre To The Building). Hier sind typische Übertragungsverfahren in der Reihenfolge ihrer zeitlichen Marktverfügbarkeit VDSL2 Vectoring (Profil 30a),³⁴ G.fast oder XG.fast. Für XG.fast ist wegen der sehr kurzen Reichweite (50m)

³⁴ Grundsätzlich ist Vectoring für viele Übertragungsverfahren vorgesehen und wird auch bei G.fast und XG.fast eingesetzt. Profil 30a ist in Deutschland nur bei City-Netzbetreibern im Einsatz, bei FTTB im Inhausbereich. Da ist Vectoring wegen der kurzen Längen nicht erforderlich. Dennoch sieht der Standard das für alle Frequenzbereiche vor: <https://en.wikipedia.org/wiki/VDSL>; <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.993.5/en>,

des Übertragungsverfahrens auf den Kupferdoppeladern ggf. bei größeren Gebäuden die Verlegung der Glasfaser bis auf die Etage erforderlich. Für Büroumgebungen mit standardisierter Verkabelungsinfrastruktur über 100m Kupferkabel-Länge ist XG.fast nicht geeignet, allenfalls für FTTO (Fibre To The Office) Lösungen, bei der die Glasfaser bis in die Wandsteckdosen reicht. Bei FTTH reicht die Glasfaser bis in die Wohnungen hinein und wird am CPE (Customer Premise Equipment, z. B. ein Router) abgeschlossen.

Tabelle 3-1: Merkmale von hybriden Kupfer/Glasfaseranschlussnetzen mit aktivem Equipment

Übertragungstechnologie	FTT...	Bandbreite down	Bandbreite up	Längenbeschränkung	individual/geteilt	symmetr./asymmetr.	Standard	Verteiler (HVt/ODF)
Kupferdoppelader		[Gbit/s]	[Gbit/s]	[m]				
ADSL2+	FTTC/Ex	0,01	0,004	2,600	i	a	2003	n/j
VDSL2	FTTC	0,05	0,015	400	i	a	2006	n
VDSL2 Vectoring	FTTC	0,09	0,04	400	i	a	2010	n
VDSL2 Supervect.	FTTC	0,25	0,1	300	i	a	2015	n
G.fast	FTTC/S/dp	0,5	0,5	250	i	a/s	2014	n
XG.fast	FTTB	5	5	50	i	a/s	2016	n

FTTEx – Fibre to the Exchange; FTTC – Fibre to the Curb/Cabinet; FTTS – Fibre to the Street; FTTdp – Fibre to the distribution point; FTTB – Fibre to the Building

Die Längenbeschränkung verstehen sich im Zusammenhang mit den hier angegebenen Datenübertragungsraten („Bandbreite up und down“).

Quelle: Godlovitch, I.; et al (2018) The Benefits of Ultrafast Broadband Deployment, Bad Honnef, London, 20. February 2018, <https://www.ofcom.org.uk/consultations-and-statements/category-1/wholesale-local-access-market-review>

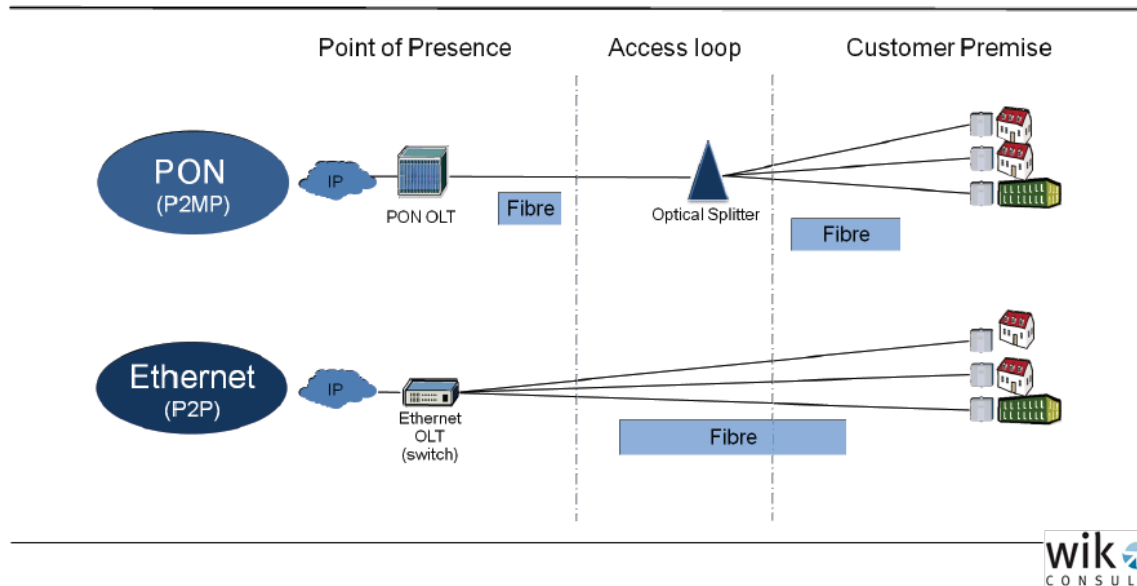
3.2.2 Reine Glasfasernetze

Bei den FTTH Netzen gibt es zwei grundsätzlich verschiedene Topologien. Entweder wird für jeden Haushalt eine eigene Glasfaser verwendet, die bis zum Verteiler (ODF am MPoP) reicht (Punkt-zu-Punkt: FTTH P2P), oder aber die Glasfasern werden schon auf dem Weg dorthin von einem passiven Splitter auf eine mit mehreren anderen Teilnehmeranschlussfasern geteilte einzige weiterführende Glasfaser konzentriert (Punkt-zu-Multipunkt). Eine Punkt-zu-Multipunkt Glasfasertopologie kann nur mit einer PON-Technologie an beiden Enden betrieben werden, die den Zugang der Übertragung auf der gemeinsam genutzten Glasfaser für die einzelnen Endkunden administriert. Bei einer Punkt-zu-Punkt Glasfasertopologie können Ethernet-Endgeräte unmittelbar an einen Glasfaseranschluss angeschlossen und darüber mit einem zentralen Ethernet Switch verbunden werden. Eine intermediäre Übertragungstechnik entfällt. In der nachfolgenden Abbildung ist im oberen Teil eine PON-Architektur und darunter eine Ethernet-Architektur dargestellt. Entsprechend der gewählten Technologie ist am MPoP zugehöriges Equipment vorzuhalten. Bei PON müssen splitterbezogen die Glasfasern auf

https://www.ericsson.com/res/thecompany/docs/journal_conference_papers/broadband_and_transpor/itu-ts_new_g_vector_standard_proliferates_100mbs_dsl.pdf

einen (PON) OLT geführt werden (der sein Pendant in den ONU auf Seiten der Endkunden hat). Bei Ethernet P2P werden die physisch entbündelbaren Glasfasern auf einen Ethernetswitch geschaltet.

Abbildung 3-6: Verschiedene FTTH-Architekturen



Quelle: FTTH Council Europe; FTTH Handbook 2017 (Edition 8), S. 35

Eine Punkt-zu-Multipunkt-Technologie (PTMP) zeichnet sich durch folgende Merkmale aus:

- Sie spart Fasern in sogenannten Hauptkabelsegment.
- Allerdings teilt sich die Lichtleistung vom zentralen Punkt durch den Splitter auf alle Fasern gleichermaßen auf. Das wirkt wie eine zusätzliche Dämpfung.³⁵ Die Zahl der Teilnehmer wird außerdem durch den Splittingfaktor von z. B. 1:32 (auch bei kaskadiert angeordneten Splittersystemen) an einer Splitterkette ist daher begrenzt.
- In der Richtung vom Endkunden zu den zentralen Punkten hin muss das Aussenden von Licht (bzw. Informationen) koordiniert werden, wie nur einer zu selben Zeit aussenden kann, ohne dass die Signale sich mischen und dadurch stören. Die weiterführende Glasfaser ist ein shared medium, das einen Administrator braucht, der die Zugriffsrechte vergibt. Die Zugriffsrechte vergibt auf der zentralen Seite ein OLT (Optical Line Terminator), der mit den ONU/ONT (Optical Network Unit (FTTH)/Optical Network Terminator (FTTB)) am anderen Ende kommuniziert. Die an den Endpunkten des Glasfaseranschlussnetzes eingesetzt-

³⁵ Typische Dämpfungen der eingebauten Splitter/Koppler sind: 7,1 dB für Splitter 1:4, 10,5 dB für Splitter 1:8, 17,1 dB für Splitter 1:32.

ten elektronischen Systeme zur Verwaltung des Glasfaserzugriffs begrenzen immer auch die Kapazität des Netzes.

Sowohl Punkt-zu-Punkt- als auch Punkt-zu-Multipunkt Glasfasernetz-Topologien bestehen aus einem passiven Faseranschlussnetz, das in sich selbst keine aktiven Komponenten aufweist. Dennoch wird im Sprachgebrauch nur die Punkt-zu-Multipunkt Topologie mit dem Splitter unter dem Namen PON (Passive Optical Network) geführt.

Die in Europa weit verbreitete Punkt-zu-Multipunkt Netzarchitektur ist unter dem Namen GPON (Gigabit PON)³⁶ bekannt. Der in dieser Architektur eingesetzte OLT begrenzt die Bandbreite auf 2,5 Gbit/s Downstream und 1,25 Gbit/s Upstream. Der Splitter kann maximal 64 Teilnehmer einkoppeln und die Kabellänge darf wegen der Dämpfung 20 km³⁷ nicht überschreiten. Viele Netzbetreiber beschalten aber nur bis zu 32 Teilnehmer. Die Nachfolgeneration XG.PON³⁸ ist gleichfalls marktverfügbar, unterstützt 10 Gbit/s Downstream und 2,5 Gbit/s Upstream, kann bis zu 128 Teilnehmer auf einen Splitter aufnehmen und Längen bis 40 km überbrücken. Im nächsten Entwicklungsschritt wurde die Upstream-Bandbreite der Downstream-Bandbreite angepasst, so dass symmetrisch 10 Gbit/s übertragen werden können (XGS.PON).³⁹ Auch diese Technik ist marktverfügbar, arbeitet jedoch auf denselben Wellenlängen wie XG.PON, so dass beide Systeme nicht gleichzeitig in demselben gesplitterten Glasfasernetz eingesetzt werden können. Hier können theoretisch bis zu 128 Kunden über einen Splitter realisiert werden, ein realistisches Splitting-Verhältnis liegt jedoch bei 1:32.

Der darauffolgende Entwicklungsschritt ist der Einsatz von Wellenlängen-Multiplex, quasi eine Vervielfachung von XGS.PON auf mehreren verschiedenen Wellenlängen parallel auf demselben Anschlussnetz. Die vierfache Kapazität wird erreicht, indem 8 anstelle von 2 Wellenlängen verwendet werden (Upstream und Downstream je eine Wellenlänge) (s. Abbildung 3-8). Diese Technologie wird NG.PON2⁴⁰ genannt.

Die nachfolgende Tabelle 3-2 stellt die Datenübertragungsraten für die verschiedenen G.PON Standards gegenüber. Dabei wird unter Rückgriff auf die Erlangwerte in der busy hour (2. Spalte) illustriert, dass dies bei den PON-Technologien wegen der ge-

36 Das GPON ist im ITU-T Standard G.984 beschrieben. GPON - Systeme sind Einfasersysteme. Dies bedeutet, dass Downstream- und Upstreamsignale in unterschiedlichen Wellenlängenfenstern auf derselben Glasfaser übertragen werden. Typischerweise verwendete Wellenlängen sind Downstream: 1490nm (1480-1500nm) und Upstream: 1310nm (1290-1330nm).

37 Die maximale optische Dämpfung zwischen OLT und ONT beträgt 28 dB (32dB bei C+ Standard), die einzuhaltende Mindestdämpfung beträgt 13 dB.

38 Das XG.PON ist im ITU-T Standard G.987 beschrieben. Genutzte Wellenlängen sind 1577 nm down / 1270 nm up.

39 Das XGS.PON ist im ITU-T Standard G.9807.1 beschrieben.

40 NG.PON2 ist im ITU-T Standard G.989 beschrieben.

meinsam als shared medium genutzten Glasfaseranbindung zum OLT auf die effektive Bandbreite durchschlägt (siehe die letzten beiden Spalten).⁴¹

Tabelle 3-2: Datenübertragungsraten verschiedener G.PON-Standards

Technologie	Erlang zur busy hour	Max. Anzahl Nutzer	Bandbreite down [Gbps]	Bandbreite up [Gbps]	Effektive Bandbreite down [Gbps]	Effektive Bandbreite up [Gbps]
GPON	0.2	30	2.5	1.25	0.4167	0.2083
XG.PON	0.2	30	10	2.5	1.6667	0.4167
XGS.PON	0.2	100	10	10	0.5000	0.5000
NG.PON2	0.2	100	40	40	2.0000	2.0000
GPON	0.1	30	2.5	1.25	0.8333	0.4167
XG.PON	0.1	30	10	2.5	3.3333	0.8333
XGS.PON	0.1	100	10	10	1.0000	1.0000
NG.PON2	0.1	100	40	40	4.0000	4.0000

Quelle: Plückerbaum, T.; Held, C.; Neumann, K.H.; Gleichstellung Mobilfunk – Festnetz im Hinblick auf die Förderfähigkeit beim Breitbandausbau in Österreich, Bad Honnef, Wien, Juni 2015

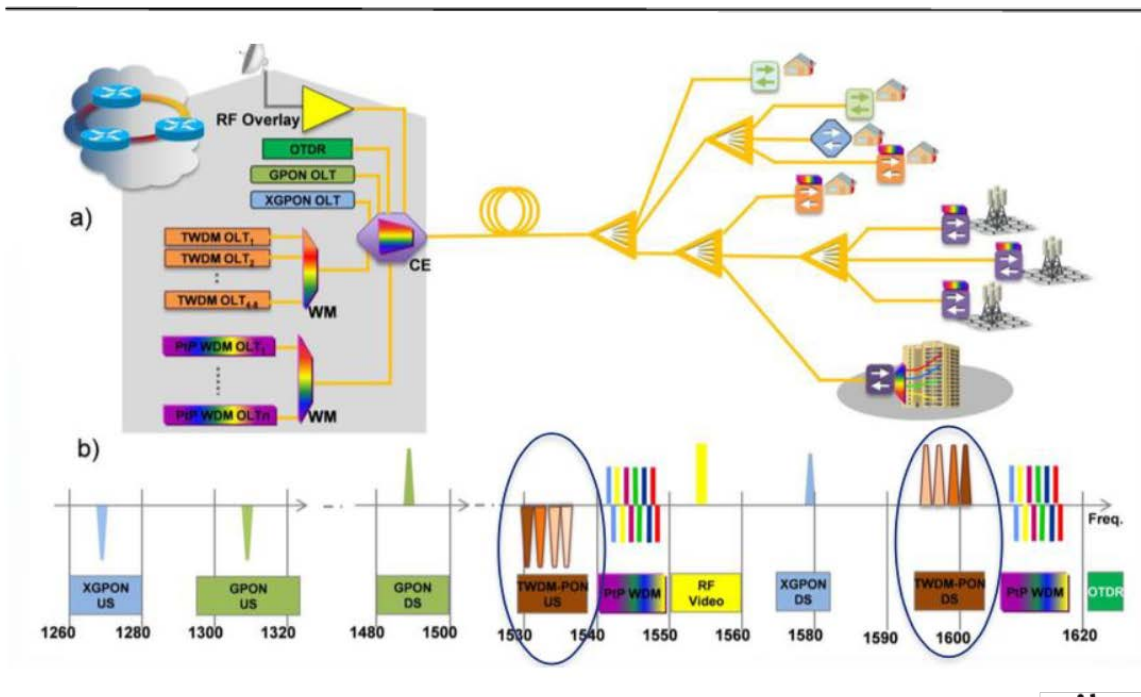
In den Evolutionspfad eingeschlossen ist als Fernziel auch die Ergänzung um weitere Wellenlängen, die es erlauben, einzelne (Geschäfts-)Kunden mit einem individuellen Punkt-zu-Punkt-Kanal zu erschließen (TWDM.PON).⁴² Alle diese Entwicklungen erfolgen in einem aufeinander abgestimmten Wellenlängenplan im Glasfaseranschlussnetz, der ein Nebeneinander der Technologien unter Berücksichtigung der RFOG-Signale für CATV-Netze erlaubt (Ausnahme: XG.PON und XGS.PON).

⁴¹ Die Werte in der Tabelle leiten sich aus folgenden Annahmen ab: Aus der Splitting-Kapazität von max 1:64 bei G.PON und 1:256 bei XGS.PON und aufwärts nehmen wir in der Praxis ca. 50% angeschlossene Kunden an. Diese Zahl haben wir zur einfacheren Rechnung abgerundet. Der Erlang-Wert gibt hier vereinfacht an, wie viele Kunden in der Busy Hour gleichzeitig aktiv sind. Zum Beispiel ergeben dann in der letzten Zeile der Tabelle 0,1 x 100 Kunden = 10 gleichzeitig aktive Kunden. Diese teilen sich die Downstream-Bandbreite zu gleichen Teilen, so dass jeder Kunde 4 Gbit/s nutzen kann, symmetrisch, weil der Upstream hier genauso groß ist.

⁴² Zu Eigenschaften von NG.PON2 bzw. TWDM.PON siehe unter anderem FTTH Council (2017): FTTH Handbook, Edition 8, S. 36 f oder Carroll, M., et al (2015): FSAN Highlights & NG-PON2 Standards Update;

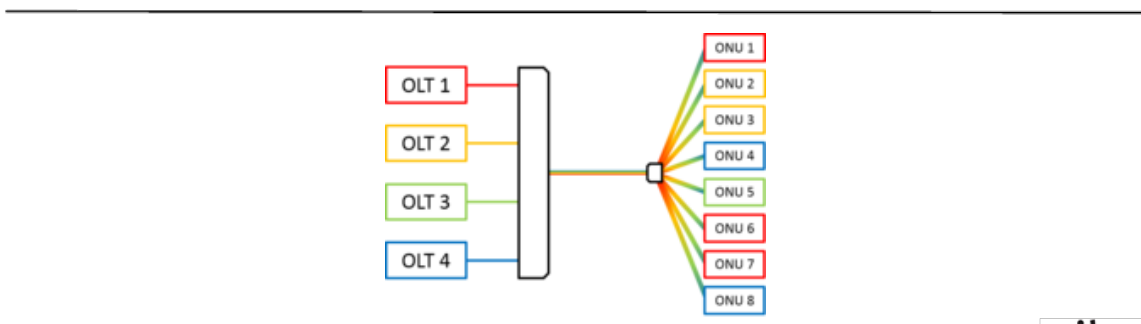
http://www.ieee1904.org/events/2015_02_joint_session/js_1502_fsan.pdf

Abbildung 3-7: ITU-T G.987 Wellenlängenplan



Quelle: : FTTH Council Europe; FTTH Handbook 2017 (Edition 8), S. 39

Abbildung 3-8: NG-PON2 oder TWDM-PON erlaubt bis zu 4 parallele XG.PON-Netze auf unterschiedlichen Wellenlängen



Quelle: WIK/Wikipedia

Die zuvor vorgestellten Topologien und Systeme können prinzipiell sowohl für FTTH als auch für FTTB eingesetzt werden. Ein wesentlicher Vorteil von FTTB ist aus der Perspektive einer Kupfer-Glasfaser-Migration, dass die vorhandene kupferbasierte Infrastruktur innerhalb des Gebäudes weiterverwendet werden kann und die Installation von Glasfasern auf dem letzten Segment zum Endkunden entfällt. Dieser Vorteil wird aber zum Teil wieder aufgewogen durch die zusätzlichen Kosten für das FTTB CPE, das zusätzlich im Keller installiert werden muss. Zudem sind auf den Kupferkabeln eher

betriebliche Probleme⁴³ zu erwarten, als dies bei optischen Inhausleitungen zu erwarten wäre. Und natürlich unterliegen die Kupferleitungen abhängig vom Übertragungsverfahren den bereits zuvor geschilderten Bandbreitenbeschränkungen und einer Längenabhängigkeit. Letztere Beschränkung gewinnt mit steigenden Datenübertragungsraten an Bedeutung.

Der Einsatz von Splittern in G.PON-Anschlussnetzen kann unterschiedlich erfolgen. Generell gilt, dass der Splitter zwischen den beiden Abschlusspunkten der Linientechnik (EVz und OLT) aufzustellen ist. Es sind folgende Optionen zu unterscheiden:

- Die Kapazität des Splitters (unter Berücksichtigung der für die Endkunden verfügbaren Datenübertragungsrate) kann als bestimmende Größe herangezogen werden. Der Splitter wird dann möglichst nah an die zu versorgenden Gebäude gestellt, um eine maximale Fasereinsparung im Hauptkabelsegment zu realisieren. Je dichter die Gebäude bzw. Nachfrager beieinander liegen, desto kürzer fallen dann die Anschluss-individuellen Glasfaserlinien aus.
- Die Splitter werden beim MPoP am OLT aufgestellt, so dass die Realisierung der PON-Technologie auf einer P2P-Glasfasertopologie aufsetzt. Die Vorteile einer solchen Realisierung liegen in den Porteeinsparungen auf dem nachgelagerten Equipment des Breitbandnetzes einerseits sowie in der zukunftsicheren Auslegung der passiven Infrastruktur andererseits, die zudem die Option bietet, einzelne Glasfaseranschlussleitungen am MPoP physisch zu entbündeln und nur so viele Splitter und OLT aufzubauen, wie Kunden / Gebäude an das Breitbandnetz angeschaltet werden.
- Splitter können kaskadiert werden. Dies ist insbesondere in Regionen mit einer geringen Nachfrage vorteilhaft. Hier kann mittels Kaskadierung eine bessere Auslastung erzielt werden. Problematisch ist jedoch der starre Charakter dieser Architektur. Zukünftig zu bedienende Endkunden müssen schon bei der Auslegung der Splitter eingeplant werden, sofern eine Reduktion der Datenübertragungsraten der bereits bedienten Endkunden vermieden werden soll.⁴⁴

⁴³ Kupferkabel sind grundsätzlich empfindlich für elektromagnetische Interferenzen und daraus resultierende Störungen, entweder aus benachbarten Doppeladern des Telekommunikationskabels selbst (z. B. auch Diskussion um breitbandige Übertragung verschiedener Übertragungsverfahren und Vectoring (VDSL Profile 17a, 30a, 35b, G.fast, XG.fast)) oder aus Schaltvorgängen in der elektrischen Gebäudeversorgung (z. B. Aufzugmotoren, Waschmaschinen und Staubsauger).

⁴⁴ Eine Kaskadierung von Splittern hat im Ausbau bereits bestehender Netze bzw. Glasfaserkapazitäten eine andere Relevanz als bei der vollständigen Neuerrichtung eines Anschlussnetzes im Sinne einer Bottom-up-Modellierung.

3.2.3 Auswahl der NGA-Technologien für das Analytische Kostenmodell Anschlussnetz 3.0

Der Modellierungsansatz hat den Anspruch generisch zu sein und eine LRIC+-Kostenberechnung für verschiedene NGA-Technologien zu erlauben. In den beiden voranstehenden Unterkapiteln wurden sowohl hybride Kupfer/Glasfaser- als auch reine Glasfaseranschlussnetze vorgestellt. Da zu jeder Technologie und jedem Standard spezifische Investitionsparameter vorzuhalten sind und auch nennenswerte Freiheitsgrade in der Netzarchitektur bestehen, soll trotz des Anspruchs einer generischen Modellierung eine Beschränkung auf eine maßgebliche und damit überschaubare Zahl von NGA-Technologien erfolgen. Für diese soll dann im weiteren Verlauf des Dokuments die methodische Vorgehensweise ausgeführt werden.

Die zu modellierenden NGA-Technologien umfassen:

(1) FTTC Vectoring:

Die Berücksichtigung von FTTC Vectoring ergibt sich aus der empirischen Relevanz dieser in Deutschland zur Zeit am weitesten verbreiteten NGA-Technologie.

(2) FTTH P2P Ethernet

Die Überlassung einer Glasfaser für jeden einzelnen Anschluss repräsentiert die zukunftssicherste NGA-Technologie und stellt die zweite Randlösung der zulässigen NGA-Technologien gemäß EU-Empfehlung dar.

(3) FTTB G.fast

Gegenüber FTTH P2P reduziert sich bei dieser Technologie der Glasfaserbedarf i. d. R. auf die Anzahl der anzuschließenden Gebäude. Mit der Bereitstellung aktiven Equipments (ONU/DSLAM) im Gebäude (FTTB) können die Wohneinheiten im Gebäude über die kupferbasierte Inhausverkabelung breitbandig versorgt werden. Die G.fast-Technologie wurde mehrfach weiterentwickelt. Wir erachten derzeit XG.fast als die relevante Ausprägung. Da der Modellierungsansatz generisch ist, werden wir im Dokument als vereinfachende Bezeichnung „G.fast“ wählen. Erweiterungen des Standards resultieren in Änderungen von Datenübertragungsraten sowie Preis- und Systemparametern.

(4) FTTH PON P2MP

Die PON-Technologie erlaubt verschiedenste Architekturen. In diesem Modell soll sie mit dem Splitter „auf dem Feld“ realisiert werden. Dieser konstituiert bei dem gewählten Modellierungsansatz gleichzeitig den Verzweigerknoten. Die PON-Technologien wurden ebenfalls mehrfach weiterentwickelt. Hier erachten wir derzeit XGS-PON als die relevante Ausprägung. Auch in diesem Fall werden wir im Dokument die allgemeine Darstellungsform „PON“ wählen, wobei der beschriebene Modellierungsansatz generisch ist und über Parameteränderungen an die jeweiligen Standards angepasst werden kann.

Wir verzichten sowohl auf die Berücksichtigung einer Kaskadierung von Splittern als auch auf die Positionierung des Splitters auf den EVz-Standort oder den ODF am MPoP. Die erste Variante entspräche linientechnisch einer FTTB-Lösung, die zweite Variante der FTTH P2P Ethernet. Abweichende Kosten ergeben sich lediglich durch die Berücksichtigung von Splittern anstelle von DSLAM bzw. einer Vielzahl von kundenseitigen Ethernet-Ports am MPoP, die durch den Einsatz von Splittern am MPoP relevant reduziert werden könnten. Derartige Kostenberechnungen können auf Basis des vom Modell erzeugten Mengengerüsts auch nachträglich – außerhalb des Modells – durchgeführt werden.

Bezugnehmend auf Abbildung 3-5 werden somit NGA-Technologien im Modellierungsansatz erfasst, deren glasfaserbasierte Realisierung in Richtung Endkunde zunimmt: FTTC Vectoring und FTTH PON P2MP mit nur einer Glasfaser / Doppelfaser vom MSAN/Splitter zum MPoP, wobei der Splitterstandort i. d. R. näher am Endkunden liegt als dies beim MSAN-Standort der Fall ist.⁴⁵ FTTB G.fast kommt der FTTH P2P Ethernet Lösung sehr nahe, unterscheidet sich jedoch im Faserbedarf, da für den Inhausbereich auf bestehende Kupferkabel zurückgegriffen wird. Die Investitionswertberechnung für den Inhausbereich liegt außerhalb des Modells. Die Kosten der Inhausverkabelung werden in Deutschland grundsätzlich nicht den Kosten für die Teilnehmeranschlussleitung zugerechnet, weil diese i. d. R. vom Gebäudeeigentümer beigestellt wird. Sie fließen daher auch bei den FTTH-Ausbauvarianten nicht in die Berechnungen ein.

Trotz des Erfordernisses aktiven Equipments ist davon auszugehen, dass die passive Infrastruktur nach wie vor maßgeblich den Investitionsumfang bestimmt. Vor diesem Hintergrund sind die strukturellen Unterschiede in der Realisierung der Anschlussnachfrage für die Bestimmung der Kosten der Linientechnik ausschlaggebend (Kupferadern oder Glasfasern sowie Einsparung von Fasern unter Einsatz aktiven oder passiven Equipments).

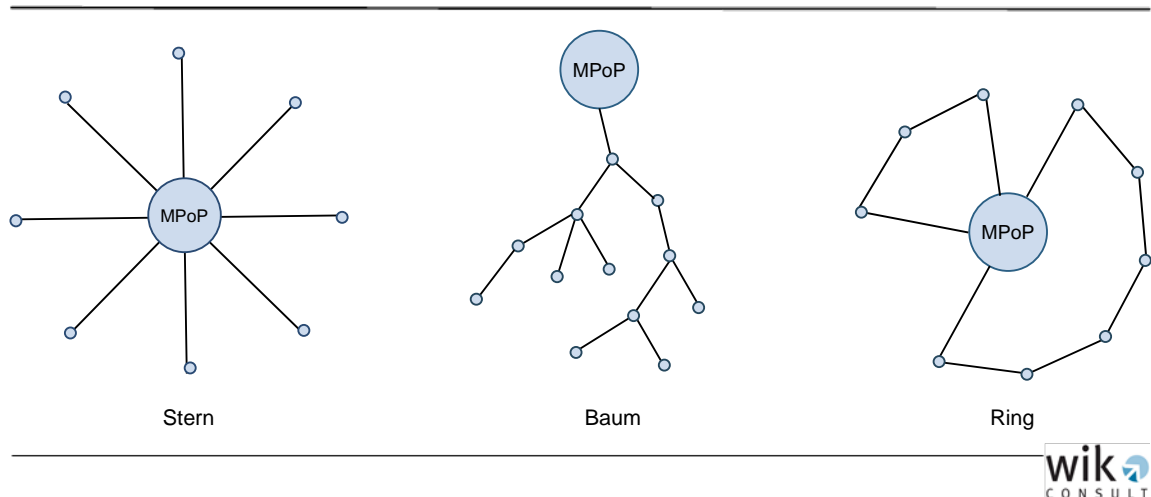
3.2.4 Auswahl der NGA-Netztopologie für das Analytische Kostenmodell Anschlussnetz 3.0

Für den gewählten Modellierungsansatz ist neben der Technologie die Netztopologie, d. h., die physikalische Auslegung des Netzes von großer Bedeutung. Prinzipiell kann

⁴⁵ Diese Beschränkungen ergeben sich zum einen aus den maximalen Einblaslängen der Glasfaser-Mikrokabel, die mit einem Durchmesser von max. 2,5 mm in Mikrorohre erfahrungsgemäß zwischen 750 und 1.000 m Einblaslänge aufweisen. Dem stehen max. VDSL-Reichweiten von ca. 1.500m bei einem Aderdurchmesser von 0,5 mm entsprechend 24dB/km bei 1 MHz gegenüber. Auch lassen sich Beschränkungen aus dem Splittingverhältnis ableiten. Diese Beschränkung lässt sich jedoch durch eine Vervielfachung der Splitter am Standort überwinden. Ökonomisch ist dies jedoch weniger vorteilhaft als bei einer Verlegung von Kupferkabeln, die bei einer Aggregation der CuDA-Nachfrage im Kabel weitere Größenvorteile mit sich bringen kann. Dies ist bei einer Verlegung von Mikrorohren pro Endverzweiger nicht möglich.

diese sich sowohl auf die Kabel als auch auf die Trassen beziehen. Es lassen sich sternförmige, baumförmige und ringförmige Topologien unterscheiden.

Abbildung 3-9: Topologien von Anschlussnetzen – Anbindung der Verzweigerknoten an den MPoP



Die Realisierung von Punkt-zu-Punkt-Anschlusslinien erfolgt in der Regel sternförmig und somit nicht redundant. Die Kabelführung erfolgt aus Kostengründen soweit möglich in gemeinsamen Trassen und Kabeln, so dass von einer weitestgehend baumförmigen Topologie der Infrastruktur gesprochen werden kann. Wie bereits in Abschnitt 3.1.1 dargelegt, liegt diese Topologie dem kupferbasierten Anschlussnetz sowohl im Verzweiger- als auch im Hauptkabelsegment zu Grunde.

Bei glasfaserbasierten Anschlussnetzen könnte im Hauptkabelsegment zum Teil sowohl eine Stern- als auch eine Ringstruktur angenommen werden. Ringstrukturen sind dabei lediglich im Kontext von NGA-Technologien mit aktivem Equipment relevant, d. h., im Fall von FTTC oder G.fast und deren Weiterentwicklungen.

Vor dem Hintergrund, einen generischen Modellierungsansatz formulieren zu wollen, der für verschiedene NGA-Technologien anwendbar ist, soll darauf verzichtet werden, verschiedene Topologien (im Hauptkabelsegment) zu berücksichtigen. Auch wenn glasfaserbasierte Anschlusstechnologien netzseitig des aktiven Equipments eine Ringtopologie erlauben, ist eine Sterntopologie gleichermaßen anwendbar. Die Entscheidung für eine Anwendung der Sterntopologie ist unter anderem auch dadurch motiviert, dass bei der leistungsfähigsten NGA-Technologie, der FTTH-P2P-Ethernet-Architektur, auch von der sternförmigen Realisierung auszugehen ist. Unterstellt man eine langfristige Migration der Anschlussnetze hin zu einer FTTH-P2P-Architektur, erscheint eine intermediäre Ringtopologie nicht zielführend.

Die Festlegung auf eine einheitliche und damit technologieübergreifend anwendbare Topologie hat darüber hinaus den Vorteil, dass die Ableitung der Trassen- und Kabelführung einer einheitlichen Logik folgen kann. Insofern ist die Topologiewahl auch dem generischen Modellierungsansatz geschuldet, verschiedene NGA-Technologien abbilden zu können.

3.3 Erfordernisse der Glasfaseranschlussnetzmodellierung

3.3.1 Besonderheiten der Glasfaseranschlussnetze⁴⁶

Die Bandbreitennachfrage ist der zentrale Treiber für den Ausbau von Glasfaseranschlussnetzen. Im Fokus der Bottom-up-Modellierung stehen jedoch Aspekte der Kostenrelevanz. Neben dem Merkmal hoher Datenübertragungsraten werden Glasfaseranschlussnetzen auch explizite Kostenvorteile zugesprochen. Diese betreffen zum einen die Kosten für das Medium Glasfaserkabel (preiswerter, dünner, leichter als Kupfer), zum anderen die mit der Verlegung von Glasfaserkabeln verbundenen Tiefbauarbeiten, bei denen neuartige Tiefbauverfahren genutzt werden. Weitere Besonderheiten sind spezifische Verlegetechniken, die z. T. mit technischen Eigenschaften der Glasfaser in Verbindung stehen oder auch generelle Unterschiede der NGA-Architekturen untereinander.

Um eine Einschätzung darüber zu gewinnen, in welchem Maße der bestehende Kostenmodellierungsansatz des Analytischen Kostenmodells für das NGA-Anschlussnetz zu ändern oder anzupassen war, stellten wir nachfolgende Überlegungen in Bezug auf die Kostenermittlung anhand von Netzelementen sowie den zu Grunde liegenden Modellierungsansatz an. Dabei standen zunächst die Besonderheiten von Glasfaseranschlussnetzen im Allgemeinen im Fokus. Eine Konkretisierung und Umsetzung für die Modellspezifikation erfolgt im Rahmen der Erläuterung des Modellierungsansatzes (zu den Investitionsparametern siehe Abschnitt 5.2).

Die Datenübertragung auf Glasfaserkabeln unterliegt im Vergleich zur Kupferdoppelader kaum einer Längenbeschränkung. Im Vergleich zur Kupferleitung sind auf der Glasfaserleitung technisch gesehen größere Leitungslängen möglich. Die Gründe dafür sind fehlende elektromagnetische Störeinflüsse aus Nachbaradern und der Umgebung und eine geringere Signaldämpfung auf der Glasfaserleitung. Die Erhöhung der Reichweite ermöglicht es prinzipiell, größere Versorgungsgebiete abzugrenzen. Damit kann auch eine veränderte Lage der MPoP verbunden sein.

⁴⁶ Begrifflich sollen in dem hier vorliegenden Kontext Glasfaseranschlussnetze sowohl reine Glasfaser- als auch hybride Kupfer-Glasfaser-Anschlussnetze umfassen. Letztlich soll auf die Besonderheiten der Glasfasertechnik abgestellt werden, wobei der Umfang des Einsatzes von Glasfaser unerheblich ist.

Für die modelltechnische Umsetzung betrifft dies die Zuordnung der Nachfragestandorte zu einem Versorgungsgebiet, sowie die Abgrenzung eines routingfähigen Straßennetzes, das diese Punkte umfasst.

Diese Frage soll jedoch **nicht endogen** durch das Analytische Kostenmodell beantwortet werden. Vielmehr soll an der bisherigen Ausgestaltung des Berechnungsmodells festgehalten werden, wonach der MPoP, bisher umgesetzt unter Rückgriff auf die HVt-Standorte,⁴⁷ als exogene Größe in das Modell Eingang findet. Insofern wird methodisch an einem Scorched-Node-Ansatz festgehalten. Es bleibt somit eine Frage der Modellparametrisierung, wie viele und welche Standorte bei der Modellierung berücksichtigt werden. Außerdem bildet der MPoP respektive HVt-Standort modelltechnisch weiterhin den Abschlusspunkt zum Breitbandkostenmodell.

Für die Abgrenzung der Anschlussbereiche soll wie für die MPoP die gleiche methodische Vorgehensweise wie bisher gewählt werden: Es wird auf eine exogen vorgegebene Abgrenzung der Anschlussbereiche zurückgegriffen. Die modelltechnische Umsetzung geht dabei mit den folgenden Erfordernissen einher, die jedoch methodisch mit denen der bisherigen Modellierung des kupferbasierten Anschlussnetzes übereinstimmen. Es bedarf

- einer eindeutigen Zuordnung der Nachfragestandorte zu einem Versorgungsgebiet bzw. Aggregationsknoten sowie
- der Abgrenzung eines routingfähigen Straßennetzes, das die Gesamtheit der Abschlusspunkte des Anschlussbereichs umfasst.

Diese Abgrenzung kann im Rahmen eines Scorched-Node-Ansatzes bei der Datenerhebung für ein Verfahren vom Netzbetreiber abgefragt und übernommen oder im Rahmen einer Vorverarbeitung endogen ermittelt werden. Die geographische Aufbereitung der Nachfrage ist der Netzberechnung vorgelagert und deshalb unabhängig von der Trassenberechnung gestaltbar.⁴⁸

Mit diesen Standorten für Anschlussnachfrage und MPoP sowie dem zu Grunde zu legenden Straßenlayer (zur Beschreibung der zulässigen Trassen) wird das Optimierungsproblem definiert und damit die Grundlage für die Anwendung von Optimierungs- und Netzdimensionierungsalgorithmen geschaffen.

⁴⁷ Bisher konstituierten die HVt-Standorte im kupferbasierten Anschlussnetz den relevanten Aggregationspunkt. Die Anschlussnachfrage wird dabei eindeutig auf einen von knapp 8.000 HVt-Standorten referenziert.

⁴⁸ Der hier formulierte Modellierungsansatz basiert auf einer Vorab-Festlegung dieser Zuordnung. Es bleibt dabei offen, wie diese abgeleitet wird. – Siehe zu diesen Aspekten auch die Ausführungen in Abschnitt 5.1.

3.3.1.1 Kabel und Kabelverbindungen

Bisher wurden Kosten aus der Summe der Kosten für Kabel und Kabelverbindungen berechnet. Die Höhe der Kosten ist abhängig von der jeweiligen Paarigkeit der Kabel (die Anzahl CuDA / Fasern in einem Kabel, in diesem Dokument teilweise auch als Kabelgröße bezeichnet) sowie seiner Länge. Diese netzelementbezogenen Preise unterscheiden sich mediumspezifisch (Kupfer, Glas). Gleiches gilt für das Spleißen und die Verbindungsmuffen. Dies stellt jedoch lediglich eine Änderung auf Ebene der Modellparametrisierung und nicht auf konzeptioneller Ebene dar.

Im Unterschied zu Kupferkabeln kann in Abhängigkeit der gewählten Technologie und Übertragungssysteme bei einem Glasfaseranschlussnetz auf eine Doppelfaserverlegung pro Anschluss verzichtet werden. Dies erfordert eine entsprechende Unterstützung in den zugehörigen Beschaltungseinrichtungen. Im Modell können sowohl Einfaser- als auch Doppelfaseranbindungen berücksichtigt werden. Somit ist es beispielsweise möglich, auch die Anbindung von Outdoor-MSAN wahlweise durch eine Einfaser- oder Doppelfaseranbindung zu modellieren.

Neben den Preisparametern des Mediums sind auch noch weitere Aspekte zu betrachten. Technisch erlauben Glasfaserkabel eine Signalübertragung über deutlich größere Distanzen als Kupferkabel. Auch sind Glasfaserkabel im Vergleich zum Kupferkabel dünner und somit platzsparender. Sie lassen sich in Rohre bzw. Mikrorohre über Strecken von bis zu 1000 Metern und weit darüber hinaus⁴⁹ einblasen. (Enge) Kurven reduzieren dabei die Einblaslängen. Zudem hat die Art der Rohrverlegung (klassische Erdverlegung, Rohr-in-Rohr oder Verlegung durch Einflügen) einen nicht unerheblichen Einfluss auf die maximal erreichbaren Einblaslängen. Daher wird den Glasfaserkabeln eine Verlegung über längere Distanzen zugesprochen als den Kupferkabeln, so dass die Anzahl von Spleißen und Verbindungsmuffen im Glasfasernetz geringer ist.

Zum Aspekt des Spleißens und dem Einsatz von Muffen, insbesondere Abzweigmuffen, kommt bei der Verlegung von Glasfaserkabeln eine weitere Überlegung hinzu: Bei Glasfaserkabeln vermeidet man das häufige Schneiden des Kabels, da jeder Verbindungsspleiß mit einer zusätzlichen Signaldämpfung verbunden ist. Entsprechende Empfehlungen zur Netzauslegung, der zufolge Glasfaserkabel vom Faserverzweiger (in nachfolgendem Zitat als Faserverteiler bezeichnet) durchgängig bis zum Hausanschluss verlegt werden sollten, finden sich u. a. in öffentlichen Leitfäden für den Glasfaserausbau, hier in Bezug auf das Verzweigerkabelsegment (Drop-Kabel):⁵⁰

⁴⁹ Durch eine Kaskadierung von Einblaslängen und Einblasgeräten können sogar Streckenlängen von bis zu 6000 Metern erreicht werden, was der Regellieferlänge von klassischen Glasfaser-Außenkabeln (Einblaslänge Planung ohne Kaskadierung: 2.000 m), Glasfaser-Minikabel mit einem Kabelaußendurchmesser von max. 6,5 mm (Einblaslänge Planung: 1.250m) oder von sogenannter Glasfaser-Mikrokabeln, deren Kabelaußendurchmesser max. 2,5 mm beträgt, entspricht.

⁵⁰ NÖ Glasfaser Handbuch (2015), Leitfaden für Ausbau und Mitverlegung, S. 31. Der hier verwendete Begriff „Faserverteiler“ steht für die in diesem Dokument verwendete Bezeichnung „Schaltverteiler“.

„Die Drop-Kabel verlaufen vom Faserverteiler bis zu den Hausanschlüssen. In den Haupttrassen im öffentlichen Grund werden die Kabel in Rohrverbänden geführt. Vor dem Gebäude wird eine Abzweigung aus dem Rohrverband mittels Steckmuffe und Einzelrohr gemacht. Das Einzelrohr wird dann im privaten Grund ans oder ins Gebäude geführt. Alle Komponenten müssen dabei erdverlegbar sein.“

Aus diesem Zitat wird deutlich, dass in Glasfasernetzen dem Faserverzweiger (Verzweigerknoten) die vergleichbare Funktion einer Abzweigmuffe zukommt, von der aus das Endkabel (Drop-Kabel) bis zum Endkunden-Gebäude geführt wird.⁵¹ Allerdings verfügt der Faserverzweiger über eine weit größere Kapazität an Abzweigen im Vergleich zu einer Abzweigmuffe für Kupferkabel. Letztere muss entsprechend häufiger gesetzt werden.

Im Modell für die kupferbasierte Anschlussleitung wurde eine stetige Verjüngung des Verzweigerkabels unter Berücksichtigung von Abzweigmuffen und dem Spleißen des vollständigen Kabels angesetzt. Mit Blick auf die gerade ausgeführten technischen Beschränkungen bei der Auslegung der Glasfaserkabel

- kommt dem Faserverzweiger die Funktion der Abzweigmuffe zu (Spleiß für das Endkabel) sowie
- ist die räumliche Erstreckung des Verzweigerbereichs unter Berücksichtigung der Verlegelängen zu beschränken, um (weitestgehend) auf Spleißstellen verzichten zu können.⁵²

Im bestehenden TAL-Modell kam dem Spleißen unter anderem die Funktion zu, Kabel auf größere Verbünde zu aggregieren und somit Größenvorteile sowohl auf Ebene der Trassen als auch auf jener der Kabel nutzbar zu machen. Die algorithmische Umsetzung des Kupfer-TAL-Modells basiert darauf, dass die aggregierte Nachfrage pro Trassensegment eine hinreichende Informationsbasis für die Dimensionierung der Netzelemente liefert. Sofern sich aus den oben genannten Gründen diese Aggregation verbietet, muss eine Umstellung der Algorithmen dergestalt erfolgen, dass sie das Nebeneinander von Kabeln individueller Kabelgröße unter gleichzeitiger Beibehaltung der gemeinsamen Grabennutzung erlauben. Mit anderen Worten, die Berechnung der abgeleiteten Nachfrage nach Netzelementen für die Kostenberechnung muss eine Verlegung individueller Glasfaserkabel pro Hauszuführung bereits auf den Trassen des Verzweigerbereichs berücksichtigen, um diesen Besonderheiten Rechnung zu tragen.

51 Beim Einsatz von Mikrorohrverbänden entsteht nach wie vor ein Bedarf an „Abzweigvorrichtungen“. Auf diesen Aspekt wird im Kontext der Verlegearten eingegangen.

52 Diese Anforderung spiegelt sich auch in glasfaserspezifischen Verlegetechniken wider, wie beispielsweise den (Mikro)Rohrverbänden, welche eine Vielzahl von Mikrorohre beinhalten, die mit Kabeln mit geringer Faserzahl oder direkt mit Faserbündeln (bei Mikrorohren) bestückt werden können, die bedarfsweise ohne Notwendigkeit eines Spleißes bis zum Gf-APL eingeblasen werden können. Diese Anforderung, das Spleißen von Glasfaserkabeln zu vermeiden, ist unabhängig davon, ob eine Glasfaserkabelverlegung in Form der Erd- oder KKA-Verlegung vollzogen wird. Siehe dazu auch die Ausführungen im nachfolgenden Abschnitt.

3.3.1.2 Verlegearten

Generell können Kabel unter- oder oberirdisch geführt werden. Bei der Kostenmodellierung von Kupferkabeln wurde die unterirdische Verlegung in Erdkabel- und Röhrenkabelverlegung unterschieden. Die oberirdische Führung (Luftverkabelung) fand im Kupfer-TAL-Modell keine Beachtung.

Mit Blick auf die Verlegung von Glasfaserkabeln bestehen generell die gleichen oben genannten Optionen. Aufgrund der Eigenschaften von Glasfaserkabeln sind bei der Erdverlegung jedoch weitere spezifische Varianten bedeutsam, die sich von der herkömmlichen Verlegung von Kupferkabeln unterscheiden. Diese Verlegearten sind durch die **Verwendung von Mikrorohren** begründet, die insbesondere das nachträgliche Verlegen von Glasfaserkabeln, die in diese Mikrorohre eingeblasen werden können, erlauben. Diese Mikrorohre können ihrerseits in verschiedenen Formen bzw. Verbänden verlegt werden. Es können die folgenden Varianten unterschieden werden:⁵³

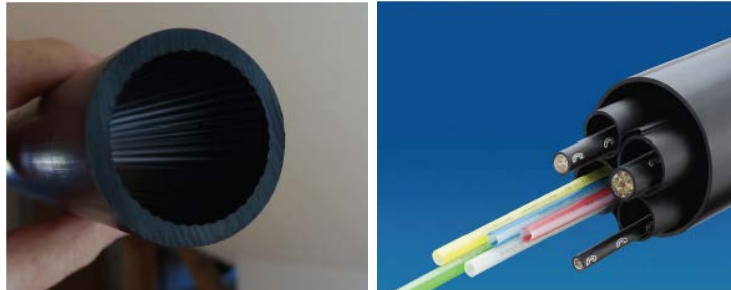
- die Rohr-in-Rohr-Verlegung (Mikrorohr in Rohr),
- die Verwendung von Rohrteilen beispielsweise im DN110 Kabelkanalrohr sowie
- die erdverlegbaren Mikrorohrverbände.

In Abhängigkeit der Verlegeart unterscheiden sich die Mikrorohre: „Mikrorohre, die in ein Kabelschutzrohr eingebracht werden [Anm.: erstgenannte Variante oben], haben eine dünnere Außenwand als erdverlegbare Mikrorohre. Damit steht ein größerer Innendurchmesser für das Einblasen von Glasfaserkabeln zur Verfügung. Sie sind nicht für direkte Erdverlegung geeignet.“⁵⁴

⁵³ Zu den verschiedenen Verlegetechniken siehe u. a. Breitbandbüro des BMVIT (2017); FTTH Council (2016), MICUS (2013) sowie die nachfolgenden Abbildungen.

⁵⁴ Breitbandbüro des BMVIT (2017) S. 36

Abbildung 3-10: Kabelkanalrohr DN50 (Stangenform) und PVC-Kabelkanalrohr (Trommelware) mit Unterteilungen⁵⁵



Quelle: Breitbandbüro des BMVIT, S. 35

Abbildung 3-11: Kabelschutzrohr DN50 mit 7 Rohr-in-Rohr Mikrorohren 10 x 1mm



Quelle: Breitbandbüro des BMVIT, S. 37

⁵⁵ Hier handelt es sich um ein Kabelrohr KR 50 x 4,6 aus PE-HD, das auf Trommeln geliefert wird. Die Regellieferlängen auf einer Trommel sind: für 1xKR50: 2000m, für 2xKR50: 900m, für 3xKR50 600m (einfach/zweifach/dreifach getrommelt). Das Mehrfachrohr (auch Rohrteiler genannt) wird ebenfalls als Trommelware geliefert.

Abbildung 3-12: Erdverlegbare Mikrorohrverbände und erdverlegbarer Mikrorohrverband für Hauseinführungskabel (Drop)



Quelle: Breitbandbüro des BMVIT (2017); Planungsleitfaden Breitband, S. 38 und 40

Die Mikrorohrverbände unterscheiden sich nach Anzahl und Größe der Mikrorohre. Die Größe der Mikrorohre richtet sich nach der Kabelstärke. Die Bedarfe unterscheiden sich entsprechend für die Verwendung in Hauptkabel- bzw. Verzweigerkabelsegment sowie in Abhängigkeit der betrachteten NGA-Technologie. Von Herstellerseite gibt es hier verschiedenste Konfektionierungen. Einen Einblick in die verlegeartspezifischen Konfektionierungen der Mikrorohre geben die tabellarischen Darstellungen vom BMVIT sowie dem FTTH Council. Auf die konkrete Berücksichtigung von Mikrorohren im Modellierungsansatz und die damit erforderlichen Konfektionierungen wird in Abschnitt 4.5 eingegangen.

Tabelle 3-3: Erdverlegbare Mikrorohrverbände für Hauptkabel sowie Rohr-in-Rohr-Mikrorohre

Durchmesser außen (mm)	Durchmesser innen (mm)	Wandstärke (mm)	Rohrverbände mit n Rohren	Kabeldurchmesser (mm)	Anzahl Fasern	Durchmesser außen (mm)	Durchmesser innen (mm)	Wandstärke (mm)	Kabeldurchmesser (mm)	Anzahl Fasern
12	8	2	3, 4, 5, 7	4,0 - 6,5	96	7	5,5	0,75	2,0 - 4,0	24
14	10	2	3, 4, 5, 7	5,0 - 8,5	144	10	8	1	4,0 - 6,5	96
16	12	2	3,4,7	7,0 - 10,0	216	12	9,8	1,1	5,0 - 8,3	96
20	15	2,5	3,4	8 - 12,0	288	14	11,4	1,3	6,4 - 9,8	144

Erdverlegbare Mikrorohrverbände für Hauptkabel

Rohr-in-Rohr-Mikrorohre

Quelle: BMVIT (2017), S. 39 und 36

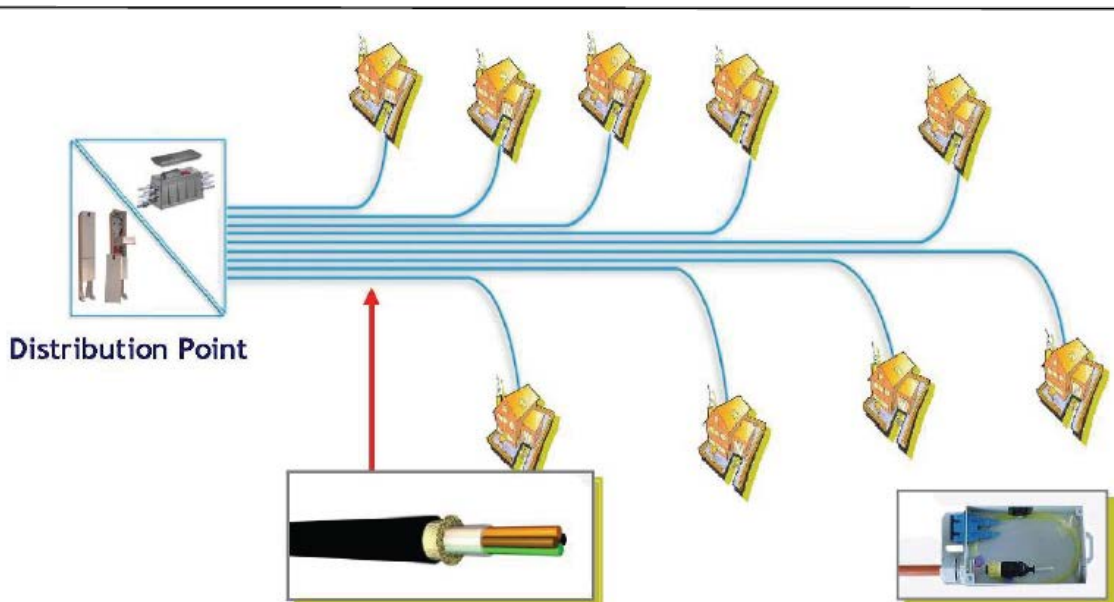
Tabelle 3-4: Konfektionierung von Mikrorohren

Micro-duct outer diameter (mm)	Micro-duct inner diameter (mm)	Typical fibre counts	Typical cable diameter (mm)
16	12	24–216	9.2
12	10	96–216	6.5–8.4
10	8	72–96	6–6.5
7	5.5	48–72	2.5-3.9
5	3.5	6–24	1.8–2
4	3	22–12	1–1.8

Quelle: FTTH Council Europe; FTTH Handbook 2017 (Edition 8), S. 104

Grundsätzlich ist es aber auch möglich, Glasfaserkabel ohne die Verwendung von Mikrorohren direkt in die Erde zu verlegen. Vergleichbar zu der Erdverlegung von Kupferkabeln benötigen die Glasfaserkabel dann eine entsprechende schützende Umman-
telung.⁵⁶ Die Erdverlegung von Glasfaserkabeln ist in der nachfolgenden Abbildung 3-13 illustriert.

Abbildung 3-13: Erdverlegung von Glasfaserkabeln



Quelle: FTTH Council Europe; FTTH Handbook 2017 (Edition 8), S. 111

⁵⁶ Auch der Kabelaufbau kann sich unterscheiden.

Eine Luftverkabelung entlang von Masten oder Hauswänden stellt ebenfalls eine alternative Verlegeart dar. Aus Gründen des Stadtbildes ist diese Ausbauf orm in Deutschland jedoch in den meisten Fällen nicht zulässig. Sie setzt die kommunale Zustimmung voraus.

Zusammenfassend können für die Verlegung von Glasfaserkabeln die folgenden Varianten unterschieden werden:

- konventionelle Rohr- bzw. Kabelkanalverlegung (inkl. Rohrteiler)
- Rohr-in-Rohr-Verlegung (Mikrorohr-in-Rohr)
- erdverlegbare Mikrorohrverbände
- erdverlegtes Kabel

Die methodische Umsetzung einer Berücksichtigung dieser Verlegearten wird in Abschnitt 4.5 und 4.7 ausgeführt.

Besonderheiten der Glasfaserverlegung für die Schächte und Gruben sind lediglich größen- und damit kostenbezogen. Hier sind für die Modellierung die Konfektionsgrößen mit der Definition der Inputparameter festzulegen.

3.3.1.3 Tiefbau

Der Tiefbau ist für den weitaus größten Teil der Investitionen in eine Anschlussnetzinfrastruktur verantwortlich. Die Tiefbauarbeiten in Form eines offenen Grabens erfordern das Aufnehmen der Oberfläche, den Aushub von Erde, Sand, Kies oder Fels sowie das Einfüllen eines Sandbettes, um ein Leerrohr oder Kabel zu verlegen. Daran schließt sich der Rückbau des Grabens mit Sandschüttung und gleichmäßiger Verdichtung an. Zur Verfüllung wird das zuvor ausgehobene Material verwendet, sofern dies dazu geeignet ist⁵⁷. Andernfalls muss Ersatzmaterial genutzt werden. Zum Abschluss erfolgt die Wiederherstellung der Oberfläche.⁵⁸

Diese konventionelle Bauweise wurde auch in dem bestehenden Analytischen Kostenmodell für das Anschlussnetz zu Grunde gelegt. Sie ist gleichermaßen auf die Verlegung eines kupferbasierten als auch glasfaserbasierten Anschlussnetzes anwendbar.

Insbesondere im Zuge des Ausbaus von glasfaserbasierten Anschlussnetzen haben sich neben dieser klassischen offenen Bauweise alternative Techniken zur Verlegung

⁵⁷ In Deutschland z.B. nicht geeignet/zugelassen ist Asphalt.

⁵⁸ Diese Vorgehensweise wurde auch für die Modellierung der Tiefbauinvestitionen im bestehenden Kostenmodell für das Anschlussnetz berücksichtigt. WIK (2000): Analytisches Kostenmodell Anschlussnetz, Referenzdokument 2.0. Sie hat auch heutzutage im Kontext des Breitbandausbaus Relevanz. Siehe u. a. BMVIT Breitbandbüro (2017), Planungsleitfaden Breitband, S. 43.

von Leerrohren und Glasfaserkabeln etabliert, die mit geringeren Kosten einhergehen.⁵⁹ Die Kostenvorteile dieser alternativen Techniken resultieren dabei insbesondere aus einer geringeren Verlegungstiefe und einer geringeren Grabenbreite. Darüber hinaus entstehen aus der – gegenüber der offenen Bauweise – andersartigen Öffnung der Bodenoberfläche geringere Kosten.

Beim sog. Trenching handelt es sich um das Fräsen von Gräben und Schlitzten, in die die Kabel bzw. Leerrohre eingelegt werden können. Es unterscheiden sich die verschiedenen Trenching-Verfahren (Nano-, Micro-, Mini- und Macro-Trenching) in der Tiefe und Breite der realisierten „Verlegefuge“. Sie unterscheiden sich zudem in der verwendeten Schneide- bzw. Frästechnik.

Tabelle 3-5: Trenchingverfahren

Nano- Trenching	Micro-Trenching	Mini-Trenching	Macro-Trenching
Schlitzbreite ca. 2 cm	Schlitzbreite ca. 2-6 cm	Schlitzbreite ca. 8-20 cm	Schlitzbreite ca. 20-30 cm
Schlitztiefe ca. 5-10 cm	Schlitztiefe ca. 10 cm	Schlitztiefe ca. 30 cm	Schlitztiefe ca. 50 cm

Quelle: e.wa riss Netze GmbH, Micro- / Mini-Trenching, VATM 08.05.2012 zitiert aus: Breitband.NRW (2017), Alternative Verlegemethoden für den Glasfaserausbau,.

Diese Verfahren zur Öffnung der Oberfläche können neben asphaltierten Oberflächen auch für andere Böden bei einer Breite bis 60 cm und einer Tiefe bis zu 200 cm verwendet werden. Dabei wird beim Mini-Trenching (Schneide- oder Frästechnik) das gelöste Material neben dem Graben mittels Verteilerschnecken abgelagert und nach dem Verlegen der Leerrohre oder Kabel direkt wieder mit dem gelagerten Aushub verfüllt.⁶⁰ Die nachfolgende Abbildung 3-14 zeigt das Mini-Trenching bei verschiedenen Oberflächen.

⁵⁹ Breitband.NRW (2017), Alternative Verlegemethoden für den Glasfaserausbau, S. 2

⁶⁰ Siehe Alternative Verlegemethoden für den Glasfaserausbau, Breitband.NRW, 2017, S. 11.

Abbildung 3-14: Mini-Trenching und die Verlegung von Kabel bzw. Leerrohren



Quelle: NetAachen GmbH, zitiert aus Breitbandbüro.NRW (2017), S. 12

Geht man von den in Tabelle 3-5 dargestellten Schlitzgrößen aus, so kommt das **Macro-Trenching** tendenziell an die Grabengrößen der herkömmlichen offenen Tiefbauweise (Breite 30, Tiefe 60) heran. Auch die **mindertiefe Verlegung** von Kabeln und Rohren im konventionellen Tiefbau (mit Verlegetiefen zwischen ca. 40 und 60 cm), etwa im Gehwegbereich, ist für Glasfaserverlegung geeignet, soweit rechtlich erlaubt.

Abbildung 3-15: Beispiel für Mikrorohrverbände für den Einbau in den Fräsgraben

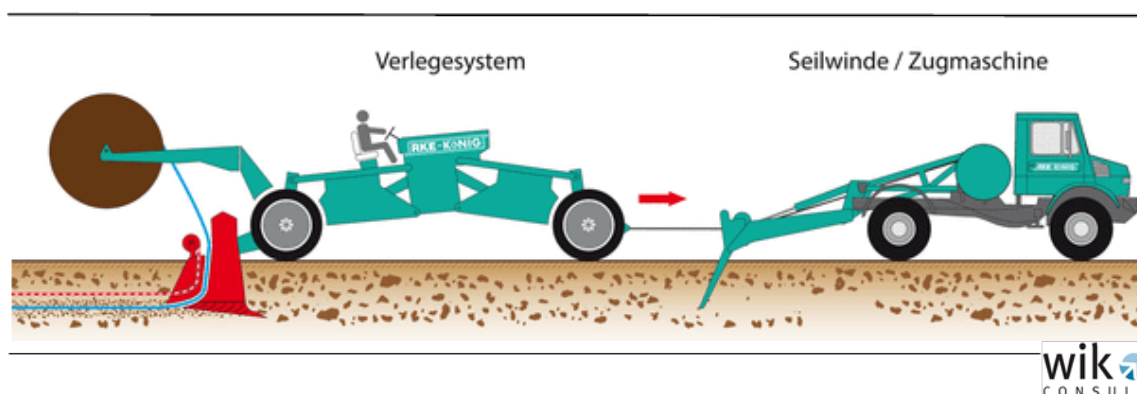


Quelle: Alcatel-Lucent zitiert aus BMWt (2012)

Beim **Einpflügen** von Kabeln und Rohren entstehen, wo anwendbar, ebenfalls deutlich geringere Errichtungskosten im Vergleich zum traditionellen Tiefbau (Reduktion der

Verlegekosten um 75-80 %).⁶¹ Allerdings lässt sich dieses Verfahren nur in freiem, unbefestigtem Oberflächen bzw. freiem Gelände und in jedem Fall abseits bestehender Trassen verwenden. Es werden dazu spezielle Fahrzeuge bzw. Werkzeuge, die auf Trecker montierbar sind, eingesetzt.⁶²

Abbildung 3-16: Prinzip des Kabelpflug-Verfahrens



Quelle: <http://www.rke-koenig.de/spezialtechnik/kabel-rohrpfluegen>; zitiert aus Breitband.NRW (2017), S 6

Neben den genannten Verfahren gibt es eine Reihe weiterer Tiefbau- und Verlegeverfahren, die je nach Zweck und Umgebungsbedingungen angewendet werden können, mit dem Potential, für spezifische Anwendungsfälle die Verlegekosten gegenüber der traditionellen Tiefbauweise reduzieren zu können. Genannt seien hier die Verlegung in Abwasserkanälen, Horizontalspülbohrverfahren und Bohrpressungen (Erdrakete). Letztere sind relevant für die Querung von Straßen und ggf. bei der Hauszuführung.

Die Verwendung dieser alternativen Tiefbautechniken sieht das TKG seit seiner Novellierung 2012 explizit vor. Es besteht jedoch eine Genehmigungspflicht für die mindertiefe Verlegung.

§ 68 (2) TKG

[...] Beim Träger der Straßenbaulast kann beantragt werden, Glasfaserleitungen oder Leerrohrsysteme, die der Aufnahme von Glasfaserleitungen dienen, in Abweichung der Allgemeinen Technischen Bestimmungen für die Benutzung von Straßen durch Leitungen und Telekommunikationslinien (ATB) in geringerer Verlegetiefe, wie im Wege des Micro- oder Minitrenching, zu verlegen. Dem Antrag ist stattzugeben, wenn

⁶¹ Eine Definition von Kabelpflugverfahren findet sich in Breitband.NRW (2017): Alternative Verlegemethoden für den Glasfaserausbau. Hinweise für die Praxis, S. 5: „Eine relativ kostengünstige Methode zur Neuverlegung ist das Kabelpflugverfahren (Einpflugverfahren). Hier wird ein sogenannter Verlegepflug eingesetzt, welcher durch die Zugkraft und die so wirkende Kraft auf das Pflugschwert eine Furche schafft, in die dann eine Verlegung eines Leerrohres bzw. eines Kabels erfolgen kann. Je nach Beschaffenheit des Bodens können diese mit einem Außendurchmesser von bis zu 250 mm und in einer Tiefe von maximal 2 m verlegt werden.“ (Sogenannte Rüttelpflüge erlauben das Verlegen auch in härteren Bodenklassen mit Gesteineinschlüssen (Bodenklassen 5-6))

⁶² Siehe dazu beispielsweise econtech (2016), Peter Pflug Verfahren ©, <http://www.econtech.info/wp-content/uploads/2016/09/PETER-Pflug-Verfahren-Brosch%C3%BCre.pdf>

- die Verringerung der Verlegetiefe nicht zu einer wesentlichen Beeinträchtigung des Schutzniveaus und
- nicht zu einer wesentlichen Erhöhung des Erhaltungsaufwandes führt oder
- der Antragsteller die durch eine mögliche wesentliche Beeinträchtigung entstehenden Kosten beziehungsweise den höheren Verwaltungsaufwand übernimmt.

Die Sätze 2 und 3 finden keine Anwendung auf die Verlegung von Glasfaserleitungen oder Leerrohrsystemen in Bundesautobahnen und autobahnähnlich ausgebauten Bundesfernstraßen.

Vor diesem gesetzlichen Hintergrund sowie der empirischen Feststellung, dass eine Genehmigung in einer relevanten Menge ausbleibt bzw. eine Genehmigung erst gar nicht beantragt wird, können die alternativen Tiefbautechniken auch bei der Kostenmodellierung nicht uneingeschränkt unterstellt werden. Dennoch sind sie aufgrund der mit ihnen verbundenen, niedrigeren Kosten für eine Bottom-up-Modellierung zur Ermittlung der Kosten effizienter Leistungsbereitstellung von Bedeutung.

Die Ausführungen zu den verschiedenen Tiefbautechniken beinhalten zahlreiche technische Besonderheiten. Für die **Modellierung der Trassenkosten im Bottom-up-Modell** sind weniger die technischen Genauigkeiten, sondern vielmehr der Investitionspreis je Meter nach Grabenkapazität (Anzahl verlegbarer Kabelzüge) von Bedeutung. Methodisch ist dies im Kontext der Konfektionierung der für die Modellierung vorzusehenden Grabengrößen zu bestimmen. Für die Berücksichtigung der Kostenvorteile alternativer Tiefbautechniken werden im Modell Eingabeparameter zur Berücksichtigung von Abschlagsfaktoren vorgehalten, die eine selektive (anschlussbereichsbezogene) Anwendung erlauben.

3.3.1.4 Abschlusspunkte der Linientechnik und Einrichtungen an den Verzweigerknoten

Unabhängig vom Medium des Kabels sind in einem Anschlussnetz Abschluss- und Verzweigeranlagen vorzusehen. Die Einrichtungen HVt und EVz des Kupferanschlussnetzes haben in einem reinen Glasfasernetz ihr Pendant im Glasfaserverteiler und Optischen Endverzweiger. Ein reines Glasfasernetz (P2P) bedarf keines Schaltverteilers im Sinne eines Kabelverzweigers, welcher Rangierfunktionen u. a. für das Bereitstellen höherer Anschlussbandbreiten durch eine Vervielfachung der bereitgestellten CuDA erlaubt. Stattdessen kommen sog. Schalt- oder Faserverzweiger zum Einsatz, die der Überführung faserstarker Hauptkabel in die Rohrverbünde mit Mikrorohren und Glasfaserkabeln geringer Faserzahl zur Bedienung der erschlossenen Gebäude dienen.

Andere NGA-Architekturen benötigen spezifische Einrichtungen, die entweder der Überbrückung von Kupfer auf Glasfaser dienen (bei FTTC z. B. MSAN) oder Splitter bei P2MP-PON-Architekturen (siehe hierzu auch Abschnitt 3.2) sind. Die Investitionsparameter für die Abschluss- und Verzweigeranlagen müssen daher NGA-spezifisch festgelegt werden können.

3.3.2 Anforderungen an die Kostenrechnungsmethode

Neben der Erweiterung des Modells um die glasfaserspezifischen Besonderheiten sind die sich aus der EU-Empfehlung ergebenden Vorgaben für den zu wählenden Modellierungsansatz bestimmend.

Da

- a priori keine Festlegung auf eine spezifische NGA-Architektur erfolgen soll,
- ferner die Kostenbestimmung für kupferbasierte Vorleistungen im Vordergrund steht,
- darüber hinaus die Stabilität der Entgelte für die entbündelte TAL

zielbestimmend sind, wird es als sinnvoll erachtet, die im bestehenden Anschlussnetzmodell implementierte Investitionswertberechnung für die CuDA vor dem Hintergrund der Rückrechnungserfordernisse bzw. einer etwaigen Anwendung der Ziffer 40 der Kommissionsempfehlung ebenso zu ermöglichen. Für die Kostenberechnung der ausgewählten NGA-Technologien und Berücksichtigung ihrer Spezifika, ist das Modell entsprechend zu erweitern.

3.3.2.1 Kostenrechnungsmethode

Die Kostenrechnungsmethode für die NGA-Technologie ist Bottom-up-LRIC+ ergänzt um Korrektur vollständig abgeschriebener, wiederverwendbarer, nicht replizierbarer baulicher Anlagen.

Um diese Anforderung umzusetzen, ist ein netzelementorientierter Modellierungsansatz erforderlich, wie er auch bereits in der Vorversion des Anschlussnetzmodell zu finden war. Der Grad der Differenzierung der Netzelemente muss dabei dem Erfordernis Rechnung tragen, Anlagen nach Maßgabe ihrer Lebensdauer aus der Bewertung herauszunehmen (siehe hierzu Abschnitt 2.1). Die berücksichtigten Netzelemente werden im Kapitel 6 zum Modelloutput bzw. Mengengerüst, dargestellt.

3.3.2.2 Migrationsaspekte und Kostenteilung mit anderen Anschlussdiensten

Aus den EU-Vorgaben ergibt sich die Notwendigkeit, bei einer NGA-Modellierung die **gesamte – ursprünglich auf Basis der Kupferdoppelader realisierte – Anschlussnachfrage** zu berücksichtigen, unabhängig davon, ob sie schon auf eine NGA-Technologie migriert ist oder nicht. Lediglich Anschlüsse, die auf andere Infrastrukturen, wie beispielsweise das Breitbandkabel oder Mobilfunk ausgewichen sind, sollen bei der Netzauslegung nicht mehr Berücksichtigung finden. Auf diese Anforderungen wurde bereits in Abschnitt 2.2.3 eingegangen.

Unabhängig von den realisierten NGA- (vormals Kupfer-) Endkundenanschlüssen existiert eine Vielzahl von Anschlusslinien und -diensten, – die beispielsweise für die Realisierung von Mobilfunkantennen oder Hotspots des Netzbetreibers errichtet werden – die bisher nicht als („Endkunden“-)Nachfrage in die Modellierung eingehen. Vor dem Hintergrund, dass derartige Anschlüsse auf Basis gemeinsam genutzter Infrastruktur realisiert werden, soll es möglich sein, mit Hilfe des zu entwickelnden Analytischen Kostenmodells die spezifischen Anschlusslinien zu bewerten.⁶³

Methodisch kann ein solcher Ansatz umgesetzt werden

- entweder unter Rückgriff auf Beilauffaktoren
- oder über eine Differenzierung von unterschiedlichen Endkunden- bzw. Anschlussprodukten. Diese können sich unter Umständen hinsichtlich der zu Grunde liegenden NGA-Technologie unterscheiden. Entsprechend ist es wünschenswert, die Anschlussnachfrage, welche georeferenziert in das Modell einfließt, um einen Indikator zu erweitern, aus dem die Zuordnung zum jeweiligen Anschlussprodukt oder zur NGA-Architektur hervorgeht. Die Dimensionierung der Kabel sowie Abschluss- und Schalteinrichtungen kann dann jeweils für den spezifischen Anschlusstyp vollzogen werden. Im Sinne der Bottom-up-Modellierung hat dann für die Trassen eine Anschlusstyp-übergreifende Dimensionierung zu greifen. Diese differenzierten Informationen können dann auch für die Kostenzurechnung bzw. Kostenteilung im Modell verwendet werden.

⁶³ Damit soll nicht gesagt werden, dass eine derartige Kostendifferenzierung regulatorisch angezeigt ist. Mit dem Modellierungsansatz lassen sich ggf. differenziert nachgewiesene Kosten anhand von Modellergebnissen überprüfen.

4 Generischer Modellierungsansatz für Kosten des Teilnehmeranschlussnetzes

Die in diesem Dokument konkretisierte Methodik zur Kostenberechnung von Anschlussnetzen soll auf verschiedene NGA-Technologien anwendbar sein. Um dies leisten zu können, ist ein generischer Modellierungsansatz erforderlich. Konzeptionell basiert der Modellierungsansatz auf einer Separierung (a) der Bestimmung des Leiterbedarfs (dimensionierungsrelevanter Bedarf an Kupferdoppeladern bzw. Glasfasern) je Straßenabschnitt unter Rückgriff auf einen berechneten Versorgungsbaum und (b) einer NGA-technologiespezifischen Dimensionierung von Netzelementen. Mit Hilfe einer Zuordnung der Nachfrage in Bezug auf die NGA-Technologie soll dies bewerkstelligt werden.

Ausgangspunkt der Anschlussnetzmodellierung ist die im Raum verteilte Anschlussnachfrage, die es an einen Aggregationspunkt, der die Übergabe zum Verbindungs- bzw. Breitbandnetz vollzieht, anzubinden gilt. Dabei ist die Summe aller Anschlussnachfragen in kostentreibende Netzelemente zu übersetzen, die eine Investitionswertbestimmung und eine darauf aufsetzende Kostenberechnung erlauben. Vereinfacht gesagt, resultiert die Anschlussnachfrage in eine Kabelnachfrage mit Spleißen und Muffen, die Kabelnachfrage löst wiederum eine Nachfrage nach Grabenkapazität und zugehörigen Kabelkanalanlagen und Schächten aus, und letztlich wird am MPoP zum Abschluss der Linientechnik des Anschlussnetzes spezifisches Equipment in Abhängigkeit von Anschlussnachfrage und Technologie vorgehalten.

Diese beschriebene Dimensionierung erfolgt spezifisch für die einzelnen Netzsegmente: Hauszuführung, Verzweigerkabelbereich und Hauptkabelbereich sowie die Netzelemente an den Knoten. Aufgrund des Bottom-up-Charakters sind trotz Segmentierung, alle Bereiche konsistent nachfragegetrieben zu dimensionieren, d. h., es sind die jeweiligen Nachfragemengen segmentübergreifend zu übergeben.

Die für die Investitionswertbestimmung zu berücksichtigenden Netzelemente haben sämtliche Kosten, die für die Installation und Inbetriebnahme des Anschlussnetzes relevant sind, zu beinhalten. Diese beinhalten auch Kosten für die Planung sowie mit der Realisierung des Anschlussnetzes einhergehende (Material-)Gemeinkosten.

Miet- und Betriebskosten sind nicht Gegenstand der Bottom-up-Modellierung. Sie werden in Form einer Zuschlagsfaktorkalkulation berücksichtigt.

4.1 Anschlussnachfrage als Ausgangspunkt der Modellierung

4.1.1 Technologiebezug: Indexierung der Nachfrage

Da die Dimensionierung der Netzelemente abhängig ist von der jeweils zu Grunde liegenden **NGA-Technologie**, muss die Anschlussnachfrage nach dieser Dimension unterschieden werden können. Mit anderen Worten, bei der Modellkonzeption ist die Information der Anschlussnachfrage, die positive ganzzahlige Werte annehmen kann, um eine **Anschlusstyp-Kennung (Index)** zu erweitern. Die Anschlusstyp-Kennung lässt die in Abschnitt 3.2.3 ausgewählten Anschlusstechnologien zu, zuzüglich der rein kupferbasierten Technologie aus Gründen der Rückrechnungserfordernisse. Die Kostenmodellierung stellt dabei für das Versorgungsgebiet (Anschlussbereich) auf die LRIC+ der ausgewählten NGA-Technologie ab. Es soll an der bisherigen Unterscheidung von EVz und zugehöriger Anschlussnachfrage (Anzahl beschaltete Anschlüsse an diesem Standort) festgehalten werden.

Wie in Abschnitt 3.3.2.2 ausgeführt, sind neben den Anschlüssen des betrachteten Inkrements (Breitbandanschlüsse für den Massenmarkt) weitere Anschlussnachfragen explizit zu berücksichtigen, um die damit in Verbindung stehenden Größen- und Verbundvorteile zu erfassen. Dabei soll es möglich sein, verschiedene Ausprägungen zu differenzieren. Darunter fallen beispielsweise Mobilfunkstandorte oder Hotspots.⁶⁴ Die Umsetzung einer solchen Vorgehensweise erfordert dabei für sämtliche zu berücksichtigenden Anschlusstypen eine georeferenzierte Nachfrage.

4.1.2 Georeferenzierung der Anschlussnachfrage und GIS-Straßenlayer

Der Umfang und die Lage der Anschlussnachfrage bilden die zentralen Kostentreiber für das Anschlussnetz. Die Zahl der nachgefragten Anschlüsse ist daher bei der Modellierung **georeferenziert** zu berücksichtigen. Die Kabel und Trassen des Teilnehmeranschlussnetzes werden dann entlang des Straßennetzes verlegt. Dies ist einer möglichst realitätsnahen Bestimmung der Kosten geschuldet. An dieser Vorgehensweise unter Rückgriff auf einen GIS-Straßenlayer zur Herleitung der Infrastrukturkosten im Anschlussnetz soll festgehalten werden.

Um dies zu ermöglichen, muss in einem Datenvorverarbeitungsschritt eine Anbindung der EVz-Standorte an den **Straßenlayer** vollzogen werden (Aufbereitung der GIS-Inputdaten, siehe hierzu auch Abschnitt 5.1).

⁶⁴ Die bestehenden Datenstrukturen für die EVz und zugehörige Anschlussnachfrage müssen entsprechend um diese Ausprägungen erweitert werden. Dies ist für die Abbildung verschiedener Anschlussdienste zur Berücksichtigung der Verbundproduktion notwendig. Idealerweise lassen sich die EVz-Daten und die zugehörigen Nachfrageinformationen in Form einer Datenbank einpflegen und von der Anbindung an die Straßensegmente separieren.

4.1.3 Nachfragereserve

Dem Kostenmaßstab LRIC+ liegt das Konzept des hypothetischen Markteinsteigers zu Grunde, der heute mit Blick auf die zukünftige Nachfrage seine Infrastruktur aufbaut. Dies impliziert die Berücksichtigung eines Nachfragewachstums und zugehöriger Nachfragereserven.

Aufgrund der Schwierigkeit, standortgenau zukünftige Nachfrage zu prognostizieren, ist methodisch eine Berücksichtigung des Nachfragewachstums in Form eines Zuschlagfaktors eine verbreitete und anerkannte Umsetzung. Diese Vorgehensweise wurde auch in dem ersten Kostenmodell für das kupferbasierte Anschlussnetz gewählt. Eine theoretisch denkbare standortgenaue Verortung zukünftiger Nachfrage erachten wir vor dem Hintergrund relevanter Prognoseunsicherheit für wenig belastbar und damit angreifbar.

In Abschnitt 2.2.3 wurde im Kontext des Ausbaus von NGA-Netzen auf eine Netzauslegung nach Maßgabe der „Homes passed“ eingegangen, wie dies zur Bewertung von Geschäftsplänen getan wird.

Um eine Netzdimensionierung nach Maßgabe von „Homes passed“ zu vollziehen, wären für die Dimensionierung des Verzweigerkabel- und Hauptkabelsegments die nicht aktiven EVz bzw. Wohneinheiten (d. h., Anschlüsse mit einer Nachfrage von null) zu berücksichtigen. Da der bestehende Algorithmus darauf ausgelegt ist, lediglich für eine Nachfrage >0 einen Leiterbedarf zu generieren, wäre eine Erweiterung für das Hauptkabel- und Verzweigerkabelsegment erforderlich.⁶⁵

Während eine Kostenmodellierung nach Maßgabe der "Homes passed" eine Bewertung von Geschäftsplänen zum Gegenstand hat, muss für regulatorische Kostenberechnungen der Berücksichtigung einer angemessenen Reserve Rechnung getragen werden. Entsprechend werden im Kostenmodell Eingabeparameter für die Berücksichtigung einer Nachfragereserve vorgehalten. Die Nachfragereserve ist in Form eines globalen Zuschlagsfaktors im Modell abgebildet, der für Haupt- und Verzweigerkabelsegment differenziert festgelegt werden kann.

⁶⁵ Eine kostentreibende Netzdimensionierung sollte dabei nicht auf die Hauszuführung ausgeweitet werden, da diese Investitionen für den jeweiligen EVz inkrementell sind und somit auf einen Zeitpunkt verschoben werden können, zu dem für den Netzbetreiber Sicherheit über die aktive Nachfrage und damit Kostenträgerschaft besteht.

Die Umsetzung einer Modellierung nach Maßgabe der „Homes passed“ setzt die Verfügbarkeit entsprechender GIS-basierter Daten voraus. Dies können zum einen Informationen des SMP-Betreibers sein, der unter Rückgriff auf seine historische Auslegung des Kupfernetzes Kenntnis über die installierten EVz und dahinter liegenden Beschaltungseinheiten hat. Zum anderen können allgemeine Adressdaten herangezogen werden, die ihrerseits mit den Daten über die aktiven Anschlüsse, welche erwartungsgemäß vom SMP-Betreiber bereitzustellen sind, abzugleichen wären, um die inaktiven Anschlüsse zu identifizieren. Ggf. sind Baulücken (standortgenau) oder avisierte Neubaugebiete (verzweigerknotengenau) zusätzlich zu den inaktiven Wohneinheiten zu berücksichtigen.

4.2 Technologiewahl und Kostentreiber

Mit dem erweiterten Analytischen Kostenmodell für das Anschlussnetz soll es möglich sein, die Kosten für verschiedene NGA-Technologien berechnen zu können. Ausgehend von der technologieindizierten Anschlussnachfrage müssen diese mit ihren dimensionierungsrelevanten Eigenschaften für die jeweilige NGA-Technologie übersetzt werden. Dabei geht es zum einen um die Auswahl des Übertragungsmediums (Kupfer oder Glasfaser) sowie zum anderen um eine Transformation der Anschlussnachfrage in eine Leiternachfrage (bekanntlich geht im Kupferanschlussnetz von jedem Nachfrager ein Leiterbedarf in Höhe von 1 CuDA aus, und zwar auf jedem Netzsegment; am Kabelverzweiger erfolgt lediglich ein Umstecken ohne eine Aggregation auf eine geringere Leiterzahl). Die Anschlussnachfrage ist letztlich der Ausgangspunkt für die jeweilige Dimensionierung der Netzelemente. Die Transformation der Anschlussnachfrage in Größen/Mengen von Netzelementen (wie beispielsweise Anzahl an Fasern) ist technologieabhängig. Entsprechend sind im Modell für die abzubildenden NGA-Technologie notwendige Transformationsfaktoren⁶⁶ vorzuhalten. In der nachstehenden Tabelle 4-1 sind die für das Modell vorgesehenen NGA-Technologien berücksichtigt.

Tabelle 4-1: Anschlussnachfrage und technologiespezifischer Leiterbedarf

NGA Technologie		Transformation Leiterbedarf am Evz	Hauszuführung und Verzweigerkabelsegment	Transformation Leiterbedarf am Verzweigerknoten	Hauptkabelsegment	Verzweigerbereichsbildung
FTTC	Vectoring	nein	eine CuDA pro aktiver Anschlussnachfrage (im aggregierten VZB-Kupferkabel)	ja	Glasfaser: eine Doppelfaser pro MSAN	nach Maßgabe - der MSAN-Kapazität (user ports) - der Längenbeschränkung durch eingeschränkte Vectoring-Tauglichkeit der CuDA
FTTB	XG.Fast	ja	Glasfaser bis zum EVz: eine Faser pro Evz mit aktiver Anschlussnachfrage (Kapazitätsbeschränkung der G.Fast DSLAM)	nein	Glasfaser: eine Faser pro Evz mit aktiver Anschlussnachfrage	nach Maßgabe - der Kapazität des Faserverteilers (# Mikrorohre) - keine übertragungstechnisch relevante Längenbeschränkung (Inhaus 50 m), aber Einblaslängen
FTTH	PON P2MP	nein	Glasfaser bis zum EVz: eine Faser pro aktiver Anschlussnachfrage	ja	Splitter-Standort = Faserverzweigerstandort Glasfaser: eine Faser pro Splitter	nach Maßgabe - der Kapazität des Faserverteilers (# Mikrorohre/aktive Fasern) - Splitterkapazität (im Bedarfsfall Vervielfachung der Anzahl Splitter am Verzweigerknoten) - keine übertragungstechnisch relevante Längenbeschränkung, aber Einblaslängen
FTTH	P2P Ethernet	nein	Glasfaser bis zum EVz: eine Faser pro aktiver Anschlussnachfrage	nein	Glasfaser: eine Faser pro aktiver Anschlussnachfrage	nach Maßgabe - der Kapazität des Faserverteilers (# Mikrorohre/aktive Fasern) - keine übertragungstechnisch relevante Längenbeschränkung, aber Einblaslängen

Für die PON-PTMP-Technologie ist zu beachten, dass bei der Modellierung von einer Unterbringung der Splitter in den Faserverzweigern (Verzweigerknoten) ausgegangen wird. Ferner soll es im Modell möglich sein, mehr als einen Splitter am Faserverzweiger

⁶⁶ Die Transformationsfaktoren transformieren letztlich den Dimensionierungsbedarf von Netzelementen zwischen den verschiedenen NGA-Technologien.

vorsehen zu können, so dass die Splitterkapazität zwar für die im Hauptkabelsegment relevante Leiternachfrage maßgeblich ist, jedoch die Kapazität des Faserverzweigers die Größe des Verzweigerbereichs bestimmt.

Für jede Technologie wird ausgewiesen, ob am Gebäude (EVz) oder dem Verzweigerknoten eine technologiebedingte Transformation der Anschlussnachfrage des Endkunden in eine dimensionierungsrelevante Leiternachfrage zu vollziehen ist. Ebenso wird in Abhängigkeit von der NGA-Technologie das im jeweiligen Netzsegment erforderliche Medium (Kupferader oder Glasfaser) ausgewiesen. Sofern eine Transformation der Anschlussnachfrage in technologiebezogene Leiternachfrage zu erfolgen hat, muss diese die Kapazitäten der jeweils für die Transformation erforderlichen Einrichtungen berücksichtigen. Diese konstituieren Obergrenzen (Kapazitätsbeschränkungen) und sind als technologiespezifische Eingangsparameter bei der Modellierung zu berücksichtigen (zum einen mit Blick auf die Dimensionierung [Bestimmung der Anzahl der erforderlichen Einrichtungen] als auch mit Blick auf die Transformation in die vorzusehende Leiternachfrage).

In den nachfolgenden Tabellen sind die NGA-Technologien einmal mit Blick auf das eingesetzte Übertragungsmedium sowie mit Blick auf die dimensionierungsrelevante Leiternachfrage gegenüber gestellt.

Tabelle 4-2: Dimensionierungsrelevante Leiternachfrage

NGA-Technologie	Verzweigerbereichssegment		Hauptkabelsegment	
	Anschlussnachfrage	transformierter Leiterbedarf	Anschlussnachfrage	transformierter Leiterbedarf
FTTC Vectoring	x			x
FTTB XG.Fast		x		(x)
FTTH PON P2MP	x			x
FTTH P2P Ethernet	x		x	

Tabelle 4-3: Übertragungsmedium in Verzweiger- und Hauptkabelsegment

NGA-Technologie	Verzweigerbereichssegment	Hauptkabelsegment	Teilungsfaktor (*) bestimmt durch
FTTC Vectoring	Kupfer	Glasfaser *)	MSAN
FTTB XG.Fast	Glasfaser *)	Glasfaser *)	DSLAM
FTTH PON P2MP	Glasfaser	Glasfaser *)	Splitter
FTTH P2P Ethernet	Glasfaser	Glasfaser	-

*) Die Übertragungskapazität der Glasfaser wird von mehreren Endkundenanschlüssen beansprucht.

Für FTTC und FTTH PON P2MP treiben die konzentrierenden Einrichtungen am Verzweigerknoten (MSAN bzw. Splitter) die Fasernachfrage im Hauptkabelsegment und bestimmen, von wie vielen Anschlüssen die Glasfaser gemeinschaftlich genutzt wird. Bei der Variante FTTB XG.fast gibt es eine gemeinsame Nutzung der Glasfaser bereits

ab dem Standort des Endverzweigers. Die Kapazität des DSLAM⁶⁷ bestimmt hier den maximalen Teilungsfaktor. Es wird bei FTTB XG.fast durchgängig eine Glasfaser vom DSLAM im „Building“ bis zum MPoP bereitgestellt. Bei FTTH P2P gibt es eine Glasfaser sogar für jede individuelle Wohneinheit in den Gebäuden. In beiden Fällen stellt der Faserverteiler lediglich einen linientechnischen Aggregationspunkt dar, an dem eine Vielzahl von Kabeln geringer Faserzahl auf ein großes Kabel gespleißt werden.

Da die hier zu spezifizierende Kostenmodellierung lediglich bis zur Hauswand reicht und die Inhausverkabelung außen vor lässt, ähneln sich diese beiden Technologien sehr stark. Dabei kann vereinfachend gesagt werden, dass im Fall der FTTB XG.fast-Technologie die Fasernachfrage immer „1“ beträgt (1 Faser pro DSLAM⁶⁸), wohingegen bei FTTH P2P diese von der Anzahl der aktiven Anschlusslinien bestimmt wird (also gleich oder größer der Fasernachfrage der FTTB XG.fast-Architektur ist).

Um aus den in der oben stehenden Tabelle dargestellten Kostentreibern die technologiespezifischen Investitionen für die verschiedenen NGA-Technologien zu berechnen, sind die Kapazitäten und Konfektionierungen der jeweils erforderlichen Netzelemente als Eingangsparameter im Modell vorzuhalten. Eine Konkretisierung der parametrischen Abbildung des Knotenequipments findet sich bei der Darstellung der Investitionsparameter in Abschnitt 5.2.

4.3 Verzweigerbereichsbildung (Clusterung)

Die Clusterung der Anschlussbereiche in eine Vielzahl von Verzweigerbereichen kann als erster Teilschritt der Netzoptimierung gekennzeichnet werden. Ausgehend vom Clusteralgorithmus des bestehenden Anschlussnetzmodells, der bereits eine parametergesteuerte Begrenzung der Anschlusszahlen vorsieht, soll auch die Längenbeschränkung berücksichtigt werden. Die mit dem Algorithmus bereitgestellten Eingabeparameter sollen eine Adjustierung der Verzweigerbereichsgröße nach Maßgabe der NGA-Architektur erlauben. Dem Clusteralgorithmus kommt damit eine technologiebezogene Steuerung der Verzweigerbereichsgröße zu. Wie in Tabelle 4-1 in der letzten Spalte dargestellt, stellt sowohl die räumliche Erstreckung (mit Blick auf die Länge der Anschlussleitung) als auch die Anzahl der aktiven Anschlüsse pro Verzweigerbereich eine beschränkende Größe dar.

Neben der reinen Abgrenzung der Verzweigerbereiche (Clusterung von Anschlüssen zu gemeinsamen Verzweigerbereichen) muss für die Anschlussnetzmodellierung eine

⁶⁷ In diesem Dokument wird die Bezeichnung „DSLAM“ für die aktive technische Einrichtung bei XG.fast verwendet. Diese ist für den Standard G.fast gebräuchlich. Alternativ findet auch DPU Distribution Point Unit Anwendung. Siehe dazu auch <https://de.wikipedia.org/wiki/G.fast>. FTTH Council (2017): FTTH Handbook, Edition 8, S. 41ff findet die Bezeichnung DPU Anwendung.

⁶⁸ Bei großen Gebäuden kann eine ONU (max. 48 Teilnehmer) nicht ausreichen, alle Wohnungen zu versorgen, so dass mehr als eine ONU zum Einsatz kommen muss.

Platzierung des Verzweigerknotens (KVz- bzw. Faserverzweigerstandort) erfolgen, auf der dann die Auslegung der Verzweiger- und Hauptkabel aufsetzt.

Clusteralgorithmus

Die Zuordnung der räumlich gegliederten Nachfrage zu Versorgungsgebieten erfolgt so, dass die darüber realisierte Nachfrage die technologiespezifische maximale Kapazität der Rangierpunkte (Kabel-/Faserverzweiger, Splitter) einhält, die maximale Kabellänge eingehalten wird (insbesondere für FTTC von Bedeutung wegen der Signaldämpfung bei Kupfer im Verzweigerkabel) und die Netzkosten dabei möglichst gering ausfallen.

Um möglichst effiziente Ergebnisse zu generieren, sollte die Parametrisierung des Clusteralgorithmus Sensitivitätsrechnungen unterzogen werden. Letztlich werden die Netzkosten wesentlich durch Trassenkosten und Kabelkosten bestimmt. Dabei ist zu beachten, dass die Verzweigerbereichsbildung und die Verortung der Verzweigerpunkte die Kosten des Hauptkabelnetzes mitbestimmen. Optimallösungen für diese Problemart sind theoretisch zwar berechenbar, aber sehr zeitaufwändig in der Berechnung. Die im Modell implementierte heuristische Vorgehensweise zur Verzweigerbereichsbildung zielt auf die Aufteilung eines Anschlussbereichs in möglichst kompakte Versorgungsgebiete ab, die eine hohe Auslastung des Equipments erlauben unter Einhaltung von Nebenbedingungen wie die Maximalkapazität eines Versorgungsgebiets und seine maximale Längenausdehnung.

Ausgangspunkt der Verzweigerbereichsbildung bildet der Verzweigerbereich für die unmittelbar an den MPoP angeschalteten Anschlüsse (sog. starres Netz).⁶⁹ Für die Verzweigerbereichsbildung im starren Netz folgt dabei einer einfachen Logik: Ausgehend vom MPoP wird der Versorgungsbereich des starren Netzes so abgegrenzt, dass alle Straßensegmente, die innerhalb eines vorgegebenen Radius (Eingangsparameter) vom MPoP entfernt liegen, dem starren Netz zugerechnet werden. Die räumliche Ausdehnung des starren Netzes kann durch den Modellbenutzer parametergesteuert beeinflusst werden, indem der anzuwendende Radius variiert wird.

⁶⁹ Die Bezeichnung "starres Netz" wurde im kupferbasierten Anschlussnetz geprägt. Das starre Netz bezeichnet den Verzweigerbereich, dessen Anschlusslinien direkt auf den Hauptverteiler geschaltet werden, ohne intermediäre Verzweiger zu durchlaufen. Das durch diese Anschlüsse beschriebene Netz hat insofern eine starre Struktur, weswegen es im Kontext der Bottom-up-Modellierung als sog. starres Netz bezeichnet wird.

Für die Abgrenzung der übrigen Verzweigerbereiche, für die jeweils ein Standort für den Verzweigerknoten zu bestimmen ist, verwendet das Modell ein modifiziertes „Minimum-Distanz-Cluster-Verfahren“. Der Algorithmus basiert auf der Clusterung von Straßensegmenten (mit denen eine GIS-referenzierte Anschlussnachfrage verbunden ist). Verschiedene Straßensegmente bilden demnach ein Cluster, wenn bestimmte Kriterien oder Nebenbedingungen eingehalten werden. Diese Nebenbedingungen sind:

- Jedes Straßensegment hat einen Pfad („Weg“) zu allen anderen Straßensegmenten des Clusters.
- Jeder Verzweigerbereich ist durch eine maximale Anzahl anschaltbarer CuDA beschränkt. Diese ergibt sich aus der Anzahl von Kabelverzweigern und der Beschränkung bezüglich der maximal anschaltbaren CuDA pro Kabelverzweiger.
- Der Luftlinienabstand des Straßensegmentes zum Clusterschwerpunkt darf eine maximale Länge nicht überschreiten.

Beginnend mit dem Straßensegment, welches am nächsten zum Hauptverteiler in dem betrachteten Anschlussbereich gelegen ist, werden weitere Straßensegmente solange in ein Cluster aufgenommen, bis eines der oben genannten Kriterien nicht mehr erfüllt werden kann. Das Straßensegment, das nicht zugeordnet werden konnte, bildet dann ein neues Cluster, und die oben beschriebene Zuordnung wird dann solange fortgesetzt, bis alle Straßensegmente eindeutig einem Cluster zugeordnet werden konnten.

Die auf diese Weise parametergesteuert erzeugte Clusterbildung stellt ihrerseits den Ausgangspunkt für eine weitere Optimierungsroutine dar. Unter Rückgriff auf Verfahren zur Verbesserung der Erstlösung (sog. Second-Opt-Verfahren⁷⁰) wird das Ergebnis der ersten Verzweigerbereichsbildung einer Überarbeitung unterzogen. Als Kriterien für eine Anpassung werden die Auslastung sowie die Längenbeschränkungen⁷¹ berücksichtigt. Die in den Algorithmen verwendeten Beschränkungen sind Modelleingangsparameter.

Bei der zweistufigen Vorgehensweise wird zunächst eine erste zulässige Clusterung erzeugt, bei der im Wesentlichen die Einhaltung der Restriktion maximaler Anschlusszahlen je Verzweigerbereich berücksichtigt wird. Im zweiten Schritt wird dann die Einhaltung der Längenrestriktion überprüft und bei Verletzung eine Überarbeitung des Clusters mittels Kantentauschs mit benachbarten Clustern versucht. Gegebenenfalls werden neue Cluster eingefügt.

⁷⁰ Second Opt steht für Second Optimization, also zweistufige Optimierung.

⁷¹ Mit der Längenbeschränkung geht auch die Konvexität der Gebiete einher. Wie bereits angesprochen, ist für die Abbildung von verschiedenen NGA-Technologien die Einhaltung von Längenrestriktionen in Verteilgebieten von besonderer Bedeutung. Dies gilt sowohl für FTTC, aber auch für FTTB/H-Netze mit Verlegung in Mikrorohrverbänden, weil das Einblasen der Glasfaserkabel einer Längenrestriktion unterliegt. Die Einhaltung einer Längenrestriktion soll parametrisch gesteuert werden können, um somit auf die jeweilige Anforderung der betrachteten Technologie abstellen zu können.

Losgelöst von den Algorithmen der Clusterbildung kann durch die Granularität Straßensegmente, welche (inkl. der EVz-Daten) die Basisdaten für die Clusterbildung konstituieren, die Güte der Verzweigerbereichsbildung gesteigert werden. Die Notwendigkeit, die Maximallänge der Straßensegmente zu begrenzen, hängt dabei u. a. von den relevanten Kapazitätsbeschränkungen der Verteilgebiete ab.⁷²

Platzierung des Verzweigerknotens (KVz bzw. FVz)

Für die Platzierung des Verzweigerknotens sind im Modell zwei Varianten vorgehalten, die parametrisch ausgewählt werden können. Bei der ersten Variante erfolgt die Platzierung des Verzweigerknotens (KVz bzw. FVz) möglichst nah am MPoP, um die Trassenlängen des Hauptkabelbereichs gering zu halten.

Die zweite Variante zielt auf die Leitungslänge im Verzweigerbereich ab und sieht eine Platzierung in der Mitte des Verzweigerbereichs vor.

Übernahme von Scorched-Nodes (Übernahme von Verzweigerstandorten)

Sollen Kostenberechnungen für konkret bestehende FTTC-Versorgungsgebiete erfolgen, so ergeben sich daraus die Anforderungen eines Scorched-Node-Ansatzes. Wird die Zahl und Lage der Verzweigerstandorte vorgegeben, so müssen für die Modellanwendung ebenso die EVz mit ihren zugehörigen Straßenabschnitten den Scorched-Nodes zugeordnet werden.⁷³

4.4 Ableitung eines technologieübergreifenden Versorgungsbaumes

Im Analytischen Kostenmodell für das kupferbasierte Anschlussnetz erfolgt die Auslegung der baumförmigen Netztopologie (sowohl von Verzweiger- als auch Hauptkabelbereich) unter Rückgriff auf einen modifizierten Minimalen-Spannbaum-Algorithmus, der auch als „augmented minimum spanning tree“ bezeichnet wird. Mit dem Zusatz „modifiziert“ bzw. „augmented“ wird darauf abgestellt, dass nicht (allein) auf das Längenkriterium (kürzester Weg) bei der Optimierung abgestellt wird, sondern dass dieses durch

⁷² Wenn die maximale Anzahl Teilnehmer je Verzweigerbereich hinreichend niedrig gewählt wird, kann der Fall auftreten, dass die über ein Straßensegment angebundene Teilnehmerzahl bereits das für ein Verzweigergebiet vorgesehene Maximum übersteigt. Dem wird über eine hinreichend kurz zu wählende Straßensegmentierung entgegengewirkt. Ergänzend kann in solchen Fällen parametrisch die Anzahl erlaubter Verzweiger je Verteilgebiet nach oben angepasst werden, so dass sich eine zulässige Lösung ergibt.

⁷³ Aufgrund des Charakters einer vorgeschalteten Verzweigerbereichsbildung können auch alternative Zuordnungen unter Rückgriff auf eine exogen vorgegebene Inputdatenbank hinterlegt und für die Modellrechnungen verwendet werden. Dabei ist zu beachten, dass aufgrund der Datenstruktur die **Zuordnung** zu einem Verzweigerbereich **immer für ganze Straßensegmente** mit den zugehörigen EVz zu erfolgen hat.

Sofern die Zuordnung von Straßensegmenten zu KVz-Standorten nicht vorgeschaltet, sondern innerhalb des Modells erfolgen sollte (bspw. um eine veränderte Zuordnung abzubilden), bedarf es einer entsprechenden Implementierung in der Modellssoftware. Die Implementierung müsste jedem Straßensegment des Anschlussbereichs den nach Routinglänge nächstliegenden Verzweigerstandort zuweisen.

Verwendung eines Investitionsgewichts modifiziert wird (siehe hierzu die Erläuterungen in Abschnitt 4.4.1).

Für die Anwendung im NGA-Kontext wurde der bestehende Algorithmus derart erweitert, dass eine trassensegmentbezogene Speicherung der über diesen Abschnitt versorgten Anschlussnachfrage erfolgt (inkl. einer Indexierung der Nachfrage nach Maßgabe der zugehörigen NGA-Technologie). Damit wird ein Versorgungsbaum abgeleitet, der die Basis für eine NGA-Technologie spezifische Netzdimensionierung liefert.

Die Ableitung der Trassenauslegung für einen Anschlussbereich erfolgt in mehreren Schritten und setzt auf der zuvor erfolgten Verzweigerbereichsbildung und Platzierung der Verzweigerknoten auf.⁷⁴ Die Netzoptimierung erfolgt im ersten Schritt für die Verzweigerkabelsegmente eines Anschlussbereichs. Dabei wird je Verzweigerbereich ein optimaler Pfad der Trassen- und Kabelführung ermittelt. Danach wird für den Hauptkabelbereich die optimale Trassenführung zur Anbindung der Verzweigerknoten an den MPoP berechnet. In einem dritten Schritt werden die gespeicherten Informationen auf den Kanten des Graphen ausgelesen. Dabei werden nur die Kanten berücksichtigt, die bei der Haupt- und Verzweigerkabeloptimierung als optimale Kanten gekennzeichnet wurden. Für sie erfolgt eine Ausgabe mit Blick auf die Anzahl der über diesen Trassenabschnitt versorgten Anschlüsse unter Referenzierung der zu Grunde liegenden NGA-Technologie und des Anschlusstyps. Zusätzlich ist die Aufteilung der Anschlussnachfrage auf einzelne Kabel, wie sie sich aus der erforderlichen Hauszuführung ergeben, festzuhalten.

Die Berechnung der Topologie erfolgt auf Grundlage von graphenbasierten Algorithmen. Die Straßensegmente stellen die Kanten des Graphen dar. Die Beginn- und Endpunkte sowie die Straßenkreuzungspunkte bilden die Knoten des Graphen. Die Verzweiger- und Hauptkabelführung kann mit dem modifizierten Minimalen-Spannbaum-Algorithmus bestimmt werden, bei dem die Netzinvestitionen die Kantengewichte bilden (bisherige Modellierung des kupferbasierten Anschlussnetzes). Alternativ kann auf die Kantenlänge als Gewicht im Optimierungsalgorithmus abgestellt werden. Generell gilt, dass bei der Pfadbestimmung, sobald eine Kante in den optimierten Pfad aufgenommen wird, die Anzahl CuDA bzw. Fasern je Kante, je Seite (Straßenseite) und je Netzsegment (VzK, HK) gespeichert und ebenso das benötigte Equipment dimensioniert, bewertet und je Kante in den dafür vorgesehenen Variablen gespeichert wird. Dies wird so lange wiederholt, bis keine Kante mit positiver Nachfrage mehr anzubinden ist. Bei jedem Durchgang erfahren die sich bereits im optimalen Pfad befindenden Kanten eine Aktualisierung der genannten Informationen, wenn sie sich im Rückverfolgungspfad der hinzugefügten Kante befinden.

⁷⁴ Die Verzweigerbereichsbildung erfolgt unter Rückgriff auf eine NGA-Technologie spezifische Parameterwahl.

Nachfolgend wird zunächst der im bisherigen Kostenmodell für das kupferbasierte Anschlussnetz verwendete Algorithmus vorgestellt. Daran schließt sich die Darstellung des für die Glasfaserkabelverlegung angepassten Algorithmus an, die der Verlegung von individuellen (Glasfaser-)Kabeln im Verzweigerbereich pro EVz Rechnung trägt (siehe die Darstellung in Abschnitt 3.3.1.1).

4.4.1 Optimierungsalgorithmus

Für die NGA-Modellierung sollen Anschlussnachfragen, die nicht dem betrachteten Inkrement zuzuordnen sind, aber unter dem Gesichtspunkt der Verbundproduktion und Kostenteilung zu berücksichtigen sind, in die Modellierung einbezogen werden. Vor diesem Hintergrund soll das Modell in der Lage sein, Nachfragen verschiedener Anschlussnetze zum Zweck der Dimensionierung GIS-referenziert erfassen zu können. Für die Ableitung der Netztopologie und damit Trassenführung zur Bestimmung der Nachfrage auf den einzelnen Trassenabschnitten kann dabei auf die bestehende Methodik zurückgegriffen werden. Lediglich die Dimensionierung muss unter Berücksichtigung der NGA-Architektur spezifischen Anforderungen bzw. der Differenzierung von Anschlusstypen nachgelagert angepasst bzw. berechnet werden.⁷⁵ Nachfolgend wird die Rationalität für den im bestehenden Anschlussnetzmodell implementierten Optimierungsalgorithmus erläutert.

Nachdem sowohl die Verzweigerbereiche als auch die Position des Kabelverzweigers bestimmt wurden, besteht der nächste Schritt darin, sämtliche Kupferdoppeladern in einem Verzweigerbereich an den dazugehörigen Kabelverzweiger kostenminimal anzubinden. Die selbe Logik gilt für das Hauptkabelsegment, bei dem die Verzweigerknoten kostenminimal an den Hauptverteiler angebunden werden sollen.

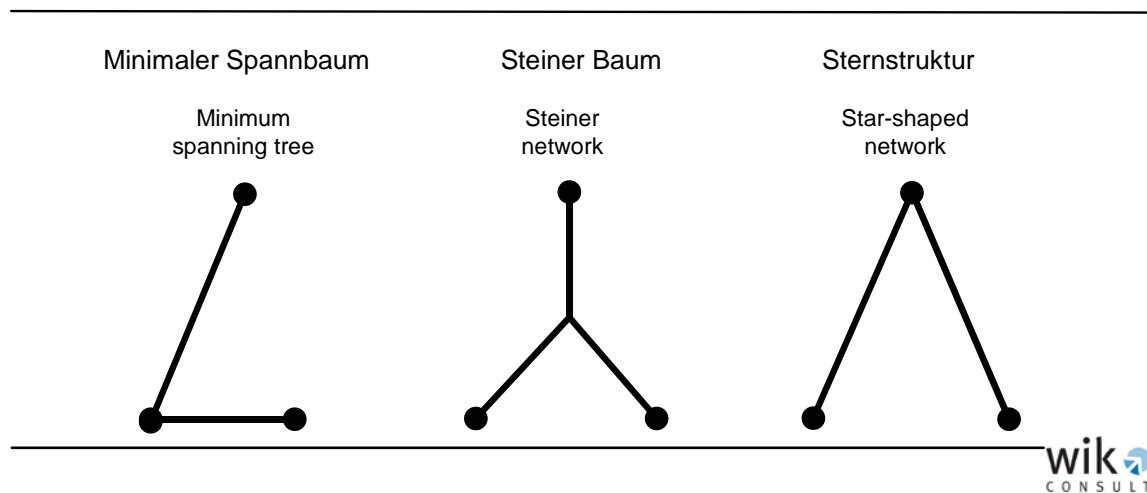
Die grundlegenden Strukturen⁷⁶ des Optimierungsproblems aus der Graphentheorie werden im Folgenden beschrieben.⁷⁷ Grundsätzlich lassen sich drei Ansätze für das Problem beschreiben. Diese sind der Minimale Spannbaum, der Steiner-Baum oder die Sternstruktur.

⁷⁵ Dem nachfolgend dargestellten Optimierungsansatz liegt faktisch schon eine Dimensionierung zu Grunde, die jedoch nun in einem weiteren Schritt auf die NGA-spezifischen Besonderheiten angepasst werden muss.

⁷⁶ Den Ausführungen zu Abschnitt 3.2.4 folgend, wird eine Ringtopologie nicht berücksichtigt.

⁷⁷ Ahuja, Magnanti und Orlin geben in dem Buch "Network flow" eine ausführliche Diskussion dieses Themas.

Abbildung 4-1: Netzwerktopologien



Eine Sternstruktur bedeutet, dass alle Netzknoten (z. B. EVz) über eigene Verbindungen an den Ursprungsknoten (z. B. KVz) angebunden werden. Potentielle Größen- oder Verbundvorteile auf der Ebene der Gräben bleiben so unberücksichtigt.

Die Topologie des minimalen Spannbaumes (minimum spanning tree, MST) hat den Vorteil, dass die Infrastruktur weitestgehend gemeinsam genutzt werden kann.

Der Steiner Baum löst das Problem, indem zusätzliche neue Knoten so gefunden werden, dass die Tiefbaukosten in einem solchen Netzwerk minimiert werden.

Das vorliegende Optimierungsproblem ist nicht linear und es existiert ein Trade-Off zwischen Infrastrukturinvestitionen auf der einen Seite und Kabelinvestitionen auf der anderen Seite. Während Infrastrukturinvestitionen eher durch den Ansatz des Minimalen Spannbaums minimiert werden können, werden Kabelinvestitionen eher durch die Sternstruktur minimiert. Insbesondere das Steiner-Problem ist NP-vollständig, so dass von einer weiteren Betrachtung des Steiner-Problems Abstand genommen wurde.⁷⁸

Der implementierte Modellierungsansatz basiert mit seinen Grundalgorithmen auf den Arbeiten von Prim, Kruskal und Dijkstra⁷⁹. Er umfasst zum einen den aus dem kupferbasierten Anschlussnetzmodell bekannten "modifizierten minimalen" sowie zum anderen auch den "einfachen" Spannbaum, bei dem lediglich die Kantenlänge bei der Optimierungsroutine Berücksichtigung findet. Letzterer verzichtet auf die Berücksichtigung

⁷⁸ NP vollständig: Für das Problem existiert keine Lösung, die in **akzeptabler Zeit** gefunden wird.

⁷⁹ Siehe Ahuja, Magnanti, Orlin.

des Trade-Offs zwischen Tiefbau- und Kabelinvestitionen in Form einer „inkrementellen“, nicht-linearen Investitionsfunktion.⁸⁰

Die grundlegende Aufgabe des implementierten Algorithmus besteht darin, eine Verbindung zwischen zwei Netzknoten zu finden. Im euklidischen Raum ist dies der kürzeste Weg zwischen den beiden Netzknoten (z. B. die direkte Verbindung). Die Topologie des Teilnehmeranschlussnetzes wird beschrieben durch eine Menge von Endverzweigern, die entlang des Straßennetzes an den korrespondierenden Kabelverzweiger kostenminimal angebunden werden sollen. Wird ein neuer Knoten einem vorhandenen Graphen hinzugefügt, d. h. ein neuer Knoten über einen bereits angeschlossenen Knoten an den Kabelverzweiger angeschlossen, fallen beim modifizierten minimalen Spannbaum sowohl Tiefbau- als auch Kabelkosten zur Anbindung des neuen Knotens, als auch zusätzliche „inkrementelle“ Tiefbau- und Kabelkosten auf den bereits vorhandenen Kanten an. Beim einfachen Spannbaum finden lediglich die Kantenlängen Berücksichtigung.

Die folgende Abbildung illustriert diesen Zusammenhang anhand eines Beispiels mit vier Knoten und zwei bestehenden Kanten.

Abbildung 4-2: Modifizierter minimaler Spannbaum-Algorithmus

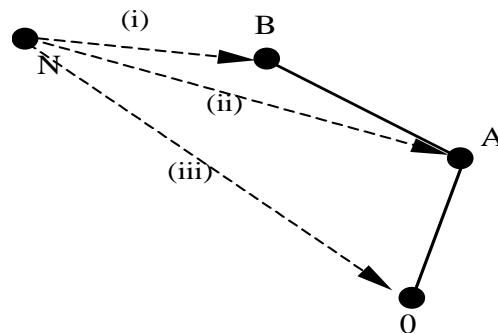


Abbildung 4-2 beschreibt diesen Algorithmus für das Problem, den Knoten N anzubinden. Gegeben sei, dass Knoten A und B wie dargestellt bereits in den Graphen aufgenommen wurden. Zur Anbindung von Knoten N bestehen die drei Möglichkeiten i), ii) und iii), die nachfolgend unter Berücksichtigung der nicht-linearen Investitionsfunktion illustriert werden.

⁸⁰ Dieser im folgenden beschriebene Algorithmus wird sowohl zur Optimierung des Verzweigerkabelnetzes (bestehend aus der Verbindung zwischen Endverzweigern [abgebildet auf den zugehörigen Straßensegmenten] und dem Kabelverzweiger), als auch zur Optimierung des Hauptkabelnetzes (bestehend aus den Verbindungen zwischen Kabelverzweigern und dem Hauptverteiler) angewendet.

Im Fall i) wird N an B angeschlossen. Die Kante NB ist die kürzeste Verbindung zwischen N und allen anderen Knoten. Somit würde die Anbindung über B die geringsten "nicht-zusätzlichen" Kosten verursachen. Aber es entstehen zusätzliche Kosten auf der Kante BA und A0. Diese zusätzlichen Kosten müssen ebenfalls betrachtet werden.

Im Fall ii) wird N an Knoten A angebunden. Analog zum Fall i) müssen hier sowohl die Kosten NA als auch die zusätzlichen Kosten auf A0 betrachtet werden.

Lediglich in Fall iii) entstehen nur die Kosten der Anbindung N0 und keine zusätzlichen Kosten auf den Kanten BA und A0. Alle drei Lösungen werden in die Warteliste aufgenommen und entsprechend ihrer Gesamtkosten aufsteigend sortiert. Wie oben dargestellt, wird dasjenige Element ausgewählt, das die geringsten Kosten bei der Anbindung von N verursacht.

Bei der Ableitung des Versorgungsbaums finden sämtliche Anschlussnachfragen Berücksichtigung. Er bildet die Basis für die Dimensionierung und anschließende Bewertung des Anschlussnetzes für die durch den Modellanwender vorzugebende NGA-Technologie

4.4.2 Beidseitige Straßenverlegung und Straßenquerung

Die im vorstehenden Abschnitt beschriebene Vorgehensweise wird im Modell dahingehend verfeinert, als dass für jede Anbindung eine Differenzierung in linke und rechte Straßenseite erfolgt. Auf diese Weise wird die Berücksichtigung einer beidseitigen Trassenführung und Kabelverlegung entlang der Straße möglich. Dabei wird die Entscheidung, ob die Netzauslegung beidseitig oder einseitig entlang der Straße erfolgt, immer vorab geprüft und anhand eines Kriteriums entschieden.

Im Einzelnen wird bei der Modellierung Folgendes geprüft:

- Befinden sich auf beiden Seiten der Straße Gebäude mit positiver Anschlussnachfrage?
- Falls nein:
 - Das Straßensegment wird nur mit der bebauten Straßenseite bei der Netzauslegung berücksichtigt (genuine einseitige Verlegung entlang der Straße).
- Falls ja:
 - Es wird der durchschnittliche Gebäudeabstand auf beiden Straßenabschnitten berechnet.

- Diese Abstände werden mit dem vom Modellanwender vorzugebenen mittleren Abstand (Eingabeparameter) verglichen. Sofern (mindestens) einer der berechneten Werte größer ist als der Eingabewert, so kommt es zu einer einseitigen Netzauslegung entlang der Straße (und zwar auf der Straßenseite mit dem kleineren mittleren Abstand zwischen den Gebäuden).
- Für die Zahl der Gebäude, die jetzt nicht durch einen Ausbau auf der eigenen Straßenseite erschlossen werden, muss eine Straßenquerung erfolgen. Die Kosten der Straßenquerung werden in ihrer Höhe über einen Eingabeparameter gesteuert.

Die hier beschriebene Entscheidung über ein- oder beidseitige Trassenauslegung entlang der Straße wird für jedes Netzelement individuell getroffen. Diese Entscheidung und damit verbundenen Ausbaukosten fließen als Inputgröße in den Augmented-Minimum-Spanning-Tree-Algorithmus ein.

4.4.3 Gemeinsame Verlegung von Hauptkabel- und Verzweigerkabeltrassen

In Abschnitt 4.4.1 wurde der Optimierungsalgorithmus zur Auslegung des Versorgungsbaums erläutert. Dieser wird zuerst für die Auslegung des Verzweigerkabels und im Anschluss für die des Hauptkabels angewendet. Da durch eine Verlegung von Verzweiger- und Hauptkabel in gemeinsamen Gräben Kosten gespart werden können, wird bei der Auslegung des Hauptkabels dem Algorithmus die Information der bereits bestehenden Gräben, die im ersten Schritt für die Auslegung des Verzweigerkabels festgelegt wurden, zur Verfügung gestellt. Bei der Entscheidung, welche Trassen für die Realisierung des Hauptkabels gewählt werden, können somit die reduzierten Kosten der Verzweigerbereichstrassen und damit die Kostenvorteile berücksichtigt werden. Dieser Ansatz findet im Modell unabhängig von der zu berechnenden NGA-Technologie Anwendung.

4.4.4 Erweiterung des Algorithmus zur Berücksichtigung der Auslegung in separierten Kabeln

Der bisherige methodische Ansatz basierte auf dem Wissen um die aggregierte Nachfrage je Kante (Straßenabschnitt). Diese Information war hinreichend, um die gesamte Dimensionierung der Netzelemente abzuleiten.⁸¹ Sofern sich aus technischen Gründen für Glasfaseranschlüsse diese Aggregation verbietet,⁸² muss eine Umstellung der Algo-

⁸¹ Dadurch ist eine Aggregation der Kabel auf größere Verbünde für jeden Straßenabschnitt möglich, wie es im Kupfermodell auch unterstellt wird: Aus den vorgenannten Größen werden die benötigten Grabengrößen abgeleitet, ebenso die Dimensionierung der Muffen und Kabelschachtanlagen.

⁸² Siehe dazu auch Abschnitt 3.3.1.1.

rithmen dergestalt erfolgen, dass sie das Nebeneinander von Kabeln individueller Kabelgröße unter Beibehaltung der gemeinsamen Grabennutzung erlauben. Hierzu ist es notwendig, weitere Informationen zur Kabelführung auf den Kanten zu speichern, damit eine Dimensionierung der Trassen und eine Berechnung des Mengengerüstes je Kante möglich wird. Diese Zusammenhänge werden im nachfolgenden Unterkapitel 4.5 genauer erläutert.

Unter Rückgriff auf die Information auf jeder Kante des Graphen zur Anzahl der Kabel eines jeden Kabeltyps, die im optimalen Pfad über die Kante geführt werden, kann die Dimensionierung aller weiteren Mengengrößen abgeleitet werden. Diese Information muss je Straßenseite und je Netzsegment (VzK, HK) für jede Technologie, die abgebildet werden soll, vorliegen. Sofern auch die Nachfrage anderer Anschlussnetze⁸³ explizit berücksichtigt werden soll, müssen diese Informationen auch für jeden zu berücksichtigenden Anschlussstyp vorgehalten werden.⁸⁴

Eine Aufbereitung des Mengengerüstes je Anschlussbereich, nach Haupt- und Verzweigerkabel getrennt, wird einer separaten Bewertungsroutine zugeführt, mit der die Investitionswerte abgeleitet werden können. Die Investitionswertberechnung und die Herleitung der produktspezifischen Aufbereitungen kann dann in Excel erfolgen.

Die Speicherung der relevanten Informationen je Straßenabschnitt erlaubt es, die gemeinsame Nutzung von Gräben, anderen baulichen Anlagen und sonstigem linientechnischem Equipment nach Maßgabe der Besonderheiten der NGA-Technologie zu bemessen und die Zuteilungsschlüssel je Straßenabschnitt zu ermitteln. Dies impliziert, dass es im Prinzip unerheblich ist, ob die Netzoptimierung für die verschiedenen Anschlussdienste getrennt oder gemeinsam unter Beachtung gemeinsamer Trassenführung gerechnet werden.

Nach dem beschriebenen Optimierungsansatz besteht daher die Möglichkeit, die optimierten Kabelführungen der differenziert berücksichtigten Anschlussstypen je Straßensegment zu speichern und entweder einer gemeinsamen oder separierten Dimensionierung zuzuführen. Ferner erlaubt die Speicherung des Mengengerüstes je Straßensegment eine Kostenzurechnung auf unterschiedliche Anschlussdienste.

⁸³ Aus Sicht der hier beschriebenen Modellierung, sind verschiedene Anschlussstypen in einem gemeinsamen Anschlussnetz zu integrieren. Die hier formulierte Separierung von Anschlussnetzen stellt darauf ab, dass die unterschiedlichen Anschlussstypen durch individuelle Kabel, ggf. auch (i. d. R. nur geringfügigem Teil) individuelle Gräben, realisiert werden.

⁸⁴ Unter diese Anschlussstypen fallen beispielsweise Mobilfunkantennenstandorte oder Hotspots.

4.5 Hauszuführung – Dimensionierung und Abgrenzung vom Verzweigerkabelsegment

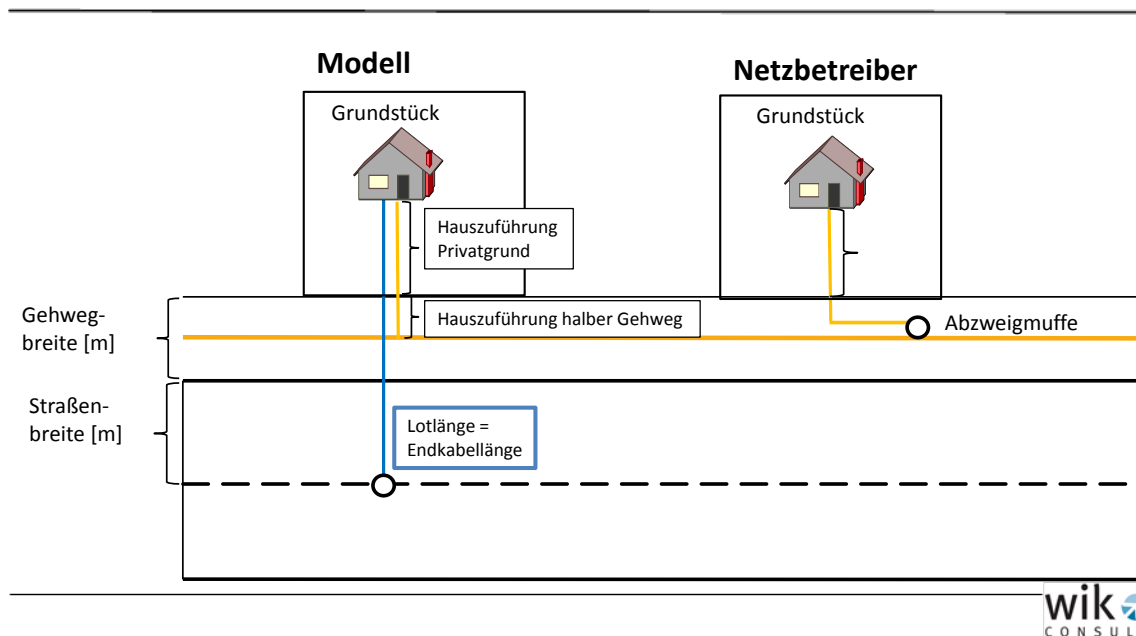
Mit der Hauszuführung wird im Modell die Anbindung der Endverzweigerstandorte an die Trasse des Verzweigerkabels beschrieben. Für die Hauszuführung werden im Modell sowohl Trassen- als auch Kabelinvestitionen bestimmt und separat von denen des Verzweigerkabelsegments ausgewiesen. Die Grundlage für diese längenbasierte Investitionswertermittlung bilden die Geo-Koordinaten der Endverzweiger sowie Annahmen über die durchschnittliche Gehweg- und Straßenbreite, die eine Berechnung des Lotabstands vom Endverzweiger zur Straßenmitte erlauben (blaue Linie in Abbildung 4-3).

Die hier vollzogene Abgrenzung von Hauszuführung und Verzweigerkabel weicht von der in der Praxis verwendeten ab. Dies soll mit dem rechten Teil in der Abbildung 4-3 verdeutlicht werden, wo die Praxis eines Netzbetreibers dargestellt ist. Dort findet sich auf der Trasse des Verzweigerkabels eine Abzweigmuffe, von der ausgehend das Endkabel – zum Teil noch gemeinsam mit dem Verzweigerkabel – auf der Trasse verläuft, bis es in den Hauszuführungsgraben abzweigt. In der Praxis kommt es daher zu einem Auseinanderfallen der Längen für Endkabel und Hauszuführung.

Im Modell werden demgegenüber die Längen des Endkabels über die Lotlängen berechnet, welche die Längen der Hauszuführung um die halbe Straßenbreite und halbe Gehwegbreite überschätzt (siehe Abbildung 4-3). Da im Kostenmodell keine Platzierung von Muffen vorgenommen wird, kann die Kabellänge von der Muffe bis zum Schnittpunkt des Gehwegs mit der Lotlinie nicht exakt ermittelt werden. Das Kabel wird deshalb als Korrektiv hierfür in der vollen Lotlänge bemessen.

Im kupferbasierten Anschlussnetz finden Abzweigmuffen Berücksichtigung. Da bei der Modellierung der Glasfaserkabel auf eine Verwendung von Abzweigmuffen verzichtet wird, weil der Abzweig des „Endkabels“ bereits am Verzweigerknoten erfolgt, beschränken wir bei der Glasfaservariante die Endkabellänge auf die Hauszuführung (im Unterschied zum Kupfer-Endkabel, für welches eine Länge nach Maßgabe der Lotlänge erfolgt). Wie aus der nachfolgenden Abbildung 4-3 hervorgeht, beinhaltet die Hauszuführung den Streckenabschnitt auf privatem Grund sowie die halbe Gehweglänge, wobei letztere mit einem Durchschnittswert zum Ansatz gebracht wird.

Abbildung 4-3: Hauszuführung und Endkabel



4.6 Dimensionierung von Kabeln und Kabelverbindungen

Die Dimensionierung von Kabeln und Kabelverbindungen bedarf im Kontext der NGA Modellierung einer stärkeren Differenzierung, um die Kostenwirksamkeit zu erfassen. Dies betrifft zum einen die auf den Trassen zu bedienende Fasernachfrage in Abhängigkeit der NGA-Technologie im Hauptkabelsegment, zum anderen die verlegetechnik-bezogene Bündelung der Fasernachfrage nach zu versorgenden Gebäuden.

Im Kupferkabel nehmen wir weiterhin an, dass jedes Gebäude ausgehend von einer Abzweigmuffe am Straßenrand mit einem Kabel in jener Stärke angebunden wird, das die Nachfrage im Gebäude inklusive Reserven versorgt. Über die Abzweigmuffe wird die Kupfernachfrage je Straßensegment in ein Kabel eingeführt, das die gesamte Nachfrage auf dem Straßensegment inklusive des durchlaufenden Leiterbedarfs des optimierten Kabelbaumes umfasst. Dabei nimmt die Kabelstärke in Richtung des Kabelverzweigers zu. Die Bündelung von Kabeln wird über den Einsatz von Verbindungsmuffen herbeigeführt, die in einem vorzugebenden Abstand angesetzt werden. Im Hauptkabelbereich wird das gleiche Verfahren angewendet, wobei die CuDA-Nachfrage der einzelnen KVz auf den HVt zugeführt werden und der Kabelbaum entlang des optimierten Kabelpfades zunimmt. Auch hier werden Verbindungsmuffen in einem vorgegebenen Abstand unterstellt.

Bei den Varianten der Glasfaserverlegung wird je Gebäude ein hinreichend dimensioniertes Glasfaserkabel vom Faserverzweiger bis zum Gebäude geführt, was in Erd-,

Rohr- und Mikrorohrverlegung erfolgen kann.⁸⁵ Es kommt somit zu einem nebeneinander vieler Kabel mit geringer Kabelstärke, die im Regelfall keine Verbindungsmuffen benötigen. Im Hauptkabelbereich sind ebenfalls ein oder (sofern die Leiternachfrage die Faserzahl des größten Kabels übersteigt) mehrere Kabel je Faserverzweiger vorgesehen. Überschreitet die Länge eines Kabels eine vorgegebene Maximallänge des Glasfaserkabels (Restriktionen etwa aufgrund maximaler Kabellängen auf Kabelrollen oder des Einblasens oder Einziehens) kommen Verbindungsmuffen zum Einsatz, um die benötigte Kabellänge bereitstellen zu können. Auch ergeben sich „natürliche“ Spleißstellen an Verzweigerknoten, die eine Verjüngung des Hauptkabels an diesen Spleißstellen erlauben. Eine Investitionswertberechnung für Verbindungsmuffen erfolgt unter Rückgriff auf die Kabellängen für die Anbindung der Verzweigerknoten an den MPoP. Die Beschränkungen durch limitierte Einblaslängen werden über einen Preisaufschlag auf die Kabelpreise berücksichtigt, so dass der durchschnittliche Abstand zwischen Verbindungsmuffen nicht von der maximalen Einblaslänge getrieben wird.

4.6.1 Anschluss- und Kabelnachfrage mit NGA-Referenzierung

Wie in Abschnitt 4.4 dargelegt, sollen auf Basis der mit Hilfe des Shortest-Path-Algorithmus bestimmten Netztopologie die Anschlussnachfragen straßensegmentbezogen ausgewiesen werden. Dabei wird an der generellen Grenzziehung zwischen Verzweigerbereichssegment und Hauszuführung aus modellierungstechnischen Gründen festgehalten (siehe hierzu auch Abschnitt 4.5⁸⁶).

Die folgende Tabelle 4-4 stellt die NGA-spezifischen Anforderungen an die Dimensionierung von Kabeln im Verzweigerkabelsegment gegenüber. Dabei wird sowohl auf die Anzahl Adern/Fasern als auch Kabel abgestellt.

⁸⁵ An dieser Stelle ist die Verlegeart von untergeordneter Bedeutung, da es zunächst um die Bestimmung der benötigten Faserzahl sowie deren Verteilung auf parallel zu legende Kabel geht; die Verlegeart wird im Abschnitt 4.7 zur Trassendimensionierung aufgegriffen.

⁸⁶ Die Verzweigerbereichslängen ergeben sich aus den Längen der zum Verzweigerbereich zugehörigen Straßensegmente; die Längen der Hauszuführung durch die Abstandsbestimmung des EVz zur Mitte des Gehwegs (Lot vom Gebäude zur Straße). Im Modell erfolgt eine Differenzierung von Kabel- und Grabenlänge bei der Hauszuführung.

Tabelle 4-4: Technologieabhängige Kabeldimensionierung im VZB und auf dem Hauszuführungssegment

	VZB			Hauszuführung		
	erforderliche Dimensionierung pro Evz			erforderliche Dimensionierung pro Evz		
	Kabel	Mikrorohr*)	Fasern/CuDA	Kabel	Mikrorohr	Fasern/CuDA
FTTC Vectoring	Verstärkung des Kabels durch Spleißen	-	# aktive Anschlüsse	1	-	# aktive Anschlüsse
FTTB XG.Fast	1	1	# DSLAM	1	1	# DSLAM
FTTH PON P2MP	1	1	# aktive Anschlüsse	1	1	# aktive Anschlüsse
FTTH P2P	1	1	# aktive Anschlüsse	1	1	# aktive Anschlüsse

*) Kapazitätsbeschränkung der Mikrorohre (abhängig vom Innendurchmesser und der damit zulässigen maximalen Faserzahl). Sofern die Nachfrage die maximale Faserzahl übersteigt, ist ein zweites Mikrorohr und ein entsprechendes Kabel zu dimensionieren.

Aus der vierten und der letzten Spalte geht die Anzahl der zu berücksichtigenden CuDA bzw. Glasfasern pro zu realisierendem EVz im Verzweigerbereich sowie im Hauszuführungssegment hervor, wobei der Leiterbedarf (Ader- bzw. Faserbedarf) im Hauszuführungssegment mit dem im Verzweigerkabelsegment identisch ist. Es fällt auf, dass lediglich für die Technologieoption FTTB XG.fast nicht für jeden individuellen Nachfrager im Verzweigerbereich eine eigene Glasfaser vorgehalten werden muss. Vielmehr erfolgt über die DSLAM im Gebäude eine Aggregation, die die Fasernachfrage in den nachgelagerten Netzsegmenten bestimmt.

Ein weiterer, dimensionierungsrelevanter Aspekt geht aus den Spalten 2 und 5 hervor und betrifft die Auswahl der Kabel für die Realisierung der zuvor genannten Leiternachfrage.

- Bei allen drei FTTH/B-Architekturen wird eine durchgängige Kabelverlegung vom Gebäude bis zum Faserverzweiger vorgesehen. Die Stärke des Kabels wiederum ist abhängig von der jeweiligen NGA-Technologie bzw. der aktiven Anschlussnachfragen pro Gebäude.
- Erfolgt die Bestimmung der Kabelstärke demgegenüber nach Maßgabe der aggregierten Anschlussnachfrage auf dem jeweiligen Trassensegment (wie es bei der kupferbasierten Modellierung der Fall ist), so kann der bestehende Algorithmus des Anschlussnetzmodells weiterhin Anwendung finden.

Um die hier für die Glasfaser vorgesehene Dimensionierung von Kabeln beim Modellierungsansatz berücksichtigen zu können, ist eine entsprechende Logik zu implementieren, die über die bestehende Logik des kupferbasierten Modells hinaus geht. Die Abbildung der skizzierten Glasfaserkabelauflegung soll in Form eines eigenständigen Algo-

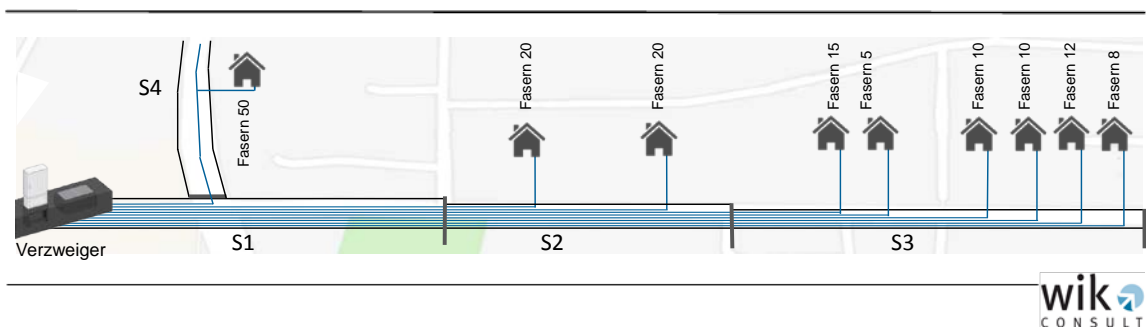
rhythmus erfolgen, der alternativ zu der bestehenden Routine der Kupferkabeldimensionierung angewendet werden kann.

Ausgehend von einem bestehenden Versorgungsbaum und dem zugehörigen Leiterbedarf kann eine Zuweisung der benötigten Kabel erfolgen.

- 1 Glasfaserkabel je Gebäude wird bis zum Faserverzweiger geführt.⁸⁷
- Pro Straßensegment wird eine Liste mit der Anzahl Kabel je Kabeltyp benötigt, die über das Segment geführt werden.
- Daraus lassen sich die Mengen des Netzequipments ableiten (Kabellängen, Gräben, Schachttypen) wie im Kupfermodell.
- Je Segment wird eine Liste je Straßenseite und je Verzweigerkabel und Hauptkabel benötigt.
- Listen sind je Straßensegment zu speichern.
- Je Straßensegment ist die gemeinsame Nutzung und Aufteilung der Nutzungen bekannt und berechenbar (Mengengerüstausswertung).

Diese Methodik ist in der nachfolgenden Abbildung für eine FTTH-Technologie illustriert. Dabei wird die im Modell berücksichtigte Segmentierung in Straßenabschnitte in der Abbildung mit den Segmenten S1, S2, S3 und S4 veranschaulicht.

Abbildung 4-4: Anschlussnachfrage und Versorgungsbaum



Unter Berücksichtigung des in Abbildung 4-4 gezeigten Versorgungsbaums lassen sich die Informationen zur Bestimmung der erforderlichen Anzahl von Kabeln und zugehöriger Faserzahl ableiten. Die nachfolgende Tabelle dokumentiert – differenziert nach

⁸⁷ Sofern die Anzahl der im Gebäude zu realisierenden aktiven Anschlüsse die Faserzahl des größten Kabels überschreitet, wird im Modell ein weiteres Kabel berücksichtigt. Wir gehen davon aus, dass in der Realität Gebäude mit einer derart großen Nachfrage direkt an den ODF angeschlossen werden. Da dies in der Realität jedoch eher selten der Fall sein wird, erachten wir die von uns präferierte methodische Vorgehensweise für angemessen und verzichten auf eine exakte Nachbildung.

Straßensegmenten – die Menge der benötigten Kabel und Fasern. Dabei ist die hier in der Tabelle gewählte Konfektionierung von Kabelgrößen (ausgedrückt in „Anzahl Fasern“) rein illustrativ. Ein Vorschlag zur Konfektionierung findet sich in Abschnitt 5.2.2.

Tabelle 4-5: Kabelprovisionierung nach Straßensegmenten im VzK-Segment bei FTTH

Kabeltyp Faserzahl/ Kabel	Anzahl Kabel Segment 1	Anzahl Kabel Segment 2	Anzahl Kabel Segment 3	Anzahl Kabel Segment 4
4 Fasern	0	0	0	0
8 Fasern	2	2	2	0
12 Fasern	3	3	3	0
24 Fasern	3	3	1	0
48 Fasern	0	0	0	0
72 Fasern	1	0	0	1
96 Fasern	0	0	0	0
132 Fasern	0	0	0	0
192 Fasern	0	0	0	0
288 Fasern	0	0	0	0

Auf Basis des abgespeicherten Versorgungsbaums und der pro Straßenabschnitt hinterlegten Anschlussnachfrage kann unter Rückgriff auf die Transformationsfaktoren der NGA-Technologien das zugehörige Kabel-Mengengerüst bestimmt⁸⁸ und für eine Bewertung zugänglich gemacht werden. Dieser Schritt – die Zuweisung von vorzuhaltenden Kabeln – setzt voraus, dass entsprechende Kabeltypen, wie hier in der ersten Spalte dargelegt, über Eingangsparameter definiert werden (Investitionsparameter bzgl. Konfektionierung und Preisen, siehe hierzu auch Abschnitt 5.2).

Die hier skizzierte methodische Vorgehensweise zur Bestimmung der erforderlichen Kabel und zugehörigen Kabelstärken je Straßenabschnitt im Verzweigerkabelsegment findet für das Hauptkabelsegment analog Anwendung. Ausgangspunkt bildet dann ebenfalls ein Versorgungsbaum zur Anbindung der Verzweigerknoten an den MPoP, inkl. der jeweiligen Anschlussnachfrage und des NGA-Technologiebezugs.

4.6.2 Berücksichtigung von Reserven mittels Zuschlagfaktor

Für die Berücksichtigung von Reserven findet ein Aufschlagssatz Anwendung. Über Eingangsparameter ist der prozentuale Zuschlagssatz festzulegen. Dieser kann nach

⁸⁸ Siehe hierzu die Ausführungen in Abschnitt 4.2 sowie Tabelle Tabelle 4-2.

Hauptkabel- und Verzweigerkabelsegment differenziert festgelegt werden. Sofern, wie in Abschnitt 4.1.3 ausgeführt, auch die nicht-aktiven „Homes passed“ bei der Netzdimensionierung kostentreibend berücksichtigt werden, ersetzt dies die Anwendung eines globalen Zuschlagfaktors.

Eine technische Reserve wird analog zur Nachfragereserve abgebildet und zusätzlich berücksichtigt. Diese methodische Vorgehensweise soll für die Kabeldimensionierung sowohl im Verzweigerkabel- (und damit auch der Hauszuführung) als auch Hauptkabelsegment Anwendung finden.

Bei der gewählten Vorgehensweise addieren sich ökonomische und technische Reserve. Die vorzuhaltenden technischen Reserven sind technologieabhängig und die ökonomische Reserve betrifft das allgemeine Nachfrageverhalten (Veränderung über die Zeit) und die Einwohnermobilität.

$$D_i = d_i * (1 + tr + er)$$

l = Hausanschluss

D = Anzahl Fasern / Kupferdoppeladern, die je Gebäude bereitgestellt werden müssen

d = Nachgefragte Anzahl Fasern / Kupferdoppeladern je Gebäude zur Versorgung der aktiven Kunden

tr = prozentualer Aufschlag auf die Nachfrage aufgrund technischer Notwendigkeiten

er = prozentualer Aufschlag auf die Nachfrage aufgrund von Nachfrageverschiebungen

Im Fall der im Feld konzentrierenden NGA-Technologien (FTTH PON P2MP sowie FTTC) sind im Hauptkabelsegment die Reserven (nachfragegetrieben und technisch) dergestalt vorzusehen, dass hier ein Aufschlagssatz auf die nachfragegetriebene Faserzahl bzw. dessen Bewertung zu vollziehen ist.

4.7 Trassendimensionierung

Die Tiefbauinvestitionen bilden den größten Teil des Kapitalbedarfs ab. Die Höhe der Tiefbauinvestitionen richtet sich dabei nach der Trassenlänge und dem Raumbedarf der zu verlegenden Kabel. Während die Trassenlänge sich aus der Summe der Straßenabschnittslängen (abgeleitet über den Shortest-Path-Algorithmus) bestimmt, wird der Raumbedarf durch die Anzahl der zu verlegenden Glasfasern, Kabel und der zugehörigen Verlegeart (d. h., Erdverlegung oder KKA-Verlegung) getrieben.

Im Analytischen Kostenmodell für das kupferbasierte Anschlussnetz wurden für die Trassendimensionierung Erdverlegung und Kabelkanalverlegung (DN110-Röhren) un-

terschieden. Die Entscheidung über den Umfang der jeweiligen Verlegeart wurde über einen Strukturparameter gesteuert.⁸⁹

Im erweiterten Modell werden für die Glasfaser folgende Verlegearten berücksichtigt:⁹⁰

- Erdverlegbare Glasfaserkabel (spezielle Kabel für die direkte Erdverlegung)⁹¹
- Erdverlegbare Mikrorohrverbände
- Rohr-in-Rohr-Verlegung (Mikrorohr in Rohr)
- Röhrenverlegbare Glasfaserkabel (klassische Glasfaserkabel mit >12,5 mm Außendurchmesser, die auch im Mehrfachrohr (bspw. Rohrteiler 2x 40 & 2x 32) oder direkt in ein Kabelrohr KR 50 eingeblasen werden können)

4.7.1 Konfektionierung der Trassengröße nach Zugzahlen

Im bisherigen kupferbasierten Anschlussnetzmodell wurde eine Konfektionierung der Grabengrößen unter Rückgriff auf Zugzahlen vollzogen. Für Erdverlegung waren Grabengrößen für 2, 4, 6 und 12 Züge, für Röhrenverlegung für 4, 6, 12 und 24 Züge vorgesehen. Die Zugzahl ihrerseits konstituiert den zentralen Treiber für den Raumbedarf und ist über die Zahl der verlegten Kabel (bei Kupfer mit maximal 2.000 CuDA) definiert. Da im Kupfer-Anschlussnetzmodell immer eine vollständige Aggregation der CuDA-Nachfrage in einem Kabel erfolgte, konnte eine Gleichsetzung von Zug und Kabel erfolgen. Bei der Röhrenverlegung ging daher mit jedem Kabel der Bedarf an einem Rohr einher (Rohrzug). Es wurden ausschließlich DN110 Rohre berücksichtigt.

Diese Vorgehensweise findet im erweiterten Modell **für die Verlegung von Kupferkabeln** weiterhin Anwendung.

Mit Blick auf die Verlegung von Glasfaserkabeln, wie sie in Abschnitt 4.5 dargelegt wurde, muss jedoch eine Anpassung des Modells erfolgen, da die vorgesehene Methodik für Glasfaserkabel nicht mehr eine Aggregation der Fasernachfrage auf ein größtmögliches Kabel erlaubt.

⁸⁹ Da der Entscheidung über die Verlegeart eine regionsbezogene Einschätzung zu Grunde liegt, was die jeweilige Rangier-Notwendigkeit betrifft, kann dies schwerlich endogen im Rahmen eines Bottom-up-Modells bestimmt werden. Da im Fokus der Bottom-up-Modellierung eine Abschätzung der durchschnittlichen Kosten pro Anschlussleitung steht, ist die Anwendung von Verlegeartanteilen ein probates Mittel.

⁹⁰ Für erdverlegbare Mikrorohrverbände sowie für die Rohr-in-Rohr-Verlegung könnten ggf. Kabel gleichen Typs verwendet werden. Im Modell werden dennoch 4 Kabeltypen zu unterschieden, siehe dazu auch Tabelle 5-8. Dies erlaubt eine spätere Differenzierung der Mikrorohrpreise für erdverlegte Mikrorohre und Rohr-in-Rohr verlegte.

⁹¹ Zu direkt erdverlegbaren Glasfaserkabeln siehe beispielsweise Datwyler (2014): Die Auswirkungen von Wasser auf Glasfaserkabel, White Paper, http://www.cabling.datwyler.com/fileadmin/mediapool/userfiles/download/white_papers_2014/Datwyler_WP_Wasser_auf_LWL_2014.pdf

Auch wenn somit die Ableitung des Raumbedarfs von Glasfaserkabeln in den Gräben neu zu spezifizieren ist, soll dennoch der Raumbedarf eines Zugs aus dem Kupfermodell – ausgedrückt in Trassenkapazität für 1 Zug – als Referenzgröße (Normierung) für die Dimensionierung herangezogen werden.⁹² Zur Normierung der Kapazität eines Zuges kann somit auf die KKA-Verlegung eines DN110 abgestellt werden.⁹³

4.7.1.1 Zugdefinition, Verlegearten und Zugäquivalente von Kabeln

Die Neuauslegung einer Glasfaserkabelinfrastruktur erfolgt heutzutage jedoch weniger unter Verwendung von (ggf. bestehenden) DN110-Röhren, sondern eher unter Verwendung von DN50-Röhren oder Mikrorohrverbänden. Aus der Perspektive der Kostenmodellierung ist die Differenzierung zwischen den DN110- und DN50-Rohren eher von nachrangiger Bedeutung, da wir keine relevanten Kostenunterschiede zwischen 4x DN50 und 1x DN110 inkl. Rohrteiler erwarten. Von Bedeutung für die verfolgte Kostenmodellierung ist vielmehr die aus der Rohrdimensionierung mittelbar abgeleitete Nachfrage nach Grabenkapazität, die für die Tiefbauinvestitionen und damit die Gesamtkosten bedeutend ist. – Die Grabendimensionierung im Modell basiert daher auf der Annahme, dass diese so auszulegen ist, dass die zugehörige Zugzahl entweder durch DN110-Rohre oder die Vielfachen von DN50-Rohren realisiert werden kann.

Es ist selbstredend, dass in der Praxis die Verwendung von DN110- und DN50-Rohren auch weiteren Kriterien folgt. Für die hier im Fokus stehende Kostenberechnung und die darüber abgebildete Grabengröße ist die vorgenommene Normierung hinreichend. Entsprechend ist es möglich, bei der Investitionswertberechnung der Rohrtypen nicht nach den NGA-Architekturen bzw. Kupfer- oder Glasfaserkabel unterscheiden zu müssen: Wir gehen von einer Äquivalenz der Kapazität (ausgedrückt in Glasfasern) von 4x DN50 und 1x DN110 aus. Diese Annahme findet sich in der nachfolgenden Tabelle 4-6 in den letzten beiden Spalten, wobei der Wert für das DN50-Rohr ein Viertel des DN110-Rohrs ausmacht.

Das Fassungsvermögen der Rohre für eine Mikrorohr-in-Rohr-Verlegung ist in der nachfolgenden Tabelle in Raumäquivalenten ausgedrückt. In Abhängigkeit der Außendurchmesser der Mikrorohre (erste Spalte) ergibt sich eine maximale Anzahl bei gegebener Rohrgröße (dritte Spalte für DN50, vierte Spalte für DN110). Der Innendurchmesser der Mikrorohre determiniert die maximale Faserzahl des einblasbaren Glasfaserkabels (zweite Spalte).

⁹² Die Normierung auf einen Zug nach Maßgabe der CuDA-Modellierung ist vor dem Hintergrund des Rückrechnungserfordernisses angestrebt.

⁹³ Es ist selbstredend, dass die Faserkapazität eines DN110 bei einer Rohr-in-Rohr-Verlegung kleiner ist als im Fall von röhrenverlegten Glasfaserkabeln. Diese Ungenauigkeiten sind der Abstraktionsnotwendigkeit des Modells geschuldet und in ihren Kostenimplikationen aus unserer Sicht vertretbar.

Tabelle 4-6: Raumäquivalente von Mikrorohrtypen

Typen von Mikrorohren u. Anzahl im DN 50 Außen \varnothing [mm]	Maximale Anzahl Fasern pro Mikrorohr	Zugäquivalent Mikrorohr pro DN50	Zugäquivalent Mikrorohr pro DN110
18 x 7 mm	24	1/18	1/72
10 x 10 mm	96	1/10	1/40
5 x 14 mm	144	1/5	1/20
4 x 16 mm	288	1/4	1/16

Diese Zusammenhänge illustrieren die Zusammenhänge hinsichtlich der Raumanforderungen der Glasfaserkabel für die Rohr-in-Rohr-Verlegung. So kann ausgehend von der Anschlussnachfrage und der daraus abgeleiteten, benötigten Faserzahl pro EVz das passende Glasfaserkabel ausgewählt werden, welches wiederum eine bestimmte Mikrorohrgröße mit zugehörigem Raumbedarf im Rohr mit sich bringt. Pro Trassen-segment kann somit die Nachfrage, ausgedrückt in Zugäquivalenten, berechnet und der Graben dimensioniert werden.

Die Definition der Zugäquivalente konstituiert für die Modellanwendung zentrale Eingangsgrößen, aus der sich die Dimensionierung der Zugzahlen und Grabengrößen ableitet. Sie wird für die verschiedenen Verlegearten sowie nach dem Medium (Kupfer bzw. Glasfaser) unterschieden. Dies ist in der nachfolgenden Tabelle 4-7 dargelegt. Diese Vorgehensweise erlaubt es dem Modellanwender, die Zugäquivalente differenziert nach Verlegeart festzulegen.

Bezüglich der erdverlegbaren Mikrorohrverbände wird von einer Äquivalenz zum DN50 ausgegangen, so dass auch hier 4 erdverlegbare Mikrorohrverbände einer Kapazität von einem DN110 entsprechen.

Tabelle 4-7: Zugäquivalente von Glasfaserkabeln differenziert nach Verlegeart

Glasfaserkabel mit	Zugäquivalent erdverlegtes Gf-Kabel	Zugäquivalent Gf-Kabel bei erdverlegtem Mikrorohrverband	Zugäquivalent Gf-Kabel bei Mikrorohr-in-Rohr-Verlegung	Zugäquivalent röhrenverlegtes Gf-Kabel
4 Fasern				
8 Fasern				
12 Fasern				
24 Fasern				
48 Fasern				
96 Fasern				
144 Fasern				
192 Fasern				
216 Fasern				
288 Fasern				
480 Fasern				
576 Fasern				
1156 Fasern				

Um nun die Trassen dimensionieren zu können, ist pro Trassensegment die Summe über die benötigten Röhren-Zugäquivalente zu berechnen und auf die nächste ganzzahlige Zahl aufzurunden. Für die so ermittelte Zugzahl ist dann der passende (hinreichende) Grabentyp zu wählen.

4.7.1.2 Grabengrößen für Erd- und Röhrenverlegung

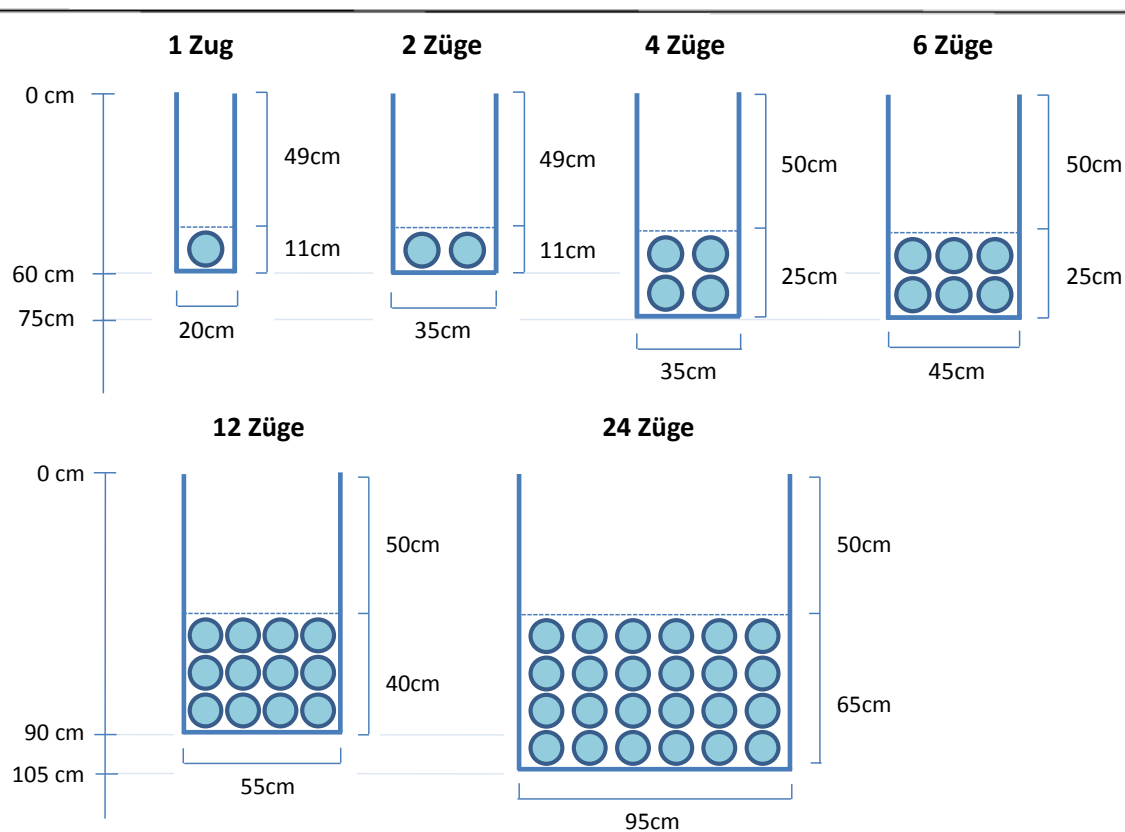
In der nachfolgenden Tabelle sind illustrativ die Grabengrößen dargelegt, die – für die postulierten Äquivalente – eine Auslegung der hier genannten Zugzahlen unterstützen. Für die Standardbauweise wird hier eine Mindestdiefe von 60 cm unterstellt, die auch für die Verlegung von DN110-Rohren eine hinreichende Mindestüberdeckung erlaubt. Die Grabengrößen wurden unter Rückgriff auf Lichte Grabenbreiten nach DIN 4124 abgeleitet, wobei die Mindestüberdeckung in Höhe von 50 cm berücksichtigt wurde.⁹⁴ In der nachfolgenden Tabelle 4-8 sind die für die Zugzahlen vorgeschlagenen Grabengrößen dargestellt. Sowohl Zugzahlen als auch zugehörige Grabengrößen sind durch den Modellanwender festlegbar. Die Abbildung 4-5 illustriert die die hier angegebenen Grabenmaße und Rohranordnung.

Tabelle 4-8: Zugzahlen und einheitliche Grabengrößen für Kupfer- und Glasfaserverlegung als Modelleingangsparameter

Anzahl Züge	Tiefe/ Breite [in cm]	Erdverlegung	KKA-Verlegung
1 Zug	Tiefe	60	60
	Breite	20	20
2 Züge	Tiefe	60	60
	Breite	35	35
4 Züge	Tiefe	75	75
	Breite	35	35
6 Züge	Tiefe	75	75
	Breite	45	45
12 Züge	Tiefe	90	90
	Breite	55	55
24 Züge	Tiefe	105	105
	Breite	95	95

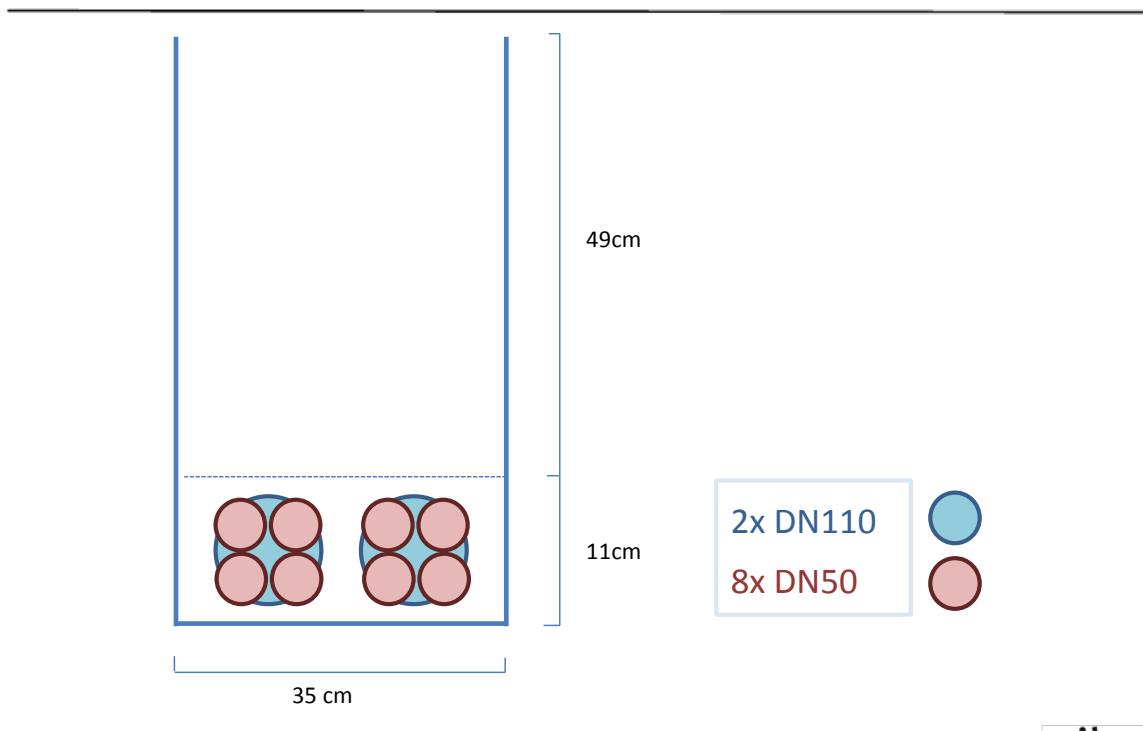
94 Siehe dazu auch ZTV-TKNetz, vom 10. Oktober 2017, S. 18.

Abbildung 4-5: Grabenmaße und Rohranordnung (DN110) - Illustration



Wie bereits in Abschnitt 4.7.1.1 ausgeführt, wird für die Grabengrößen auf die Größe eines Zugs, ausgedrückt durch ein DN110-Rohr, normiert. Die dabei unterstellte Äquivalenz von 4x DN50 zu 1x DN110 ist in der nachfolgenden Abbildung 4-6 für den 2-zügigen Graben dargestellt. Es ist selbstredend, dass in der Praxis mit steigender Zugzahl die Verwendung der DN50 der Verwendung größerer Rohre weicht. Für den hier verfolgten Zweck der Grabendimensionierung ist die getroffene Annahme vertretbar.

Abbildung 4-6: Äquivalenz von 2x DN110 und 8x DN50



4.7.2 Trassenkosten und Tiefbautechniken

Alternative Tiefbautechniken, welche mit der Verlegung von Glasfaserkabeln Bedeutung gewonnen haben, wurden in Abschnitt 3.3.1.3 näher ausgeführt.

In welcher Vielfalt eine Berücksichtigung der verschiedenen Tiefbautechniken erfolgen soll, ist insbesondere eine konzeptionelle Frage. Idealtypisch lassen sich unterschiedliche Tiefbaukosten auf Basis eines gemeinsamen Sets an Inputparametern abbilden.

Eine Form der Berücksichtigung kann in einer (gegenüber der Modellierung des kupferbasierten Anschlussnetzes stärkeren) Differenzierung der Grabengrößen liegen. Eine andere Differenzierung könnte nach Maßgabe der Oberflächenbehandlung erfolgen.

In welchem Umfang die alternativen Tiefbautechniken zum Ansatz kommen, ist letztlich eine empirische Frage, die außerhalb des Modells zu beantworten und parametrisch für die Kostenermittlung einzufangen ist.⁹⁵ Für die Umsetzung dieser Merkmale streben wir folgende methodische Berücksichtigung an:

⁹⁵ Dazu könnten Anteile als Gewichte für die verschiedenen Tiefbautechniken bei der Kostenmodellierung verwendet werden, so wie dies bisher bei den Verlegetechniken Erd- und KKA-Verlegung umgesetzt wurde.

Die im vorstehenden Abschnitt 4.7.1 dargelegte Konfektionierung von Gräben stellt gegenüber der bisher im Kupfermodell verwendeten eine Erweiterung dar. Diese besteht in der Berücksichtigung von

- Gräben mit nur einem Zug – sowohl für Erd- als auch KKA-Verlegung,
- Frästechnik und
- mindertiefer Verlegung.

Der erste Punkt ist motiviert durch die Erwartung, dass insbesondere bei kleiner zugeschnittenen Verzweigerbereichen im Fall von NGA-Architekturen, die Leiternachfrage auf den Verzweigertrassen in den meisten Fällen über eine solche Grabengröße realisiert werden kann. Gleiches gilt für die Anbindung der Outdoor-MSAN an den MPoP im Hauptkabelsegment.

Die Berücksichtigung der Frästechnik erscheint vor dem Hintergrund der am Markt verfügbaren Umsetzungsvarianten als eine effiziente Realisierung und sollte aus unserer Sicht für den 1-zügigen Graben gegenüber der offenen Standardbauweise vorgezogen werden. Bereits in Tabelle 3-5 wurde das Macro-Trenching mit einer Schlitzbreite von 20 cm und einer Schlitztiefe von bis zu 50 cm erwähnt. Dabei kann im Fall von einzügigen Trassen davon ausgegangen werden, dass keine DN110-Rohre verwendet werden, sondern DN50er oder auch Flatliner von sog. Mikrorohrverbänden, wie sie in Abbildung 3-12 dargestellt wurden.

Für die kostenmäßige Abbildung steht im Modell ein Eingabeparameter in Form eines Abschlagfaktors auf den Preis pro Grabenmeter der Standardbauweise zur Verfügung. Dieser kann auch dazu herangezogen werden, um beispielsweise Einsparungen aus der Anwendung der Frästechnik zu berücksichtigen.

Die KKA-Verlegung auch mit einem Grabentyp von 2 Zügen zu berücksichtigen, ist ebenfalls aus Kostengründen motiviert. Eine Grabenkapazität von 2x DN110 oder 8x DN50 bietet bei einer Verlegung von Glasfaserkabeln mittels Mikrorohren oder Rohrteilern eine Vielzahl von Belegungsmöglichkeiten und damit verbundene Flexibilität. Das Modell ist mit einer Flexibilisierung der Grabentypen, für die die Zugzahl nun parametrisch vorgegeben werden kann, für eine entsprechende Anwendung offen (siehe dazu auch Abbildung 4-6).

Der dritte Punkt, die mindertiefe Verlegung, ist ebenfalls dem Argument der Kosteneffizienz geschuldet. Allerdings müssen hier – vergleichbar zu der Frästechnik – Einschränkungen hinsichtlich der Anwendbarkeit gemacht werden, auf die bereits in Abschnitt 3.3.1 hingewiesen wurde: Die mindertiefe Verlegung bedarf der kommunalen Zustimmung und kann daher nicht flächendeckend unterstellt werden. Ebenso ist davon auszugehen, dass die mindertiefe Verlegung auf das Verzweigerkabelsegment sowie die Kapazität von einem Zug beschränkt ist. Aufgrund der parametrisch gestalteten

Grabengrößen ist dieser Fall durch das Modell abbildbar. Dies impliziert jedoch eine durchgängige Anwendung der Parametereinstellungen für die ausgewählten Anschlussbereiche. Alternativ sollen die Kosteneinsparungen gegenüber der offenen Standardbauweise auch über einen Abschlagsfaktor (Eingabeparameter) berücksichtigt werden können.

4.7.3 Trassenkosten und Verbundvorteile

Die einem Telekommunikationsnetz zurechenbaren Kosten können durch eine gemeinsame Nutzung von Trassen reduziert werden. Dem LRIC-Maßstab folgend, sind derartige Verbundvorteile bei der Bestimmung dienstespezifischer Kosten zu berücksichtigen. Dies ist im bestehenden Kostenmodell für das kupferbasierte Anschlussnetz unter Rückgriff auf Beilauffaktoren berücksichtigt. Dabei erfolgt eine Differenzierung von Verbundvorteilen mit alternativen Infrastrukturen (externer Beilauf) und Verbundvorteilen aus gemeinsamer Nutzung der Infrastruktur durch weitere Anschlussnetze oder das Verbindungs- bzw. Breitbandnetz (interner Beilauf).

4.7.3.1 Verbundvorteile durch gemeinsame Verlegung mit alternativen Infrastrukturen

Der externe Beilauf nimmt (lediglich) eine anteilige Zurechnung der Infrastrukturkosten (Gräben) auf andere Versorgungsträger vor. Hierbei werden die Aspekte Investitionserhöhung durch beilaufbedingte Grabenverbreiterung und Beschränkung der spezifischen Investitionersparnis auf betroffene Trassenanteile bereits verrechnet. Es kommt zu einer entsprechenden Netto-Einsparung bei den Trassenkosten. Für die Modellanwendung werden hierzu Angaben differenziert nach Hauptkabel- und Verzweigerkabelsegment sowie Hauszuführung benötigt.

4.7.3.2 Berücksichtigung von Linien des Verbindungsnetzes und anderer Anschlussnetze

Auch die gemeinsame Verlegung von Linien des Anschlussnetzes mit denen des Verbindungs-/Breitbandnetzes oder auch alternativer Anschlussnetze⁹⁶ reduziert die vom hier betrachteten (bottom-up-modellierten) Anschlussnetz für den Endkunden-Massenmarkt zu tragenden Kosten (interner Beilauf).

Die Abgrenzung, welche Anschlüsse in das Inkrement des zu modellierenden NGA-Netzes einzubeziehen sind, obliegt letztlich dem Entgeltregulierungsverfahren. – Der ND&KRM-Empfehlung zufolge sind zweifelsfrei die kupferbasierten Endkundenanschlüsse sowie die bereits auf NGA-Technologie migrierten Anschlüsse bei der Bottom-up-Modellierung zu berücksichtigen. Alle vom betrachteten Netzbetreiber darüber hin-

⁹⁶ Hierunter fallen Anschlussnetze für Mobilfunkstandorte, Mietleitungen o. Ä.

aus realisierten Anschlüsse sind entweder als separater Anschlusstyp oder unter dem Rubrum interner Beilauf zu berücksichtigen.

Erfolgt eine explizite Berücksichtigung alternativer Anschlusstypen bei der Bottom-up-Modellierung, so kann nach Maßgabe durchschnittlicher LRIC die Kostenteilung verursachungsgerecht erfolgen. Der Eingangsparameter „Interner Beilauf“ muss dann lediglich zur Bestimmung der Kosteneinsparung den Anteil des Verbindungsnetzes an der Inanspruchnahme der Trassen umfassen (anteilige Inanspruchnahme der Gräben).

Fließen die alternativen Anschlussnetze nicht in Form einer standortreferenzierten Nachfrage in die Bottom-up-Modellierung ein, so müssen auch diese über den internen Beilauffaktor abgebildet werden. Bei der Datenerhebung werden die Inanspruchnahme der Gräben differenziert für den internen Beilauf durch alternative Anschlussnetze sowie den internen Beilauf für das Verbindungsnetz erhoben. Dabei wird davon ausgegangen, dass diese Anteile bei der Datenerhebung aus einer Top-down-Perspektive abgeleitet werden. Die modellalgorithmische Umsetzung des internen Beilaufs beinhaltet eine Grabendimensionierung für die Gesamtheit der Nachfragen.⁹⁷

Der interne Beilauf beeinflusst die Investitionen nicht nur für Gräben, sondern auch für Kabelkanalanlagen inklusive Schächte. Das über das Modell ermittelte Mengengerüst für Grabengrößen, Schachtgrößen sowie Systemgrößen von Kabelkanalanlagen leitet sich aus der Bottom-up-modellierten Anschlussnachfrage und dem internem Beilauf ab. Die Investitionen werden anteilig zugerechnet. Zusammenfassend bezieht sich die Kostenteilung beim internen Beilauf nicht nur auf die Gräben, sondern auch auf die Kabelkanalanlagen, die gemeinsam mit den parallel verlegten Telekommunikationskabeln genutzt werden.

4.7.4 Bodenbeschaffenheit und Oberflächenarten als Kostentreiber

Der Umfang der mit Tiefbauarbeiten verbundenen Investitionen wird maßgeblich von der Bodenbeschaffenheit und den Oberflächenarten bestimmt. Diese Merkmale wurden bereits im bestehenden kupferbasierten Anschlussnetzmodell berücksichtigt und sollen gleichermaßen für die Berechnungen des erweiterten Modells für den herkömmlichen Tiefbau Anwendung finden. Eine Darstellung der zugehörigen Eingangsparameter findet sich in Abschnitt 5.2.1

4.8 Muffen und Spleißkosten

Kabeldimensionierung und Kabelverbindungen gehen bei der Netzauslegung Hand in Hand. Für das kupferbasierte Anschlussnetz kommen im bestehenden Algorithmus

⁹⁷ Der externe Beilauf wirkt allein investitionswertmindernd.

Verbindungs muffen nach Maßgabe eines parametrisch vorzugebenden Abstands je Netzsegment unter Berücksichtigung der Kabelstärke zum Ansatz. Für das Verweigerkabelsegment sind Abzweigmuffen nach Maßgabe der auszuführenden CuDA zu dimensionieren.

Werden für Glasfaseranschlüsse (EVz) individuelle Kabel gelegt, und wird die Länge der auszulegenden Kabel durch den Clusteralgorithmus effektiv beschränkt, so verlieren das Spleißen und zugehörige Kosten im Verzweigerkabelsegment ihre Bedeutung. Für den Anwendungsfall einer Verlegung von Glasfaserkabeln in Mikrorohrverbänden wird im Modell stattdessen pro EVz ein Abzweig verrechnet (inkl. Muffe für das Rohr). Ein solcher Mikrorohrverband mit Abzweig ist in der nachfolgenden Abbildung veranschaulicht.

Abbildung 4-7: Erdverlegbarer Mikrorohrverbund 24x7mm mit Abzweigung



Quelle: BMVIT (2017): Planungsleitfaden, S. 28

Im Hauptkabelsegment ist jedoch davon auszugehen, dass die Abstände von den Verzweigerknoten zum Verteiler am MPoP größer sind, als dies bei den Abständen EVz – Verzweigerknoten der Fall ist. Entsprechend werden für das Hauptkabelsegment Kosten für Verbindungs muffen berechnet.

Dabei kommen Verbindungs muffen nur für diejenigen Kabel zum Ansatz, die eine vorgegebene Maximallänge überschreiten. Dazu berechnet das Modell die Kabellänge von jedem Faserverzweiger bis zum MPoP. Übersteigt die Kabellänge das vorgegebene Maß, wird die Länge durch die zulässige Maximallänge dividiert. Ist beispielsweise die maximale Kabellänge 1.000m und die Strecke vom Faserverzweiger zum MPoP 2000m, so ist eine Muffe je Kabel hinreichend. Ist der Abstand z. B. 2.500m, dann wer-

den 2 Muffen je Kabel benötigt. Die Dimensionierung der Muffen erfolgt nach Kabelstärke für jedes betroffene Kabel.

Die methodische Vorgehensweise zur Bestimmung der Muffen und Spleißkosten stellt auf die Faserzahl ab und vernachlässigt die Verlegeart. Lediglich bei erdverlegten Glasfaserkabeln im Hauptkabelsegment sind zusätzliche Grubenkosten zu berücksichtigen.

4.9 Schächte

Kabelschächte kommen im Rahmen von Schalt- und Rangiererfordernissen zum Einsatz oder haben die Funktion von Rohr-Abzweigungen in mehrzügigen Rohranlagen. In ihnen sind nicht zuletzt auch Verbindungsmuffen zugänglich. Die Investitionswertbestimmung ordnet die Schächte dem Bereich der Röhrenkabelverlegung (KKA) zu.

Kabelschächte kommen a priori unabhängig vom Medium des Kabels (Kupfer oder Glasfaser) zum Einsatz. Sie unterscheiden sich insbesondere hinsichtlich ihrer Größe mit Blick auf Außenmaße sowie Kapazitäten für die zu versorgenden Kabel und Rohre.

Im Kostenmodell werden Schächte nach Maßgabe der Grabengrößen mit den zugehörigen Zugzahlen definiert. Kosten werden erfasst für den Schacht und seine Installation sowie den zugehörigen Tiefbau (Grube). Der zentrale Kostentreiber (Häufigkeit von Schächten) wird durch den durchschnittlichen Schachtabstand auf den Trassen parametrisch gesteuert. Bei der Festlegung des durchschnittlichen Schachtabstands ist zu beachten, dass die Investitionen für den Schacht am MPoP bereits bei der Investitionswertmodellierung dieser Netzelemente berücksichtigt werden.

Die Investitionswertermittlung erfolgt pro Trassensegment unter Rückgriff auf die jeweils trassenrelevante Zugzahl. Diese bestimmt ihrerseits die Auswahl der Schachtgröße, welche die vorliegende Zugzahl bedienen können muss.

Für die Verlegung von Glasfaserkabeln muss bei der Modellierung der Schachtinvestitionen die Differenzierung der Verlegeart bei KKA im Hinblick auf die Fallunterscheidung nach Verzweigerkabel- und Hauptkabelsegment beachtet werden. Für das Verzweigerkabelsegment ist eine Verwendung von erdverlegbaren Mikrorohrverbänden vorgesehen. Wie bereits im Kontext der Muffen dargelegt (siehe Abschnitt 4.8), findet bei der Auslegung des Verzweigerbereichs eine maximale räumliche Erstreckung Berücksichtigung, welche nach Maßgabe der Einblaslängen für die Glasfaserkabel parametrisch festzulegen ist. Somit erübrigt sich für das Verzweigerkabel eine Berücksichtigung von Schächten für Spleißstellen und Verbindungsmuffen bzw. reduziert sich auf Einzelfälle, die entsprechend parametrisch abzufangen sind. Abzweige können über entsprechende Baugruppen, wie in Abbildung 4-7 dargestellt, realisiert werden. Entsprechend bedarf es i. d. R. lediglich zusätzlicher Investitionen für eine Grube in Analogie zu Muffen bei Erdverlegung und keiner spezifischen Schachtinvestition bei dieser Verlegeart.

4.10 Abschluss- und Schalteinrichtungen

Für die Dimensionierung und Kostenmodellierung der Abschluss- und Schalteinrichtungen ist ein generischer Ansatz zu implementieren: In Abhängigkeit der NGA-Technologie werden die Einrichtungen in Bezug auf die Funktionalitäten, Kapazitäten und Preise parametergesteuert definiert. Kostentreiber ist vornehmlich die zu bedienende Leiterzahl sowie die Anzahl der zu installierenden Schalteinrichtungen. Diese Vorgehensweise erlaubt eine technologieneutrale Formulierung der Algorithmen für die Bottom-up-Zuweisung der Netzelemente.

5 Inputdaten zur Investitionswertermittlung

Mit einem analytischen Kostenmodell wird die Berechnung der Kosten auf die Verwendung einer reduzierten, überschaubaren Zahl von Netzelementen beschränkt. Neben diesen Investitionsparametern im Sinne von Preiskomponenten bedarf es weiterer Nachfrage- und Strukturparameter, die zur Ableitung des Mengengerüsts für die Investitionswertberechnung erforderlich sind. In diesem Abschnitt sollen die Inputdaten mit Blick auf die im Modell anzulegende Datenstruktur sowie die Möglichkeiten ihrer Beschaffung dargelegt werden. Von zentraler Bedeutung ist die Georeferenzierung der nachfragebezogenen Standortinformationen sowie die Berücksichtigung eines GIS-Straßenlayers.

5.1 Netzknoten und GIS-Daten

5.1.1 Abschlusspunkte des Anschlussnetzes: Standortinformationen zu Anschlussnachfrage (Endkunden) und Scorched-Nodes (MPoP)

Die Modellierung des Anschlussnetzes setzt auf der Anschlussnachfrage des zu modellierenden Betreibers auf. Diese wird in ihrer räumlichen Lage georeferenziert und der Menge nach erfasst.

Für den Anwendungsfall der Berechnung der Kosten des Kupferanschlussnetzes des marktmächtigen Unternehmens impliziert dies die Abfrage der Endverzweigerkoordinaten des betrachteten Unternehmens und deren aktuellen Beschaltung.

Weiterhin wurde im Rahmen des Scorched-Node-Ansatzes der Kostenmodellierung die Zuordnung der Endverzweiger zum Aggregationsknoten, dem Hauptverteiler, abgefragt und in die Netzmodellierung zur Kostenbestimmung übernommen. Aus der Tabelle 5-1 geht dieser Zusammenhang aus den ersten beiden Spalten hervor. Diese Zuordnung hat somit den Charakter von Eingangsdaten der Modellierung und wird nicht modellen-dogen bestimmt. Daher ist der Modellierungsansatz von dieser Abgrenzung der Anschlussbereiche unberührt. Letztere konstituiert ein Element der Modellbefüllung.

In Ergänzung zu den bisherigen Abfragen soll in der fünften Spalte „Index NGA-Technologie“ eine Referenzierung des EVz erfolgen. Dabei wird hier auf die Differenzierung verschiedener Anschlussnetze abgestellt, wie sie in diesem Dokument an verschiedenen Stellen, insbesondere mit der Intention einer verursachungsgerechten Kostenteilung, adressiert wurde.

Tabelle 5-1: Datenerfassung Anschlussnachfrage

EVz_ID	zugehörige MPoP_ID	Anzahl beschaltet Anschlüsse	Anzahl Wohneinheiten	Index NGA-Techn.	PLZ Ort	Straße	Hausnr.
1	1_111	4	6	3	11111	Hauptstr.	11

Länge Grad	Länge Minuten.	Länge Sekunden	Breite Grad	Breite Minuten	Breite Sekunden
8	42	29,44332223	50	7	11,44332223

Die Nachfrageverortung soll idealerweise auf den Gesamtbestand an Gebäuden und Adresspunkten⁹⁸ für Deutschland aufsetzen. Die geographische Lage dieser Adresspunkte ist bekannt und deren Anbindung an das Straßennetz kann unabhängig von den genauen anschlussdienstspezifischen Nachfragemengen in der Modelldatenbank hinterlegt werden. Diese Informationen könnten beschafft und bereitgestellt werden. Im Rahmen spezifischer Anwendungen können dann die dienstspezifischen Nachfragemengen über eine Adressabfrage oder über die räumliche Nähe der Nachfrageverortungen den bereits auf die Straßensegmente verorteten Adresspunkten zugewiesen werden.⁹⁹

Dieses Vorgehen soll helfen, die Datenaufbereitung unabhängiger vom aktuellen Verfahren zu gestalten. Das Modell wird dadurch flexibler anwendbar. Die jeweils benötigten Nachfragemengen können auf den Bestand zugeordnet werden. Hinzufügungen zum Bestand, etwa aufgrund von Neubaugebieten, erfolgen in deutlich geringerer Größenordnung im Rahmen einzelner Verfahren oder im Rahmen von Updates des Grunddatenbestands.

Da diese Datenaufbereitung den eigentlichen Algorithmen zur Dimensionierung der Netzelemente vorgelagert ist, besteht auch weiterhin die Möglichkeit, die Methodik der vergangenen Modellanwendungen anzuwenden.

⁹⁸ Dies umfasst die Angabe von PLZ, Ort, Straße und Hausnummer.

⁹⁹ Bei der Verwendung von Adressdaten kann beispielsweise auch den Gebäuden ein eindeutiger amtlicher Schlüssel für die Gebietskörperschaften zugewiesen werden. Damit lassen sich Zugangsnetzbe-rechnungen und Auswertungen auch für Gebietskörperschaften auf verschiedener Gliederungsebene erzeugen. Derartige Aspekte können im Kontext von regional abgegrenzten Märkten oder auch der regionalen Förderung des Breitbandausbaus von Relevanz sein.

MPoP

Ebenso wie für die EVz bedarf es für die MPoP der Angabe der GIS-Daten. Die Daten sind in Analogie zu den EVz abzufragen.

Tabelle 5-2: Datenerfassung MPoP

Name	MPoP_ID	PLZ Ort	Straße	Hausnr.
Berlin-Mitte	1_111	11111	Hauptstr.	11

Länge Grad	Länge Minuten	Länge Sekunden	Breite Grad	Breite Minuten	Breite Sekunden
8	42	28,44332223	50	7	9,44332223

Das Berechnungsmodell wird so auszugestaltet sein, dass es mit verschiedenen Versorgungsgebietsabgrenzungen und unterschiedlichen Aggregationsknotenmengen rechnen kann.

5.1.2 Straßendaten

Seit 2003 basieren die Berechnungen des Analytischen Kostenmodells für das Anschlussnetz auf einer Trassen- und Kabelverlegung entlang des Straßennetzes, um eine möglichst realitätsnahe Bestimmung der Kosten für Trassen- und Kabelführung des Anschlussnetzes zu erlauben.¹⁰⁰ Seit dem Verfahren 2009 erfolgen die Anschlussnetzberechnungen für die TAL flächendeckend für alle (kupferbasierten) Anschlussbereiche des DTAG-Netzes. Die Optimierung der Wegführung basiert auf graphentheoretischen Verfahren, die das Straßennetz als Routingnetz verwenden, um die Nachfrageknoten (Endverzweiger) über Zwischenknoten (den KVz) den Hauptverteilern zuzuführen.

Straßen werden dabei in Form von Straßensegmenten verarbeitet. Diese sind „natürlich“ durch Straßenkreuzungen oder Straßenabzweigungen segmentiert bzw. weisen eine maximale Länge auf.¹⁰¹ Die Daten zu den Straßensegmenten werden (in der Vorverarbeitung für die Modellbefüllung) mit den Standortinformationen der Netzknoten verknüpft. Die straßenabschnittsbezogenen Gebäudeinformationen beinhalten ihrerseits eine Unterscheidung der beiden Straßenseiten (rechts und links) für eine beidseitige Straßenverlegung.

¹⁰⁰ In der Version 2.0 des Kostenmodells für das Teilnehmeranschlussnetz basierte die Modellierung der Netzinfrastruktur grundsätzlich auf dem Luftlinienabstand zwischen Netzknoten, unter Berücksichtigung eines Umwegfaktors.

¹⁰¹ In der Vergangenheit wurden Straßensegmente mit einer Länge von mehr als 300 Metern in mehrere Straßensegmente (von wiederum maximal 300 Metern) separiert.

Dieser Ansatz bildet weiterhin die Basis für die Modellierung der Infrastruktur im Anschlussnetz. Entsprechend ist ein aktuelles Straßennetz für Deutschland als Modellinput zu verwenden. Zusammenfassend stellen sich Datenbedarf und Datenaufbereitungsbedarf zur Erstellung der Modelldatenbank wie folgt dar.

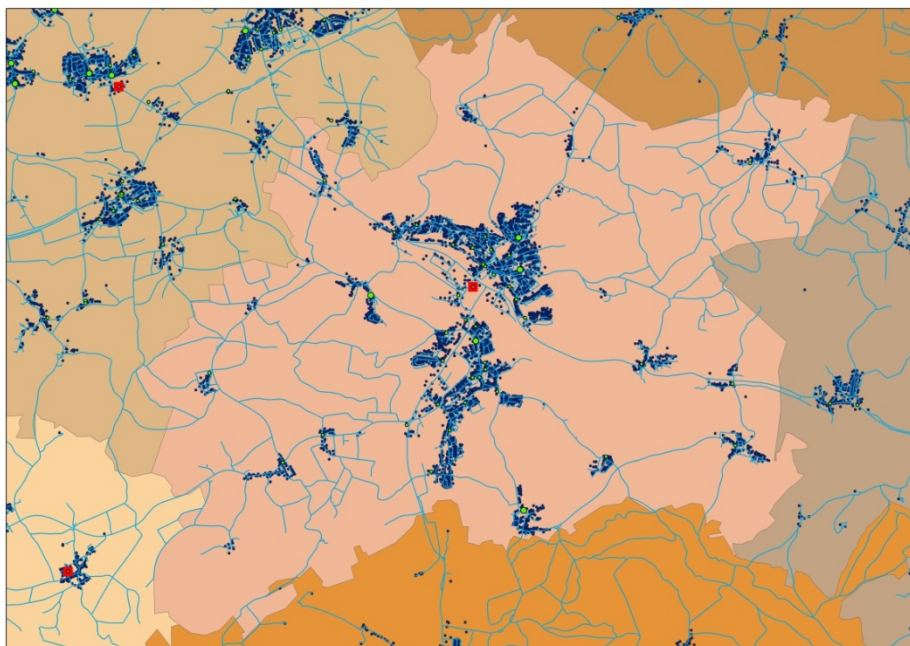
- Aktueller Gebäude- und Adressdatenbestand für Deutschland
- Aktueller Straßenbestand für Deutschland
- Anbinden aller Gebäude an die Straßen (inkl. einer Zuordnung zur Straßenseite)

Daran anknüpfend sind zur Bestimmung der Netztopologie folgende verfahrensspezifischen Daten notwendig, die vom Unternehmen, dessen Netz modelliert werden soll, erfragt werden oder davon unabhängig geschätzt werden müssen:

- Die geografischen Koordinaten der Endkundennachfrage (typischerweise der EVz) sowie die beschalteten Nachfragemenge am Ort der Koordinate (Anzahl CuDA, Anzahl Glasfaser bzw. Glasfaserpaare). Diese Information wird dem Gebäude- und Adressbestand in der Datenbank eindeutig zugeordnet.
- Die geografischen Koordinaten des netzseitigen Aggregationspunktes (Hauptverteiler- oder ODF-Standort) und eventuell die Zuordnung der Endkundenstandorte zum Aggregationspunkt, wenn der Versorgungsbereich vorgegeben werden soll.
- Die Zuordnung der Straßen zu einem Versorgungsgebiet (Straßenverläufe innerhalb eines Anschlussbereiches).
- Die geografischen Koordinaten der Kabelverzweiger, wenn diese als Scorched-Nodes vorgegeben und in die Modellierung einfließen sollen.

Die Inputdatensituation ist in folgender Graphik als Beispiel illustriert:

Abbildung 5-1: Verortete Anschlussnachfrage, Straßennetz und Versorgungsgebiete



Quelle: WIK-Consult

In der Grafik sind die Aggregationspunkte (Verteiler-Standorte bzw. MPoP) rot gekennzeichnet, die geographisch verorteten Nachfragen sind als blaue Punkte dargestellt, die zugeordnete Anschlussnachfrage ist pro Datenpunkt in der Datenbank hinterlegt (hier nicht sichtbar). Das Straßennetz ist hellblau dargestellt, die abgegrenzten Versorgungsgebiete sind als farblich unterschiedene Flächen dargestellt. Sie umfassen alle Nachfragepunkte, die einem Anschlussbereich zugeordnet sind. Die Zuordnung kann vorgegeben oder endogen ermittelt sein. Die grünen Punkte stellen die Kabelverzweigerstandorte dar, die entweder als Scorched-Nodes vom Netzbetreiber erfragt oder endogen ermittelt werden.

5.2 Investitionsparameter – Leistungsmerkmale und Preise

Die Investitionen des Anschlussnetzes bestimmen sich aus der Bewertung der Mengen der einzelnen Netzkomponenten für die verschiedenen Anschlusstechnologien. In Abschnitt 3.1.2 wurde ausgeführt, anhand welcher Netzelemente die Investitionswertbestimmung festgemacht wird. Auf diese wird die Kostenberechnung reduziert. Entsprechend sind sämtliche Kosten für die Erstellung und Inbetriebnahme des Anschlussnetzes auf diese Eingangsgrößen der Modellierung zu verdichten.

Vereinfacht lassen sich diese Netzkomponenten in Trassen, Kabel und Schnittstellen unterscheiden. Diese Positionen sollen im Weiteren mit der Spezifikation der Eingangsparameter bzgl. Konfektionierung und Preisen präzisiert werden.

5.2.1 Tiefbauparameter

Die Investitionspreise je Trassenmeter, die zur Bestimmung der Trasseninvestitionen notwendig sind, variieren mit der Verlegeart, der Breite und Tiefe der benötigten Gräben, der Oberfläche sowie der Bauweise. Die Standardverlegung erfolgt in der offenen Bauweise. Beim konventionellen Tiefbau werden durch Baggerarbeiten Gräben zur Verlegung der Kabel oder Leerrohrsysteme ausgehoben. Nachdem der Graben ausgehoben ist, wird das Leerrohrsystem oder das erdverlegbare Kabel im Graben verlegt sowie anschließend der Bereich wieder verfüllt. Im Anschluss werden das ursprüngliche Oberflächenniveau und die Oberflächen wiederhergestellt.

Für die Modellierung der Trassenkosten im Bottom-up-Modell ist lediglich der Investitionspreis je Meter nach Grabenkapazität (Anzahl verlegbarer Kabelzüge) als Input notwendig. Um diesen zu bestimmen, wurde in der Vergangenheit der flächendeckende Ausbau in traditioneller Tiefbauweise unterstellt und aus einer detaillierten Abfrage zu den aktuellen Kosten der einzelnen Tiefbaukomponenten abgeleitet. Diese Vorgehensweise soll auch weiterhin anwendbar sein.

5.2.1.1 Herleitung der Tiefbaukosten je Trassenmeter in traditioneller Bauweise

Grabungsarbeiten fallen sowohl bei der Erdkabelverlegung als auch bei der Röhrenkabelverlegung für die Herstellung von Gräben an. Darüber hinaus fallen sie bei der Herstellung von Gruben für die Installation von Kabelschächten und Muffen an. Sie werden an dieser Stelle stellvertretend für beide Verlegearten ausgeführt:

- Aufnehmen und Lagern/Entsorgen der vorhandenen Oberfläche, z. B. Asphalt, Verbundpflaster (Euro/m²)
- Ausheben des Kabelgrabens/Lagerung des Aushubs (Euro/m³)
- Einbringen eines Sandbettes (Euro/m³)
- Verfüllen und Verdichten des Grabens (Euro/m³)¹⁰²
- Wiederherstellen der Oberfläche (Euro/m²)

Aufgrund der Bedeutung, der mit den Oberflächenarbeiten verbunden Investitionen für die Tiefbauinvestitionen je Meter werden weitere Differenzierungen für diese Position vorgenommen. So hängen die Kosten der Oberflächenarbeiten von der Art der Oberflä-

¹⁰² Mit dem Verfüllen/Verdichten des Grabens ist das Einbringen eines Trassenwarnbandes verbunden.

che ab, die aufgebrochen, entsorgt und insbesondere wiederhergestellt werden muss. Für die in Tabelle 5-3 dargestellten Oberflächentypen werden Investitionspreise für die Aufnahme, Lagerung und Entsorgung sowie die Wiederherstellung gesondert erfragt, zusammen mit den zusätzlichen Breiten der Oberflächen, die über die Grabenbreite hinaus anzusetzen sind.

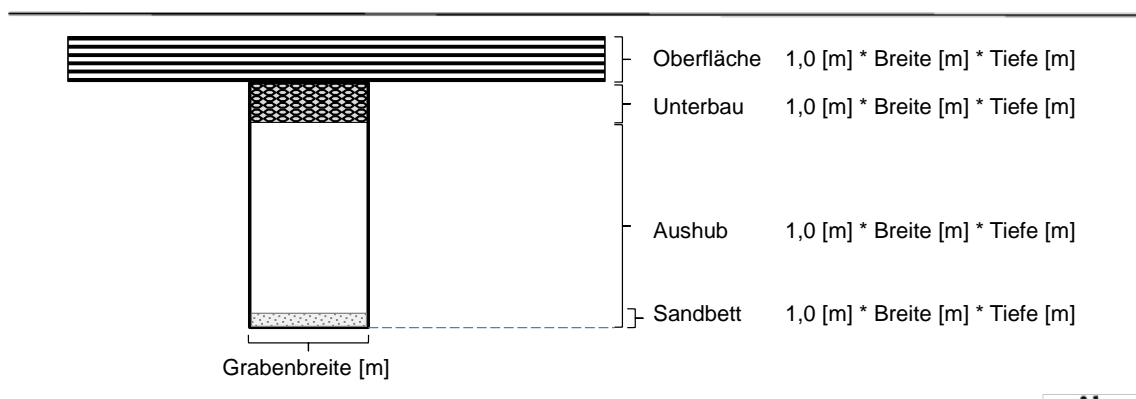
Tabelle 5-3: Oberflächenspezifische Maße und Investitionspreise

Oberflächentyp	Zusätzliche Breite über die Grabenbreite hinaus, Überhang in cm	Höhe der Oberfläche in cm	Höhe des Unterbaus in cm
Grünfläche			
Asphalt (Gehweg)			
Asphalt (Fahrbahn)			
Pflaster			
Platten			

Oberflächentyp	Investitionspreise	Investitionspreise
	Aufnahme, Lagerung und Entsorgung der Oberfläche je m ²	Wiederherstellung der Oberfläche je m ²
Grünfläche		
Asphalt (Gehweg)		
Asphalt (Fahrbahn)		
Pflaster		
Platten		
	Ausheben und Lagern je m ³	Verfüllen und Verdichten je m ³
Kabelgraben		

Die nachfolgende Abbildung verdeutlicht den Zusammenhang zwischen Graben- und Oberflächenmaßen, die bei der Modellierung zur Anwendung kommen. Die Grabenmaße umfassen die Gesamtheit inklusive der Oberfläche. Der eigentliche Kabelgraben wird in seiner Höhe berechnet, in dem ausgehend von der Grabengröße (Grabentyp) und der jeweiligen Oberflächenart die Höhe sowohl der Oberfläche selbst als auch ihres Unterbaus abgezogen wird. Das Sandbett reduziert den Umfang des zu verfüllenden Kabelgrabens.

Abbildung 5-2: Grabenmaße und oberflächenspezifische Maße – Illustration



Idealtypisch könnte zur Investitionsberechnung für jedes Straßensegment die individuell vorherrschende Oberflächenart als geographischer Layer erhoben und bereitgestellt werden. Dies erfordert jedoch eine entsprechende Granularität und Genauigkeit der GIS-Daten, die für die hier angestrebte Anwendung erforderlich ist. Wir erachten es als pragmatisch, wie in der Vergangenheit die Oberflächenanteile zu erfragen und als Gewichte bei der Tiefbaupreisermittlung zu verwenden, um daraus einen gewichteten Herstellungspreis je lfd. Meter zu errechnen.

Tabelle 5-4: Oberflächenanteile nach Verlegeart und Netzabschnitt [%]

	Netzsegment	Unbefestigt, Grünfläche	Asphalt Fahrbahn	Asphalt Gehweg	Plattenbelag	Pflasterbelag	Summe
Erdkabel	Verweigerkabel	%	%	%	%	%	100%
	Hauptkabel	%	%	%	%	%	100%
Röhrenkabel	Verweigerkabel	%	%	%	%	%	100%
	Hauptkabel	%	%	%	%	%	100%

Bei Aushubarbeiten beeinflusst die Bodenart die Preise der Tiefbauleistungen. Um diesen Aspekt zu berücksichtigen, wird im Modell, gemäß den Bodenklassen 1-7 der Allgemeinen Verdingungsordnung für Bauleistungen (nach DIN18300), zwischen insgesamt sieben Bodenklassen unterschieden. Dabei ist die Datenermittlung darauf ausgerichtet, absolute Preise für die Bodenklasse 3 zu bestimmen und die Anpassung an andere Bodenarten über einen Erschwernisfaktor vorzunehmen:

Tabelle 5-5: Boden-/ Felsklassen

Boden- / Felsklasse	Faktor	Anteil Bodenklasse in %
Klasse 1: Oberboden		
Klasse 2: Fließende Bodenarten		
Klasse 3: Leicht lösbare Bodenarten	1,0*	
Klasse 4: Mittelschwer lösbare Bodenarten		
Klasse 5: Schwer lösbare Bodenarten		
Klasse 6: Leicht lösbarer Fels und vergleichbare Bodenarten		
Klasse 7: Schwer lösbarer Fels		

*Normierungsfaktor

Letztlich wird ein gewichteter Preis angewendet, der sich aus den jeweiligen Erschwerungsfaktoren und Anteilen der Bodenklassen ergibt.

Diese Angaben werden mit den Maßen für die konfektionierten Gräben zusammengeführt, so dass eine Liste der Investitionspreise je Grabenmeter nach Kapazität des Grabens und nach Verlegeart entsteht. Entsprechend entstehen differenzierte Werte für Hauptkabel- und Verzweigerkabelbereich (in der nachfolgenden Tabelle ist die Ergebnisstruktur dargestellt). An dieser Stelle weisen wir nochmals darauf hin, dass die Grabenmaße grundsätzlich auch über Eingangsparameter gewählt werden können, dass hierbei aber die Restriktionen mit Blick auf die Zulässigkeit der hinterlegten Zugäquivalente eingehalten werden müssen, d. h. ein hinreichendes Grabenmaß gewährleistet ist. Siehe dazu nochmals die Tabelle 4-8.

Tabelle 5-6 Berechneter Tiefbaupreis je Trassenmeter

Kapazität in Kabel- bzw. Rohrzügen	Investitionspreis je Grabenmeter bei Erdverlegung	Investitionspreis je Grabenmeter bei Röhrenverlegung
1 Zug		
2 Züge		
4 Züge		
6 Züge		
12 Züge		
24 Züge		

5.2.1.2 Berücksichtigung alternativer Tiefbauweisen

Die Berücksichtigung alternativer Techniken im Tiefbau kann im Modell als prozentualer Abschlag auf die ermittelten traditionellen Tiefbaukosten je Meter erfolgen. Dazu ist ein entsprechender Eingabeparameter vorgehalten. Der Abschlag könnte als durchschnittlicher Wert für alle Trassen ausgestaltet sein oder an das Vorliegen bestimmter Indikatoren geknüpft werden. So kann bei Gräben mit niedrigem Kapazitätsbedarf¹⁰³ eine kostengünstige Frästechnik (Macro-Trenching) berücksichtigt werden. Derartige Informationen sind außerhalb des Modells bereitzustellen und bei der Festlegung des Eingangsparameters entsprechend zu erfassen.

Für die kostenmäßige Berücksichtigung alternativer Tiefbautechniken soll ein Abschlagsfaktor gegenüber der Standardbauweise berücksichtigt werden, um die Kostenvorteile bewerten zu können. Dabei muss für die Festlegung der Eingangsparameter eine Einschätzung gewonnen werden, in welchem Umfang die alternativen Tiefbauverfahren zur Anwendung kommen

5.2.1.3 Tiefbaukosten für Straßenquerungen bei einseitiger Straßenverlegung

Sofern aufgrund eines zu hohen durchschnittlichen Gebäudeabstands auf mindestens einer Straßenseite im Modell eine Verlegung der Trasse nur entlang einer Straßenseite geplant wird, muss für den Anschluss von EVz auf der anderen Straßenseite eine Straßenquerung erfolgen. Die Kosten der Straßenquerung werden unter Rückgriff auf die allgemeinen Tiefbauparameter und verwenden als zusätzlichen Eingangsparameter die durchschnittliche Straßenbreite.

5.2.1.4 Planung und Bauvorbereitung

Die Investitionskosten für Bauüberwachung, Planung der Anlagen, der Bauvorbereitung sowie für die durchzuführenden Genehmigungsverfahren werden im Modell durch einen längenabhängigen Parameter berücksichtigt. Das heißt, es kann im Modell der Wert eingestellt werden, der den durchschnittlichen Investitionskosten für die genannten Tätigkeiten umgerechnet auf einen Trassenmeter entspricht.

In der Praxis ist es zum Teil üblich, diese Positionen unter Rückgriff auf einen Zuschlagsfaktor in die Preisparameter von Netzelementen einzuspeisen. Bei der Festlegung der Eingangsparameter ist daher dafür Sorge zu tragen, dass die Kosten für Planung und Bauvorbereitung nur einmal in die Kostenberechnung einfließen. Für die Da-

¹⁰³ Auch ist denkbar, außerhalb von bebauten Gebieten, die Tiefbaukosten des Einpflügens zu unterstellen. Hierzu wäre der Indikator „Trasse außerhalb bebauter Gebiete“ in der Geo-Verarbeitung aufzubereiten und über die Inputdatei der Straßensegmente als Attribut abrufbar bereitzustellen. Ebenso könnten Indikatoren anschlussbereichsspezifisch ausgestaltet sein, beispielsweise die Trassen in spezifischen ASB betreffen, für die bestimmte Verfahren rechtlich zulässig sind, z. B. die mindertiefe Verlegung.

tenerhebung ist daher die Information erforderlich, ob ein derartiger Zuschlag in Preisparametern von Netzelementen enthalten sind.

5.2.2 Kabel

Eingangsparameter für Kabel sind zu differenzieren nach dem Medium (Kupfer/Glasfaser), der Kabelstärke (Faserzahl, CuDA-Anzahl) sowie der Verlegeart (Erd-/Röhrenverlegung/Mikrorohrverlegung). Die Kabelparameter finden für sämtliche Netzsegmente Anwendung, d. h. für das HK-, VzK- und Endkabelsegment.

5.2.2.1 Kupferkabel

Kupferkabel werden wie bisher getrennt für Erd- und Röhrenverlegung angegeben. Es wird ein Leiterdurchmesser von 0,5 mm unterstellt. Die in der nachfolgenden Tabelle dargestellten Kabeltypen sind daher für beide Verlegearten zu erheben. Bzgl. der erdverlegbaren Kupferkabel wird davon ausgegangen, dass diese längswasserdicht sind (A-02Y SF(L) 2Y).

Das bei der Verlegung von Kabeln zu berücksichtigende Trassenband kommt nur einmal pro Graben zur Anwendung und wird daher parametrisch bei den Trassenkosten pro m angesetzt. Der Verlegepreis ist für die Kabel kann im Modell für die verschiedenen Verlegearten differenziert werden.

Tabelle 5-7: Investitionsparameter für Kupferkabel

Kabelinvestitionen		
Kabeltyp Leiterpaare/ Kabel	Materialpreis pro Kabelmeter	Verlegepreis pro Kabelmeter
6 DA		
10 DA		
20 DA		
30 DA		
50 DA		
100 DA		
200 DA		
300 DA		
500 DA		
800 DA		
1000 DA		
1200 DA		
1500 DA		
2000 DA		

5.2.2.2 Glasfaserkabel

Investitionsparameter für Glasfaserkabel werden ebenfalls nach Verlegeart erhoben. Neben der Erd- und Röhrenverlegung umfasst dies auch die Verlegung in Mikrorohren. In der nachfolgenden Tabelle 5-8 sind für die vier Varianten der Kabelverlegung mit spezifischen Kabelpreisen für vorzugebende Faserzahlen zu spezifizieren. Die Preisangaben umfassen Material- und Verlegepreis.¹⁰⁴ Wir sehen für die Modellierung nur Singlemodefasern vor.¹⁰⁵

Tabelle 5-8: Preise für Glasfaserkabel und Verlegung

Anzahl Fasern	Erdkabel		Röhrenkabel		Kabel für Mikrorohr im Rohr		Kabel für erdverlegte Mikrorohrverbände	
	Kabel [€/m]	Verlegen [€/m]	Kabel [€/m]	Verlegen [€/m]	Kabel [€/m]	Verlegen [€/m]	Kabel [€/m]	Verlegen [€/m]
4 Fasern								
8 Fasern								
12 Fasern								
24 Fasern								
48 Fasern								
96 Fasern								
144 Fasern								
192 Fasern								
216 Fasern								
288 Fasern								
480 Fasern								
576 Fasern								
1156 Fasern								

5.2.3 Montagestellen

5.2.3.1 Kupfermuffen

Bestimmung der Abzweigmuffen

Abzweigmuffen dienen der Zusammenführung von Doppeladern zur Verbindung der im oder am Gebäude lokalisierten Endverzweiger mit dem im öffentlichen Grund verlaufenden Verzweigerkabel. Jede Muffe definiert demnach einen kleinräumigen Versorgungsbereich von einem oder mehreren Gebäuden mit entsprechenden Endverzweigern. Im Modell wird davon ausgegangen, dass eine Muffe mehrere EVz versorgen

¹⁰⁴ Bei Glasfaserkabeln, die in Rohren oder Mikrorohren verlegt werden, entsprechen die Verlegekosten den Einblaskosten.

¹⁰⁵ Generell ist zwischen Singlemodefasern und Multimodefasern zu unterscheiden. Letztere sind mit höheren Dämpfungen verbunden und kommen i. d. R. nur noch im Inhausbereich zum Einsatz. Singlemodefasern sind platzsparender und können zudem besser um Kurven geführt werden (geringerer Biegeradius). Sie gelten darüber hinaus als weniger stör anfällig. NÖ.GIG (2015): Glasfaser Handbuch, S. 33; siehe auch <https://www.cbo-it.de/de/wissen/123-was-ist-der-unterschied-zwischen-multimode-fasern-und-singlemode-fasern.html>

kann, wobei die maximale Anzahl von Endverzweigern je Abzweigmuffe durch den Benutzer vorgegeben wird. Damit errechnet sich die Anzahl der benötigten Abzweigmuffen auf einem Straßensegment wie folgt:

$$\# AM_{s_i} = \frac{\# EVZ_{s_i}}{MaxEVZ_je_AM}$$

s_i : Straßensegment i

AM: Abzweigmuffe

Für die spätere Investitionsrechnung ist es darüber hinaus erforderlich, die Größe der Abzweigmuffe zu ermitteln, da die Investitionswerte je Abzweigmuffe nach der Kabelpaarigkeit $j \in \{10, 20, 30, 50, 100, 200, 300, 500, 800, 1000, 1200, 1500, 2000\}$ differenziert werden.

Das Modell berücksichtigt Muffen für alle Trassenabschnitte, die letztlich der Führung von Verzweiger- oder Hauptkabeln dienen können.

Tabelle 5-9: Investitionen in Kabelmuffen (jeweils für Erd- und Kabelkanalverlegung)

Kabeltyp Leiterpaare/ Kabel	Investitionen in Kabelmuffen			
	Materialpreis für Doppeladerverbinder (DAV)	Arbeitslohn für die Installation von DAV, je DAV	Material- und Montagepreis je Schutzmuffe	Tiefbauarbeiten* je Schutzmuffe
6 DA				
10 DA				
20 DA				
30 DA				
50 DA				
100 DA				
200 DA				
300 DA				
500 DA				
800 DA				
1000 DA				
1200 DA				
1500 DA				
2000 DA				

*) Hier sind die Investitionen für den zusätzlichen Tiefbau zur Herstellung der Grube für die Muffeninstallation bei Erdkabelverlegung adressiert (im Fall von KKA kommen hier die Gruben für Schächte zum Ansatz). Die zusätzlichen Investitionen ergeben sich aus der Differenz von Graben- und Grubengröße.

Die Anzahl der bei der Investitionswertbestimmung zu berücksichtigenden Verbindungsmuffen wird über den Eingangsparameter „Durchschnittlicher Verbindungsmuffenabstand“ bestimmt. Dieser kann für Haupt- und Verzweigerkabelsegment differenziert eingestellt werden.

5.2.3.2 Glasfasermuffen

Für die Investitionsparameter sind auch für Glasfaserkabel **Verbindungsmuffen** in Abstimmung mit den Kategorien der Kabelgrößendefinitionen vorzuhalten. Die Equipmentpreise sind nach Kabeltypen (entsprechend den Verlegearten) unterschiedlich parametrisierbar und werden auch in entsprechender Weise von den Marktteilnehmern erfragt.

Für Glasfaserkabel ist ein Eingangsparameter definiert, über den die maximale Länge eines Glasfaserkabels (inkl. kaskadierten Einblasens) festgelegt werden kann (Parameter: Muffenabstand bei Glasfaserkabeln). Die Länge des Hauptkabels für die Glasfaseranbindung des Faserverzweigers an den ODF wird endogen vom Modell ermittelt.

Tabelle 5-10: Investitionsparameter für Muffen

Kabeltyp Faserzahl/ Kabel	Arbeitslohn für die Installation eines Spleißes (je EF)	Material- und Montagepreis je Schutzmuffe	Tiefbauarbeiten* je Schutzmuffe
4 Fasern			
8 Fasern			
12 Fasern			
24 Fasern			
48 Fasern			
96 Fasern			
144 Fasern			
192 Fasern			
216 Fasern			
288 Fasern			
480 Fasern			
576 Fasern			
1156 Fasern			

*) Hier sind die Investitionen für den zusätzlichen Tiefbau zur Herstellung der Grube für die Muffeninstallation bei Erdkabelverlegung adressiert (im Fall von KKA kommen hier die Gruben für Schächte zum Ansatz. Die zusätzlichen Investitionen ergeben sich aus der Differenz von Graben- und Grubengröße.

Bei erdverlegbaren Mikrorohrverbänden im Verzweigerbereich sind anstelle von Abzweigmuffen sog. Abzweige vorzuhalten. Für jeden Abzweig (EVz) sind daher Investiti-

onsparameter für Material und Montage vorgesehen. Diese Abzweige sind bei rein erdverlegten Glasfaserkabeln nicht erforderlich.¹⁰⁶

5.2.4 Schächte

In Kupfernetzen handelt es sich i. d. R. um Betonfertigschächte, die in ihrer Größe der Zuganzahl der Anlage angepasst sind. Weiterhin können verschiedene Ausführungen und Brückenklassen (nach Belastbarkeit) unterschieden werden. Im Modell für die kupferbasierte Anschlussleitung wurden bisher drei Typen von Kabelschächten berücksichtigt.

Für die Kostenmodellierung von glasfaserbasierten Anschlussnetzen wurde die Grabendimensionierung in Abhängigkeit der Zugzahl gegenüber dem bisherigen Modell um die KKA-Zugzahlen von einem und zwei Zügen erweitert. Für die Kostenmodellierung werden für jeden Grabentyp (definiert durch seine Zugzahl) entsprechende Schachttypen mit individuellen Preisparametern vorgehalten.

Bezüglich der für Kupfer- und Glasfaserkabel benötigten Größen von Schächten wurden folgende Überlegungen berücksichtigt: Einerseits nehmen Glasfaserkabel im Vergleich zu Kupferkabeln einen geringeren Raum ein, was zunächst für die Verwendung kleinerer Schächte spricht. Andererseits ist zu beachten, dass bei der Röhrenverlegung von Glasfaserkabeln in den Schächten, anders als bei den Kupferkabeln, Zugreserven (Glasfaserkabel-Überlängen) abgelegt werden, um bei zukünftigen Reparaturen mit einem Spleiß je Faser auskommen zu können. Dies erhöht den Raumbedarf für Glasfaserkabel ebenso wie die Unterbringung von Spleißboxen (Spleißladen), welche im Vergleich zu Kupfermuffen relevant größer sind. Diese gegenläufigen Einflussfaktoren abwägend, wurde eine einheitliche Verwendung der Schachttypen für Glasfaserkabel und Kupferkabel nach Maßgabe der Zugzahl implementiert.

Tabelle 5-11: Schachttypen für kupfer- und glasfaserbasierte Anschlussnetze

Kabelschachttyp (illustrativ)	Material- preis	Installations- preis	Anzahl Rohre DN110 ^{*)}	Verwendung in VzK	Verwendung in HK
70x80x60 [cm]			1	x	
140x80x105 [cm]			2	x	x
250x150x210 [cm]			4	x	x
390x150x210 [cm]			6	x	x
500x180x210 [cm]			12/24		x

^{*)} Die Anzahl Rohre ist in DN110 ausgedrückt. Auch hier gilt die Äquivalenzannahme zu 4x DN50.

¹⁰⁶ Die Preisparameter können für diese Verlegeart daher auf Null gesetzt werden.

Die mit den Kabelschächten in Zusammenhang stehenden Tiefbauarbeiten werden nach Maßgabe der erforderlichen Grubenmaße sowie den Tiefbaupreisen (differenziert nach Oberflächen- und Bodenbeschaffenheit) ermittelt.

Bzgl. der Grubengröße soll über Eingangsparameter festgelegt werden, um wie viele Meter die Grube größer als der Schacht sein muss.

Tabelle 5-12: Aufschläge auf Schachtgrößen für Grubenmaßbestimmung (illustrativ)

Kabelschachttyp [Länge x Breite x Tiefe]	Zusätzliche Tiefe ggü. Schachthöhe [cm]	Zusätzliche Länge ggü. Schachtlänge [cm]	Zusätzliche Breite ggü. Schachtbreite [cm]
70x80x60 [cm]	5	50	50
140x80x105 [cm]	10	100	100
250x150x210 [cm]	10	100	100
390x150x210 [cm]	10	100	100
500x180x210 [cm]	10	100	100

Als kostentreibende Faktoren werden somit die Schachtgröße – im Zusammenspiel mit der jeweils erforderlichen Grubengröße – sowie die Anzahl benötigter Schächte (modellendogen bestimmt) berücksichtigt.

5.2.5 Verrohrung

Kabelröhren werden im kupferbasierten Modell annahmegemäß nur bei der Verlegung von Röhrenkabel benötigt. Für diese Kabelröhren werden bei der Investitionswertbestimmung PVC-Rohre mit 100 mm Innendurchmesser berücksichtigt (DN110). Im Modell sind dafür bisher zwei Parameter enthalten, die den durchschnittlichen Materialpreis je Meter und den durchschnittlichen Installationspreis je Meter PVC-Rohr abbilden. Zusammen mit den auf Röhrenkabelverlegung bezogenen Längenangaben aus der Netzdimensionierung lassen sich die Investitionen in Rohre berechnen.

Tabelle 5-13: Investitionsparameter PVC Röhren (für DN110)

	Wert
PVC-Kabelkanalröhren	
Materialpreis, in Euro je Meter	
Installationspreis, in Euro je Meter	
Investition für Rohrteiler, in Euro je Meter	

Für die Glasfasernetze ist neben der reinen Erdverlegung von Kabeln eine Anbindung aller Gebäude mittels Mikrorohrverbänden vorgesehen. Ebenso ist eine Rohr-in-Rohr- oder Röhrenverlegung vorgesehen. In Abweichung zu den Kupfernetzen soll im NGA keine generelle Festlegung auf DN110 oder DN50 erfolgen. Wie in Abschnitt 4.7.1 ausgeführt, wird zu Dimensionierungszwecken eine Äquivalenz von 4x DN50 zu 1x DN110 unterstellt. Eine Auswahl der Preisparameter (für DN50 oder DN110) soll dabei in Abhängigkeit der gewählten NGA-Technologie erfolgen: Bei FTTC findet DN110 Anwendung, um den Kupfererfordernissen von gemeinsamer HK- und VzK-Verlegung Rechnung zu tragen.

Das Mengengerüst für die Mikrorohre leitet sich aus den Kabelmetern, die dieser Verlegeart zugeordnet sind, ab. Eine Größendifferenzierung wird zur Bewertung der Mikrorohre nicht vollzogen. Es werden lediglich erdverlegte und röhrenverlegte Mikrorohre unterschieden.

5.2.6 Hauszuführung

Die Investitionsparameter für die Hauszuführung umfassen Tiefbau, Kabel sowie Längenangaben. Letztere werden explizit aus den Geodaten abgeleitet, wobei für Straßen- und Gehwegbreite Durchschnittswerte zu unterstellen sind.

Für die Kabelpreise wird auf die Eingangsparameter Kabel zurückgegriffen. Für die Glasfasernetze sehen wir einen Durchschnittswert für das rein erdverlegte und das erdverlegte Mikrorohrverband-verlegte Kabel vor, wobei eine Gewichtung nach Maßgabe der Verlegeartanteile zur Anwendung kommt.

Für den Tiefbauansatz wird ebenfalls auf die bestehenden Eingangsparameter zurückgegriffen, wobei eine Kostenteilung mit anderen Netzen zur Anwendung kommen kann (externer Beilauf Hauszuführung).

Weitere Inputparameter sind

- zu welchem Anteil der Hauszuführungen die Tiefbauinvestitionen auf privatem Grund vom Gebäudeeigentümer getragen werden sowie
- die maximale Länge der Hauszuführung auf privatem Grund, die vom Netzbetreiber getragen wird.

5.2.7 Knotenequipment

An den Netzknoten Verteiler, Verzweigerknoten und EVz werden die Anschlussleitungen abgeschlossen bzw. verschaltet. Für diese Einrichtungen existieren verschiedenen konfektionierte Typen, die jeweils eine maximale Anzahl an Anschlussleitungen versor-

gen können. Neben der technischen Einrichtung selbst sind i.d.R. Gehäuse oder Gestelle inkl. deren Installation preislich mit zu veranschlagen (z. B. Sockel für einen KVz oder Multifunktionsgehäuse).

Neben diesen Materialpreisen fallen für jede individuelle CuDA oder Glasfaser Installationskosten an. Insofern sind sowohl fixe als auch variable Kosten zu berücksichtigen.

Diese Struktur der Eingangsparameter ist sowohl für Kupfer- als auch Glasfaseranschlussnetze anwendbar. Dabei ist zu beachten, dass bei der Ableitung der mengenabhängigen Preisparameter keine durchschnittlichen Fixkosten einfließen. Diese bergen die Gefahr, dass bestehende Überkapazitäten bereits in variable Kosten umgerechnet werden. – Diese Kosten infolge von Unteilbarkeiten sollen jedoch auch gerade das Ergebnis einer generischen Bottom-up-Modellierung sein und nicht (unmerklich) über Preisparameter erzeugt werden.

5.2.7.1 Verteiler: HVt und ODF

Zur Ermittlung der Investitionen in den Verteiler (HVt bzw. ODF) werden fixe Investitionen pro Standort und eine Investitionskomponente pro beschalteter Faser berücksichtigt. Zusätzlich wird ein Kabelschacht inklusive Muffen zur Kabelaufteilung am Verteiler-Standort berücksichtigt.

Die Investitionen in den ODF setzen sich zusammen aus dem durchschnittlichen Materialpreis (Schrank, Gestell für das CuDA- bzw. Fasermanagement und die Endverschlussleisten bzw. Steckerleisten) und dem durchschnittlichen Installationspreis je Verteiler für eine gegebene Kapazität sowie dem durchschnittlichen Investitionspreis je aktiver CuDA bzw. Glasfaser für die Installation. Letzteres betrifft den Aufwand für das Auflegen und Spleißen der Fasern (inklusive Pigtails).

Nachfolgende Tabellen zeigen die bestehende Datenabfrage für das kupferbasierte Anschlussnetz sowie dessen Übertragung auf den optischen Verteiler (ODF). Die Gesamtkosten werden über eine fixe Kostenkomponente, welche nach der Größe des Verteilerknotens differenziert erhoben wird, sowie variablen Kosten je aufzulegender CuDA bzw. Glasfaser (über Stecker zu installieren)¹⁰⁷ bestimmt.

Für den optischen Verteiler wurden dabei kleinere Intervalle für die fixen Kostenkomponenten (hier ausgedrückt durch die HVt- bzw. ODF-Größen) festgelegt, um für Architekturen mit einer geringen Faserzahl im HK-Segment adäquat die Größenvorteile (-nachteile) abbilden zu können.¹⁰⁸ Sofern es sich um Standorte mit einer CuDA- bzw.

107 Alternativ zum Spleißen könnten auch Stecker Anwendung finden. Für die Kostenmodellierung soll keine weitergehende Differenzierung von Komponenten erfolgen. Vielmehr soll die kostengünstigste Variante zur effizienten Leistungserbringung Berücksichtigung finden.

108 Aufgrund der relevanten Größenunterschiede erachten wir diese Differenzierung als notwendig, da die sich zum einen aus den Größenunterschieden der Anschlussbereich und zum anderen aus den

Fasernachfrage von >2000 handelt, wird ein entsprechendes Vielfaches der hier beschriebenen Komponenten zum Ansatz gebracht.

Tabelle 5-14: Investitionsparameter für HVt

Invest-Position	HVt mit <300 DA	HVt mit <500 DA	HVt mit <1000 DA	HVt mit <2000 DA
Tatsächliche maximal beschaltbare Leitungen, die Ihren Angaben zu Grunde liegen				
Fixe Investitionen je Hauptverteiler, in Euro				
Investitionen je Doppelader, in Euro				
Totale Investitionen pro Doppelader, in Euro (Gesamt-Invest (Summe aus fixen Investitionen und gesamten Inv. Je DA) / Anzahl max. beschaltbarer Leitungen)				

Tabelle 5-15: Investitionsparameter für ODF

Invest-Position	ODF mit <50 Fasern	ODF mit <200 Fasern	ODF mit <500 Fasern	ODF mit <2000 Fasern
Tatsächliche maximal beschaltbare Fasern, die Ihren Angaben zu Grunde liegen				
Fixe Investitionen je Glasfaserhauptverteiler, in Euro				
Investitionen je Faser, in Euro				
Totale Investitionen pro Faser, in Euro (Gesamt-Invest / Anzahl max. beschaltbarer Leitungen)				

5.2.7.2 KVz/Faserverzweiger (Verteilerkasten, Handschacht)

Die Investitionen in Kabelverzweiger setzen sich zusammen aus dem (durchschnittlichen) Materialpreis je Kabelverzweiger, seinem (durchschnittlichen) Installationspreis sowie dem durchschnittlichen Investitionspreis je beschalteter Kupferdoppelader.

Im Glasfasernetz treten an die Stelle der Kupferkabelverzweiger die **Glasfaserkabelverzweiger** (auch bezeichnet als Schalt- oder Faserverzweiger). Die Modellierung unterscheidet sich hier lediglich in den Investitionspreisen für das Equipment und in der Anzahl anzusetzender Einheiten und den Maximalgrößen des Equipments. Die Unter-

Eigenschaften der NGA-Technologien ergeben, zu stark differierenden Nachfragen am Verteiler und damit Kosten führen können (z.B. FTTH P2P im Vergleich zu FTTC).

teilung in fixe und nach Faserzahl anzusetzenden Investitionskomponenten kommt weiterhin zur Anwendung. In Analogie zum Kupfer-Verteiler ist vorgesehen, bei der Erhebung der Inputparameter kleinteilige Komponenten wie Stecker oder Patchkabel nicht explizit zu berücksichtigen.

Im Rahmen von P2MP-PON-Netzen werden **Splitter** verwendet, die das optische Signal auf mehrere Endkundenfasern aufteilen bzw. in der anderen Übertragungsrichtung aggregieren. Diese Splitter werden typischerweise in den kundennahen optischen Faserverzweigern untergebracht. Das für die Auslegung des Netzes relevante Splittingverhältnis ist als Eingabeparameter vorzugeben, siehe auch Tabelle 5-18. Bei der Wahl der Eingangsparameter ist zu berücksichtigen, ob und in welchem Umfang sich die Kapazität der Faserverzweiger beim Verbauen von Splitttern reduziert.

Im Modell ist die Kapazität des Faserzweigers durch die maximale Anzahl Fasern bestimmt wird.

Bei aktiven NGA-Architekturen, die den Einsatz von DSLAM bedingen, sind Konzentrationsverhältnisse vorzugeben bzw. in Abhängigkeit der Kapazitäten der Komponenten als Eingangsparameter festzulegen. Technologiebedingt ist bei der Modellierung von FTTC-Vectoring zu beachten, dass jeder Kabelverzweiger die Kunden über einen eigenen Kabelbaum versorgt, weil die vectoringfähigen Outdoor-MSAN, die an den Kabelverzweigern untergebracht sind, eine Beschränkung hinsichtlich der Anzahl Teilnehmer je Kabel aufweisen, deren Übersprechen der Prozessor herausrechnen kann. Es handelt sich um ein Konzentrationsverhältnis, vergleichbar zu dem Splitting-Faktor bei PON. Vergleichbares gilt für G.fast.

Tabelle 5-16: Investitionsparameter für Kabelverzweiger (Kupfer)

Kabelverzweiger	
Materialpreis für einen Kabelverzweiger, in Euro je Kabelverzweiger	
Montagepreis für einen Kabelverzweiger, in Euro je Kabelverzweiger	
Materialpreis für Endverschlussleisten (vorkonfektioniert bitte geben Sie ebenfalls die Kapazität der Leisten an) einschließlich Einbau in KVz	
Montagepreis für eine CuDA, Abschluss auf Anschlussleisten am Endverschluss (nicht vorkonfektioniert)	

Tabelle 5-17: Investitionsparameter für Faserverzweiger

Glasfaser Kabelverzweiger	
Maximale Ausbaugröße des Faserverzweigers (Anzahl Fasern HK/ VzK)	
Materialpreis für einen Faserverzweiger, in Euro je Faserverzweiger	
Montagepreis für einen Faserverzweiger, in Euro je Faserverzweiger	
Materialpreis für Glasfaserendverschluss (bitte geben Sie ebenfalls die Kapazität der Leisten an)	
Montagepreis für eine Faseranbindung an den Glasfaserendverschluss (inkl. Spleiß, Kassette und Kupplung) je Endverschluss	

Tabelle 5-18: Investitionsparameter für Splitter PON

Glasfaser Splitter PON Splittingverhältnis	Materialpreis für Splitter	Installationspreis für Splitter
1:2		
...		
1:32		

5.2.7.3 Endverzweiger

Für die Modellierung der Netzabschlusseinrichtungen beim Endkunden sind sowohl das technologieabhängige Equipment als auch die Installationskosten zu berücksichtigen. Methodisch erfolgt die gleiche Vorgehensweise für Kupferadern und Glasfasern.

5.2.7.3.1 Kupfer (Endverzweiger)

Der Endverzweiger wird im oder am Gebäude des Endkunden installiert wird: Hierbei werden mehrere Typen von Endverzweigern danach differenziert, wie viele Kupferdoppeladern am Endverzweiger beschaltet werden. In Abhängigkeit von den anliegenden Kupferdoppeladern wird ein durchschnittlicher Investitionswert je Endverzweiger für bis zu 10, 20, 30, 50 oder 100 Kupferdoppeladern herangezogen.

Tabelle 5-19: Investitionsparameter für Endverzweiger

Kupfer Endverzweiger	
Durchschnittlicher Montagepreis am Endverzweiger, in Euro je installierter CuDA	
Materialpreis für einen Kupfer Endverzweiger, in Euro je Endverzweiger nach Anzahl Doppeldadern	
4 DA	
6 DA	
8 DA	
10 DA	
20 DA	
30 DA	
50 DA	
100 DA	

5.2.7.3.2 Glasfaserendverzweiger

Die **Glasfaserendverzweiger**, auch Gf-APL/Gf-EVz genannt, werden in einer vorzuziehenden Konfektionierung berücksichtigt. Dabei wird abhängig von der Anzahl Glasfaseranschlüsse je Gebäude der kleinste Endverzweiger angesetzt, der ausreicht, um die Anschlussnachfrage am Gebäude zu bedienen. Das Modell kann mehr als 10 verschiedene EVz-Größen berücksichtigen. Sollte die Nachfrage den größten EVz übersteigen, so werden Vielfache des größten Faser-Endverzweigers und der kleinste Endverzweiger verbaut, der gerade ausreicht um den Rest der Nachfrage zu bedienen. Sofern hinreichend valide Daten zur Verfügung stehen, kann auch eine Anpassung der Kategorien auf Endverzweiger höherer Faserzahl bei Bedarf implementiert werden.

Tabelle 5-20: Investitionsparameter für Glasfaserendverzweiger

Glasfaser Endverzweiger	Durchschnittlicher Montagepreis, in Euro je installierter Glasfaser am Endverzweiger	Materialpreis für einen Glasfaser Endverzweiger, in Euro je Endverzweiger nach Anzahl Fasern
Anzahl Fasern		
4 Fasern		
8 Fasern		
12 Fasern		
24 Fasern		
48 Fasern		
96 Fasern		
144 Fasern		
288 Fasern		

5.3 Strukturparameter

Mit der Darstellung des Modellierungsansatzes wurden auch an den jeweils relevanten Stellen die für die Kostenmodellierung relevanten Strukturparameter konkretisiert. In diesem Abschnitt erfolgt daher lediglich eine vorwiegend tabellarische Zusammenstellung dieser Eingangsparameter. Zur inhaltlichen Erläuterung wird auf die jeweiligen Abschnitte des Modellierungsansatzes verwiesen.

Tabelle 5-21: Strukturparameter Hauptkabelsegment

Strukturparameter Hauptkabelsegment		Kupfer	Glasfaser
Beilauf			
externer Beilauf Erdverlegung	%		
interner Beilauf Erdverlegung (Verbindungsnetz/Breitbandnetz)	%		
interner Beilauf Erdverlegung (andere Anschlussnetze)	%		
externer Beilauf Röhrenkabelverlegung	%		
interner Beilauf Röhrenkabelverlegung (Verbindungsnetz/Breitbandnetz)	%		
interner Beilauf Röhrenkabelverlegung (andere Anschlussnetze)	%		
externer Beilauf Rohr-in-Rohr-Verlegung	%		
interner Beilauf Rohr-in-Rohr-Verlegung (Verbindungsnetz/Breitbandnetz)	%		
interner Beilauf Rohr-in-Rohr-Verlegung (andere Anschlussnetze)	%		
Verlegeartanteile			
Verlegeartanteil Erdverlegung	%		
Verlegeartanteil Röhrenkabelverlegung	%		
Verlegeartanteil Rohr-in-Rohr-Verlegung	%		
Nachfragereserve			
Zuschlagsatz für nachfragebedingte Reservekapazitäten	%		
Zuschlagsatz für technische Reservekapazitäten	%		
Abstandsparameter			
Abstand zwischen Verbindungsmuffen Erdverlegung	m		
Abstand zwischen Verbindungsmuffen Röhrenkabelverlegung	m		
Abstand zwischen Verbindungsmuffen Rohr-in-Rohr-Verlegung	m		
☉ Schachtabstand	m		

Tabelle 5-22: Strukturparameter Verzweigerkabelsegment

Strukturparameter Verzweigerkabelsegment		Kupfer	Glasfaser
Beilauf			
externer Beilauf Erdverlegung	%		
interner Beilauf Erdverlegung (Verbindungsnetz/Breitbandnetz)	%		
interner Beilauf Erdverlegung (andere Anschlussnetze)	%		
externer Beilauf Röhrenkabelverlegung	%		
interner Beilauf Röhrenkabelverlegung (Verbindungsnetz/Breitbandnetz)	%		
interner Beilauf Röhrenkabelverlegung (andere Anschlussnetze)	%		
externer Beilauf erdverlegte Mikrorohrverbände	%		
interner Beilauf erdverlegte Mikrorohrverbände (Verbindungsnetz/Breitbandnetz)	%		
interner Beilauf erdverlegte Mikrorohrverbände (andere Anschlussnetze)	%		
externer Beilauf Hauszuführung	%		
Anteil des Netzbetreibers an der Kostenträgerschaft			
Verlegeartanteile			
Verlegeartanteil Erdverlegung	%		
Verlegeartanteil Röhrenkabelverlegung	%		
Verlegeartanteil erdverlegte Mikrorohrverbände	%		
Nachfragereserve			
Zuschlagsatz für nachfragebedingte Reservekapazitäten	%		
Zuschlagsatz für technische Reservekapazitäten	%		
Abstands-/Kapazitätsparameter			
∅ Schachtabstand	m		
max Anzahl EVz pro Abzweigmuffe im starren Netz	Anzahl		
max Anzahl EVz pro Abzweigmuffe im Schaltnetz	Anzahl		
Cluster-und Straßenparameter			
Max. Anzahl CuDA pro KVz			
Max. Anschlüsse pro Verzweigerbereich			
Max. CuDA pro Verzweigerbereich FTTC			
Max. Fasern pro Verzweigerbereich FTTH PtMP (PON)			
Max. Fasern pro Verzweigerbereich FTTH PtP			
Max. Fasern pro Verzweigerbereich FTTB (G.fast)			
Radius im starren Netz			
Referenzradius			
Durchschnittliche Gehwegbreite			
Durchschnittliche Straßenbreite			
Länge des Standardausbaus auf Privatgrund laut AGB			
Abstand zwischen Straße oder Gehweg und Gebäudefront			
Schwelle mittlerer Abstand zwischen Gebäuden			

Tabelle 5-23: Strukturparameter Zugäquivalente Glasfaserkabel

Zugäquivalente Glasfaser Verlegeart	Typ Glasfaserkabel (nach Maßgabe definierter Glasfaserkabel)	Anzahl Kabel pro Zug (DN110) (Beispielwerte)
Erdverlegung	4 Fasern	72
Erdverlegung	8 Fasern	72
Erdverlegung	12 Fasern	72
Erdverlegung	24 Fasern	72
Erdverlegung	48 Fasern	40
Erdverlegung	96 Fasern	40
Erdverlegung	144 Fasern	20
Erdverlegung	192 Fasern	16
Erdverlegung	216 Fasern	16
Erdverlegung	288 Fasern	16
Erdverlegung	480 Fasern	4
Erdverlegung	576 Fasern	4
Erdverlegung	1156 Fasern	4
Erdverlegung Mikrorohr	4 Fasern	72
Erdverlegung Mikrorohr	8 Fasern	72
Erdverlegung Mikrorohr	12 Fasern	72
Erdverlegung Mikrorohr	24 Fasern	72
Erdverlegung Mikrorohr	48 Fasern	40
Erdverlegung Mikrorohr	96 Fasern	40
Erdverlegung Mikrorohr	144 Fasern	20
Erdverlegung Mikrorohr	192 Fasern	16
Erdverlegung Mikrorohr	216 Fasern	16
Erdverlegung Mikrorohr	288 Fasern	16
Erdverlegung Mikrorohr	480 Fasern	4
Erdverlegung Mikrorohr	576 Fasern	4
Erdverlegung Mikrorohr	1156 Fasern	4
Röhrenverlegung Mikrorohr	4 Fasern	72
Röhrenverlegung Mikrorohr	8 Fasern	72
Röhrenverlegung Mikrorohr	12 Fasern	72
Röhrenverlegung Mikrorohr	24 Fasern	72
Röhrenverlegung Mikrorohr	48 Fasern	40
Röhrenverlegung Mikrorohr	96 Fasern	40
Röhrenverlegung Mikrorohr	144 Fasern	20
Röhrenverlegung Mikrorohr	192 Fasern	16
Röhrenverlegung Mikrorohr	216 Fasern	16
Röhrenverlegung Mikrorohr	288 Fasern	16
Röhrenverlegung Mikrorohr	480 Fasern	4

Zugäquivalente Glasfaser Verlegeart	Typ Glasfaserkabel (nach Maßgabe definierter Glasfaserkabel)	Anzahl Kabel pro Zug (DN110) (Beispielwerte)
Röhrenverlegung Mikrorohr	576 Fasern	4
Röhrenverlegung Mikrorohr	1156 Fasern	4
Röhrenverlegung	4 Fasern	72
Röhrenverlegung	8 Fasern	72
Röhrenverlegung	12 Fasern	72
Röhrenverlegung	24 Fasern	72
Röhrenverlegung	48 Fasern	40
Röhrenverlegung	96 Fasern	40
Röhrenverlegung	144 Fasern	20
Röhrenverlegung	192 Fasern	16
Röhrenverlegung	216 Fasern	16
Röhrenverlegung	288 Fasern	16
Röhrenverlegung	480 Fasern	4
Röhrenverlegung	576 Fasern	4
Röhrenverlegung	1156 Fasern	4

6 Modelloutput

6.1 Anforderungen der Kostenrechnung

Die mit dem Modellierungsansatz generierten Mengengrößen müssen einer nachträglichen, technologiebezogenen Bewertung zugänglich sein. Die Ausgabe dieser Mengen soll differenziert nach Netzelementen bzw. segmentbezogenen Trassen erfolgen (Hauszuführung, Verzweigerbereichs- bzw. Hauptkabelsegment). Die Differenzierung von HK- und VzK-Segment ist dabei insbesondere für die Kostenberechnung der verschiedenen entgeltregulierten, kupferbasierten Vorleistungen von Bedeutung (KVz-TAL, unbeschaltete Glasfaser im HK-Segment, MFG-HVt-Relation für Bitstromzugang).

Für die Bestimmung der Kosten des Leerrohrzugangs sind Trassenmeter nach Zugzahlen und Belegungen im Mengengerüst zu differenzieren.

Die bewerteten Anlagen (Investitionswerte) bilden die Grundlage für

- die Transformation in Kapitalkosten sowie
- eine Anwendung von Miet- und Betriebskostenfaktoren.

Sofern die mit der Realisierung alternativer Anschlusstypen verbundenen Kosten bottom-up berechnet werden, sind diese ebenfalls mit ihrem Mengengerüst und netzelementbezogenen Investitionen separat ausgewiesen.

6.2 Mengengerüst

Das Mengengerüst stellt eine Aufbereitung der modellierten Mengen des netztechnischen Equipments dar, das sich aus den Netzberechnungen ableitet. Je Technologie erfolgt eine Aufbereitung der für die Befriedigung der Nachfrage notwendigen Netzelemente. Konkret betrifft dies die trassenbezogenen Ausrüstungsgegenstände sowie das Schnittstellenequipment an den Netzknoten.

Dabei ist zu beachten, dass das trassenbezogene Equipment für den Hauptkabel- und den Verzweigerkabelbereich getrennt berechnet und ausgewiesen werden soll, um eine Aufbereitung nach Vorleistungsprodukten zu ermöglichen. Das Schnittstellenequipment kann zumeist direkt dem Hauptkabel- oder dem Verzweigerkabelbereich zugeordnet werden. Folgende Mengen werden vom Modell berechnet, wobei für jedes einzeln für die Modellierung vorgehaltene Netzelement die Häufigkeit der Verwendung angegeben ist:

1. Gräbenlängen nach Zugzahl differenziert
 - a. Trassenlänge reines HK-Segment
 - b. Trassenlänge reines VZK-Segment
 - c. Trassenlänge gemeinsame HK/VZK-Verlegung
2. Kabelkanalanlagen
 - a. Anzahl Schächte
 - b. Rohrlängen
 - c. Längen von Mikrorohren
3. Montagestellen (Kupfer/Glas)
 - a. Anzahl Abzweigmuffen
 - b. Anzahl Verbindungsmuffen
4. Kabel (Kupfer/Glas)
 - a. Erdverlegbare Kabel
 - i. Länge der Kupferkabel
 - ii. Länge der Glasfaserkabel
 - b. Röhrenverlegbare Kabel
 - i. Länge der Kupferkabel
 - ii. Länge Glasfaserkabel
 - c. Kabel für Mikrorohre
 - i. Länge der Glasfaserkabel
5. Anzahl Endverzweiger (Kupfer-APL)/Hausübergabeverteiler (Glasfaser-APL)
6. Anzahl der Kabelverzweiger / Faserverzweiger
7. Anzahl der Splitter
8. Anzahl/Größe HVt/ODF¹⁰⁹
9. Anzahl MPoP
10. Anzahl Nachfrage/Anschlüsse

Schwierigkeiten der Abgrenzung zwischen Hauptkabel- oder Verzweigerkabelsegment ergeben sich aufgrund der gemeinsamen Verlegung von Haupt- und Verzweigerkabel, welche aus Gründen der Kosteneffizienz berücksichtigt wird. Für Gräben erfolgt ein separater Output der gemeinsam verlegten Trassen. Eine Abgrenzung wird hingegen für die Mengen von KKA und Schächten anhand der dimensionierungsrelevanten Zug-

¹⁰⁹ Es werden die Einrichtungen, differenziert nach Größe ausgewiesen.

äquivalente vollzogen, nicht jedoch für Mikrorohre, da diese einen direkten Bezug zu den dimensionierten Kabeln aufweisen und sich somit eindeutig Haupt- oder Verzweigerkabeln zuordnen lassen.

Nach der Berechnung eines Anschlussnetzes liegt für jedes Straßensegment eines Anschlussbereichs eine Reihe von Informationen vor, die es erlaubt, die Dimensionierung des netztechnischen Equipments abzuleiten. Für jedes Straßensegment wird hinterlegt, welchem Verzweigerbereich es zugeordnet ist. Vermerkt wird ebenso, ob das Straßensegment Teil des optimalen Pfades des Verzweigerbereichs ist und ob die Straße einseitig oder beidseitig Kabel führt und welche Kabel geführt werden. Ebenso ist vermerkt, ob das Straßensegment Teil des optimalen Pfades des Hauptkabelbereichs ist und welche Kabel des Hauptkabels darüber auf welcher Straßenseite geführt werden.

Je Straßensegment ist die Anzahl der Kabel bekannt, die je Kabeltyp und Kabelstärke auf dem Segment verlaufen. Diese Informationen werden für jede der zu modellierenden Technologien des NGA je Straßensegment vorgehalten. Für das reine Kupfernetz ist es ausreichend, die Anzahl der Kupferdoppeladern je Straßensegment und Netzbereich (HK, VzK) mitzuführen. Für die Glasfaserverlegung bedarf es darüber hinaus der Referenzierung auf die zugehörigen Kabelgrößen. Segmente, die nicht Teil eines optimalen Pfades sind, weisen keine Kabelführungen auf.

Die Ausgabe in das Mengengerüst erfolgt sowohl für Kupfer- als auch Glasfaseranschlussnetze jedoch ausschließlich in aggregierter Form für jeden einzelnen Anschlussbereich.

6.2.1 Leiterbedarf je Gebäude im Verzweigerkabelsegment

Die verschiedenen Technologien unterscheiden sich in der Anzahl der je Hausanschluss zu berücksichtigenden Fasern beziehungsweise Kupferdoppeladern. Diese Information leitet sich aus den geographisch verorteten Nachfragedaten ab. Die Zusammenhänge zwischen Anschlussnachfrage und NGA-Technologie wurden in Abschnitt 4.5 dargelegt.

Für P2P-Techniken (reines Kupferkabel, P2P-FTTH) werden als Anschlüsse die aktiven Kunden je Hausanschluss berücksichtigt. Bei P2MP-Techniken leitet sich die Leiterzahl aus der um ein Vervielfältigungsverhältnis (Splittingfaktor) korrigierten Nachfrage ab, wobei hier entscheidend ist, an welcher Stelle die Signalaufteilung erfolgt. Sind die Splitter im Faserverzweiger verbaut, dann reduziert sich die Fasernachfrage erst hinter dem Faserverzweiger in Richtung Kernnetz. Sind die Splitter im Gebäude verbaut, dann ist die Fasernachfrage bereits im Gebäude gemäß dem Splittingverhältnis reduziert. Der für die Modellierung vorgesehene Ansatz sieht die Splitter-Lokation im Faserverzweiger vor (siehe die Ausführungen in Abschnitt 3.2.3).

Bei FTTB wird eine Faser je aktiver Abschlusseinrichtung im Gebäude benötigt. Bei FTTC ergibt sich die Kupfernachfrage, wie beim reinen Kupfernetz, aus den beschalteten Adern je Gebäude, lediglich im Hauptkabelbereich erfolgt eine Konzentration auf eine Doppelfaser je Uplink-Port am aktiven Equipment (MSAN). Nach Maßgabe der MSAN-Kapazitäten wird die Vielzahl von kupferbasierten Anschlussleitungen auf eine Glasfaser (Doppelfaser) im Hauptkabelsegment reduziert.

6.2.2 Leiterbedarf des Hauptkabels

Die vorzuhaltenden Leiterreserven in den Kabeln des Hauptkabels unterscheiden sich von denen des Verzweigerkabelbereichs. Der Bedarf an technischen und ökonomischen Beschaltungsreserven ist im Vergleich zum Verzweigerkabel geringer. Dies erklärt sich aufgrund der Rangierfunktion des Verzweigerknotens, die die Hauptkabelkapazitäten flexibel verschiedenen Anschlusslinien im Verzweigerkabelsegment zur Verfügung stellen können.

$$D_{KVZ\ j}^{HK} = \frac{1}{TF} \sum_i^n d_i * (1 + tr^{HK} + er^{HK})$$

$D_{KVZ\ j}^{HK}$ = Anzahl Leiter, die im Verzweigerbereich j im Hauptkabel bereitgestellt werden müssen

i = Hausanschluss des Verzweigerbereichs j , n = Anzahl Gebäude des VzB

d_i = Anzahl nachgefragte Fasern bzw. CuDA je Gebäude des Verzweigerbereichs

tr^{HK} = prozentualer Aufschlag auf die Nachfrage aufgrund technischer Notwendigkeiten

er^{HK} = prozentualer Aufschlag auf die Nachfrage aufgrund von Nachfrageverschiebungen

$\frac{1}{TF}$ = Technologieabhängiges Transformationsverhältnis von Eingangs zu Ausgangsbeschaltung

Für die Technologien, die einen Splitter am Glasfaserverzweiger vorsehen, entspricht $1/TF$ dem Splittingfaktor. Bei FTTC entspricht $1/TF$ dem Verhältnis beschalteter kundenseitiger Ports zu den Uplink-Ports an den Outdoor-MSAN. Dabei ist zu beachten, dass die Uplink-Ports im Modell mit einer Doppelfaser angebunden werden sollen. Für die anderen Technologien gilt $1/TF=1$.

6.2.3 Kabellängen

Die Kabelverlegung unterscheidet sich für die kupferbasierten Techniken von den glasfaserbasierten Netzvarianten. Die Dimensionierung der Kupferkabel erfolgt pro Straßensegment unter vollständiger Aggregation der CuDA-Nachfrage auf ein gemeinsames Kabel. Gewährleistet wird dies durch die Berücksichtigung von Muffen, die eine stetige Verjüngung des Kupferkabels vom MPoP in Richtung Verzweigerknoten bzw. Verzweigerknoten in Richtung EVz ermöglichen. Demgegenüber soll die Modellierung der Glasfaseranschlusskosten darauf basieren, dass ausgehend vom Faserverzweiger

individuelle Kabel zu den Gebäuden gelegt werden, die dann im Verzweigerkabelsegment nebeneinander im Graben (und ggf. Mikrorohrverbänden) liegen. Das Mengengerüst für das kupferbasierte Anschlussnetz (FTTC mit Kupfer im Verzweigerkabel) wird daher deutlich geringere Kabellängen aufweisen als dies für die Glasfaserkabel der Fall sein wird.

Für die Kabelführung unterscheiden wir drei Netzabschnitte (vgl. auch die in Abbildung 3-4 unterschiedenen Segmente 4, 5 und 6): Im Verzweigerbereich das Verzweigerkabel i. e. S. und die Hauszuführung, sowie die Kabelführung im Hauptkabelbereich. Die Kabellängen werden nach diesen drei Segmenten differenziert ausgegeben.

Die Ausgabe im Mengengerüst erfolgt des Weiteren nach den differenzierten Verlegearten. Die Bestimmung der Kabellängen je Verlegeart folgt der Ermittlung der Trassenlängen und kann auf dieser Basis mit den Verlegeartanteilen gewichtet werden. Diese ist so ausgestaltet, dass die Trassenlänge mit Hilfe eines Verlegeartanteils multipliziert wird, um die Trassenlänge nach Verlegeart zu bemessen. Die Verlegeartanteile unterscheiden sich nach Haupt- und Verzweigerkabelbereich und sind Modellparameter.

Beispielsweise ergibt sich die Kabellänge eines Kabeltyps in Erdverlegung im Verzweigerkabelbereich aus der Summe aller Straßenlängen mit einem Kabel des Kabeltyps im Verzweigerkabelbereich, multipliziert mit dem Verlegeartanteil für Erdverlegung im Verzweigerkabelbereich.

$$Kabellänge_{Typ}^{Verlegeart} = \sum_{i=1}^n (Länge\ Straße_i * Anzahl\ Kabel_{Typ}^{Straße\ i}) * Verlegeartanteil$$

Verlegeart

∈ (Erdverlegung, KKA Verlegung (differenziert in Röhrenverlegung in Kabelkanalanlagen, Mikrorohrverlegung))

Typ ∈ (Kabelkategorie nach Anzahl CuDa bei Kupfer, nach Anzahl Fasern bei Glasfaserkabeln)

Die Summe der Verlegearten je Netzabschnitt (HK, VzK) addieren sich zu 1, so dass die Trassenlänge eines Netzabschnitts nur einmal gezählt wird.

Aus den genannten Angaben errechnen sich bei gegebenen Verlegeartanteilen die Längen folgender Größen des Mengengerüsts:

- Erdverlegbare Kabel
 - Länge der Kupferkabel nach Kabelstärke
 - Länge der Glasfaserkabel nach Kabelstärke
- Röhrenverlegbare Kabel
 - Länge der Kupferkabel nach Kabelstärke
 - Länge Glasfaserkabel nach Kabelstärke
- Kabel für erdverlegte Mikrorohrverbände
 - Länge der Glasfaserkabel nach Kabelstärke

- Kabel für Mikrorohr-in-Rohr-Verlegung
 - Länge der Glasfaserkabel nach Kabelstärke

Da die Kabel für die verschiedenen Verlegearten sich unterscheiden und damit auch unterschiedliche Preise aufweisen, ist die Herleitung dieser Größen im Mengengerüst von Bedeutung.

6.2.3.1 Kabel der Hauszuführung

In Abschnitt 4.5 wurde der methodische Ansatz zur Bestimmung von Längen für Hauszuführungsgraben und Endkabel erläutert. Diese erfolgt im Modell für jede Hauszuführung bzw. jeden Endverzweiger individuell.

Die Stärke des Endkabels (Anzahl CuDA bzw. Fasern), welche sich aus der Anzahl der aktiven Anschlüsse und Reserve ergibt, wird ebenfalls für jeden Endverzweiger individuell bestimmt und entsprechend der vorgehaltenen Paarigkeiten/Faserzahlen der Kabel differenziert im Mengengerüst ausgewiesen.

6.2.3.2 Kabel des Verzweigerkabelbereichs

Die Kabeldimensionierung der Kabel des Verzweigerbereichs i. e. S. erfolgt im Kupfernetz nach der Summe der Kupferadern je Straßenabschnitt, die Länge leitet sich aus der Straßenlänge her, wie oben (in 6.2.3) beschrieben.

Bei der Modellierung des Glasfasernetzes erfolgt die Dimensionierung der Kabel direkt aus der Nachfrage, die Kabellängen leiten sich aus der Straßenlänge unter Berücksichtigung der Anzahl Kabel her, wie oben bereits beschrieben.

6.2.3.3 Kabel des Hauptkabelbereichs

Die Kabel des Hauptkabelbereichs verbinden die Kabelverzweiger bzw. Faserverzweiger mit dem HVt bzw. ODF. Die Dimensionierung im Kupferkabel erfolgt nach Anzahl beschalteter Kupferdoppeladern, die am Kabelverzweiger anliegen. Da der Kabelverzweiger eine Rangierfunktion bereitstellt, können die ökonomischen und technischen Reserven im Hauptkabel geringer ausfallen. Das Kabel im Hauptkabelbereich muss alle aktiven Nachfragen befriedigen. Die Kabel werden nach dem Aufschlag zur nächsten Kabelpaarigkeit gerundet. Die Verlegung des Hauptkabels erfolgt immer auf nur einer Straßenseite. Die Berechnung der Länge nach Kabeltyp folgt der oben (in 6.2.3) beschriebenen Logik.

Für die Dimensionierung des Glasfaserkabels gelten die gleichen Bedingungen wie für die Kupferkabel, bis auf die Tatsache, dass jeder Faserverteiler mit eigenem Kabel angebunden wird. Die ökonomischen und technischen Reserven werden als glasfaser-

spezifische Inputparameter im Modell berücksichtigt. Die Kabel werden nach der Beaufschlagung zur nächsten Kabelpaarigkeit gerundet. Die Berechnung der Länge nach Kabeltyp folgt der weiter oben (in 6.2.3) beschriebenen Logik.

6.2.4 Montagestellen (Muffen)

Die Montagestellen stellen die Verbindungen zwischen Kabeln her. Abzweigmuffen werden verwendet, um einzelne Leiter oder Kabelbündel aus einem größeren Kabel abzuzweigen.

Bei der Kupfermodellierung werden damit die Kabel der Hauszuführung mit dem Verzweigerkabel i. e. S. verbunden. Die Dimensionierung der Abzweigmuffen folgt der Kabelpaarigkeit des Verzweigerkabels, auf das die ausgeführten Kupferdoppeladern verbunden werden. Die Anzahl der Muffen je Straßenabschnitt ergibt sich gemäß der Anzahl Endverzweiger eines Straßenabschnitts geteilt durch die maximale Anzahl Endverzweiger je Abzweigmuffe. Letztere Größe ist ein Modellinput.

Die Modellierung der Glasfaserverlegung geht von einer direkten Kabelanbindung der Gebäude an den Faserverteiler aus. Abzweigmuffen werden bei dieser Verlegeart nicht benötigt. Für die Verlegung von Mikrorohrverbänden finden pro EVz Abzweige Anwendung.

Verbindungsmuffen werden im Kupferkabel in bestimmten Abständen erfasst. Der Abstand zwischen Verbindungsmuffen ist Inputparameter des Modells und wird auf erdverlegte Kabel angewendet. Bei Kabelkanalanlagen sind die Muffen in den Kabelschächten untergebracht. Der durchschnittliche Schachtabstand bestimmt den Abstand zwischen Verbindungsmuffen in Kabelkanalanlagen. Im Modell kann sich dieser Wert zwischen Haupt- und Verzweigerbereich unterscheiden. Mit Verbindungsmuffen lassen sich Kabel gleicher Paarigkeit verlängern oder auch Kabel unterschiedlicher Paarigkeit abzweigen. Verbindungsmuffen werden im Modell je Straßensegment zu einem Anteil $(\text{Straßensegmentlänge})/(\text{durchschnittlicher Verbindungsmuffenabstand})$ berücksichtigt und zwar für jedes Kabel auf dem Straßensegment. Die Muffengröße entspricht dabei der Paarigkeit des höherpaarigen Kabels. Bildet man für jede Muffengröße (Kabeltyp) die Summe der berechneten Muffenanteile über alle Straßensegmente des Hauptkabels, Verzweigerkabels und nach den Verlegearten Erd- und Kabelkanalverlegung, errechnet sich die entsprechende Verbindungsmuffenzahl, die auf eine Ganzzahl aufgerundet wird. Der Investitionswert für Muffen umfasst die zusätzlichen Tiefbauinvestitionen für Gruben, die bei erdverlegten Kabeln entstehen.

Die Verlegung von Glasfaserkabeln erfolgt dergestalt, dass für jeden Nachfragepunkt im Netz (Faserverteiler im Hauptkabel und Hausübergabepunkt im Verzweigerbereich) ein eigenes Kabel verlegt wird. Deshalb werden bei der Glasfasermodellierung Verbindungsmuffen nur dann benötigt, wenn die Maximallänge der verwendeten Glasfaserka-

bel bei der Verlegung im Netzsegment (Verzweigerbereich, Hauptkabelbereich) überschritten wird.¹¹⁰ Die maximale Kabellänge¹¹¹ ist ein Inputparameter. Dieser wird auf jede MPoP-Faserverzweigerrelation angewendet, um die Anzahl der Verbindungsmuffen zu bestimmen. Die Dimensionierung der Glasfaserverbindungsmuffe richtet sich nach der Kabelstärke des betroffenen Kabels. Die Summe der verwendeten Verbindungsmuffen nach Kabeltyp, Netzsegment und Verlegeart ergibt die Gesamtzahl Glasfaserverbindungsmuffen.

6.2.5 Gräben

Der Tiefbau unterscheidet sich nach den Verlegeweisen Erdverlegung, Röhrenverlegung, wobei für Glasfaserkabel die Verlegung in erdverlegbaren Mikrorohrverbänden sowie Mikrorohr-in-Rohr-Verlegung hinzu kommen. Das Mengengerüst erfasst die optimalen Netzlängen nach den Grabengrößen, Verlegearten und Netzsegmenten. Aus den Angaben der Kabelführung je Straßensegment leiten sich die benötigten Grabengrößen her. Das gilt sowohl für das Kupfernetz wie auch für das Glasfasernetz.

Die Dimensionierung der Gräben erfolgt für jedes Straßensegment mit Kabelführung. Im Verzweigerkabel werden die beidseitige Verlegung sowie notwendige Straßenquerungen berücksichtigt.

Die Bestimmung der Grabenlängen lässt sich wie folgt fassen:

$$\text{Grabenlänge}_{\text{Dim}(\text{Zug})}^{\text{Verlegeart}} = \sum_{i=1}^n (\text{Länge}_{\text{Dim}(\text{Zug})}^{\text{Straße } i}) * \text{Verlegeartanteil}$$

Verlegeart ∈ (Erdverlegung, Röhrenverlegung in Kabelkanalanlagen, Mikrorohrverlegung)

Dim(Zug) ∈ (Grabenkategorie nach Anzahl Zügen)

¹¹⁰ Über den Clusteralgorithmus soll bereits im Vorfeld gesteuert werden, dass die Längen im Verzweigerkabelsegment diese Beschränkungen bereits berücksichtigen.

¹¹¹ Es ist davon auszugehen, dass die Regellieferlängen von Gf-Erdkabeln und Gf-Röhrenkabel die für die Modellierung relevanten Längen(beschränkungen) deutlich übersteigen. Regellieferlängen für Kabel bis 96 Fasern betragen i. a. R. 6000 m. Bei höherfaserigen Kabeln bis 192 Fasern beträgt diese 4000 m.

Die Aggregation der Grabenlängen wird ebenso nach Netzsegmenten, d. h., für den Haupt- und Verzweigerkabelbereich durchgeführt. Zu beachten ist hierbei, dass die Dimensionierung des Grabens die gemeinsame Verlegung von Kabeln des Hauptkabelbereichs und des Verzweigerkabelbereichs berücksichtigt, sowie den Raumbedarf von Kabeln anderer Netzbereiche, bzw. durch den Beilauf. Für die Investitionswertberechnung ist die Zuschlüsselung gemeinsam genutzter Gräben auf die Netzsegmente nach Nutzung durchzuführen. Dies wird über längengewichtete Nutzungsfaktoren je Netzsegment bewerkstelligt:

$$\text{Nutzungsgewicht}_{\text{Dim(Zug)}}^{\text{Netzsegment}} = \sum_{i=1}^n (\text{Länge}_{\text{Dim(Zug)}}^{\text{Straße } i}) * \text{Nutzungsfaktor}_{\text{Straße } i}^{\text{Netzsegment}}$$

6.2.6 Kabelkanalanlagen: Schächte und Rohre

Im Mengengerüst erfolgt ein Ausweis für Schächte und Rohre. Die mit Kabelkanalanlagen bzw. Röhrenverlegung einhergehenden Grabenlängen sind den Mengengerüstaussagen zu Gräben zu entnehmen. Sie werden aus den Längen der Straßensegmente ermittelt, die nach erfolgter Wegeoptimierung Teil des optimalen Pfades sind. Die Summe der Straßensegmentlängen multipliziert mit dem Verlegartanteil für Kabelkanalanlagen ergibt die Grabenlänge (Trassenlänge) für Kabelkanalanlagen. Dabei sind die Strecken des Haupt- und Verzweigerkabelbereichs zu unterscheiden. Die Grabungslängen, differenziert nach Zugzahl, bilden die Basis für die Bestimmung der Anzahl Schächte (ebenfalls nach Zugzahl differenziert) sowie Rohrmeter.

Die Anzahl Schächte wird aus der Trassenlänge für Röhren durch Division mit dem Parameter des durchschnittlichen Schachtabstands abgeleitet. Dazu wird je Straßensegment die Division durchgeführt und die Dimensionierung des Schachtes nach der Anzahl an Rohrzügen gemäß Grabendimensionierung der jeweiligen Straße vorgenommen.

$$\text{Anzahl Schächte}_{\text{Typ}}^{\text{Netzsegment}} = \sum_{i=1}^m (\text{Länge}_{\text{Straße } i}^{\text{Netzsegment}}) * \text{Verlegartanteil}_{\text{KKA}}^{\text{Netzsegment}} * \left(\frac{1}{\text{Schachtabstand}} \right)$$

$i \in \{\text{Straßen des optimalen Pfades mit Dimension des Grabentyps passend zum Schachttyp}\}$

$\text{Netzsegment} \in \{\text{Hauptkabelbereich, Verzweigerkabelbereich}\}$

Der Rohrbedarf je Straßensegment leitet sich aus der Grabendimensionierung ab. Diese ist eine Funktion der Nachfrage, die je Straßensegment geführt wird. Das Modell erzeugt für sämtliche Verlegarten eine kantengenaue Grabendimensionierung, die für die Trassenabschnitte reine HK-, reine VZK- sowie gemeinsame HK- und VZK-Nutzung anschlussbereichsbezogen aufsummiert werden. Entsprechend lassen sich für Rohre und Mikrorohre dimensionierte Zugäquivalente ausgeben.

6.2.7 Endverzweiger/Hausübergabeverteiler

Abhängig von der aktiven Nachfrage wird pro Gebäude ein passender Endverzweiger (EVz) installiert. Dabei handelt es sich in Abhängigkeit des Mediums (Kupfernetz bzw. Glasfasernetz) um spezifisches passives Equipment, das die Trennung zwischen der Linientechnik des Netzbetreibers und der Inhausverkabelung vollzieht. Die Inputdaten sehen eine Auswahl an EVz vor, die sich in der maximalen Anzahl aufschaltbarer Kunden unterscheiden. Im Modell wird aus der vorgegebenen Auswahl an EVz derjenige angesetzt, der gerade ausreicht, die Kundennachfrage im Gebäude zu befriedigen. Übersteigt die Nachfrage des Gebäudes die maximal anschaltbaren Kunden je Abschlusseinheit, so werden von der größten Abschlusseinheit so viel wie nötig verbaut, dass die Anzahl aufschaltbarer Kunden zusammen mit einer kleineren Einheit ausreicht, alle Kunden im Gebäude zu versorgen. Im Mengengerüst werden sämtliche, bei der Netzdimensionierung zugewiesenen Endverzweiger, differenziert nach CuDA- bzw. Faserkapazität ausgewiesen.

6.2.8 Kabelverzweiger / Faserverzweiger

Technologiebedingt und nach Verlegeart sind unterschiedliche KVz sowie Faserverzweiger notwendig. Im Kupfernetz betrifft dies herkömmliche KVz und Multifunktionsgehäuse (MFG) bei FTTC.¹¹² Im Glasfasernetz betrifft es die Faserverzweiger für Punkt-zu-Punkt- und Punkt-zu-Multipunkt-Technologien und die Unterscheidung in Erdkabelverlegung und Mikrorohrverlegung. Im Mengengerüst erfolgt ein Ausweis unter Referenzierung der NGA-Technologie. Im Modell können zwei, sich in der Größe (Kapazität) unterscheidende Verzweiger parametrisiert werden, die nach Maßgabe der Netzdimensionierung separat im Mengengerüst ausgewiesen werden.

6.2.9 Splitter

Optische Splitter werden bei den passiven optischen Netzarchitekturen (PON) benötigt. Die Splitter teilen das optische Signal einer Faser (netzseitig) auf mehrere Fasern auf (kundenseitig). Der Einsatz von Splitttern reduziert den netzseitigen Faserbedarf gemäß dem Splitting-Verhältnis. Neben dem Splittingverhältnis¹¹³ bestimmt auch der Standort des Splitters wegen der am Standort gegebenen Nachfrage die benötigte Anzahl an Splitttern. Die benötigten Splitter hängen somit von der Nachfrage am Standort (Faserverzweiger) und dem Splittingverhältnis ab. Im Modell gehen wir davon aus, dass Splitter im Faserverzweiger untergebracht sind. Splitterkaskaden im Faserverzweiger wer-

¹¹² Letzteres ist nicht Gegenstand der Investitionswertberechnung, jedoch des Mengengerüsts.

¹¹³ Bei GPON sind Downstream 2,5 Gbit/s möglich, was bei einem maximalen Splittingverhältnis von 1:128 pro Teilnehmer 19,5 Mbit/s bereitzustellen erlaubt. Abhängig davon, welche Mindestbandbreite pro Kunde man in einem NGA garantieren will, wird das Splittingverhältnis auch abhängig von der Technologie deutlich unterhalb des maximalen Splittingverhältnisses zu wählen sein.

den nicht berücksichtigt.¹¹⁴ Somit berechnet sich die Anzahl Splitter aus der Anzahl anzuschließender Kunden je Verzweigerbereich und dem Splittingverhältnis, das als Inputparameter des Modells vom Nutzer angepasst werden kann.

$$\text{Anzahl Splitter} = \sum_{i \in ASB} \text{Aufrunden}(D_i / \text{Splittingfaktor})$$

D_i = Versorgte Nachfrage am Faserverteiler

6.2.10 MSAN

Abhängig von der unterstellten Technologie ist neben den passiven Netzkomponenten auch aktives Equipment notwendig. Dies betrifft den MSAN im Fall von FTTC und den DSLAM bei den G.fast-Technologien.

Der MSAN ist typischerweise in Multifunktionsgehäusen nahe dem Kabelverzweiger untergebracht. Der MSAN aggregiert den Verkehr der aktiven Teilnehmer auf einen oder mehrere netzseitige Ports, die mit je einer Doppelfaser zum MPOP geführt werden. Das Aggregationsverhältnis am MSAN bestimmt den Glasfaserbedarf im Hauptkabel und ist somit relevant für die Dimensionierung der Kabel. Die Anzahl der mit der jeweiligen Netzauslegung verbundenen MSAN wird im Mengengerüst ausgewiesen.

6.2.11 HVt/ODF

Der HVt stellt den netzseitigen Abschluss der Teilnehmeranschlussleitung im Kupfernetz dar. Der ODF ist das Pendant hierzu im Glasfasernetz. Aufgrund des Scorched-Node-Ansatzes sind die HVt- und ODF-Standorte und damit die MPoP gegeben. Für die Modellierung der Investitionen und Kosten reicht es, die Anzahl aktiver Teilnehmer am Standort zu kennen, die sich aus der Nachfrage herleiten. Es werden sowohl für Kupfer als auch für Glasfaser unterschiedlich große Schranktypen berücksichtigt, die bei der Netzdimensionierung und Ausgabe im Mengengerüst nach Maßgabe der Anschlussnachfrage und Technologie Berücksichtigung finden.

Bei G.fast, PON und FTTC treiben dimensionierte Glasfasern, die im HVt-Standort zusammenlaufen, und nicht die Kunden die Kosten. Entsprechend sind diese Mengengerüste für die MPoP vorzuhalten.

¹¹⁴ Ausnahmen ergeben sich bei höherwertigen PON-Technologien mit einem höheren zugelassenen Splitting-Verhältnis (bis zu 1:256). Hier wird ein zusätzlicher Splitter am ODF zugelassen, der alte PON-Netze auf höhere Splittingverhältnisse kaskadiert aggregieren kann.

6.2.12 Zusammenfassung Mengengerüst

Die folgenden Tabellen fassen die Positionen des Mengengerüsts zusammen, die aus dem Modell abgeleitet werden und zur weiteren Berechnung der Investitionswerte des kupferbasierten Netzes sowie der glasfaserbasierten NGA-Netze ermittelt werden.

Tabelle 6-1: Mengengerüst für reines Kupfernetz

Equipment und Anlagen	Differenzierung
Grabungslänge des Verzweigerkabelbereichs (m)	Zugzahl
Grabungslänge des Hauptkabelbereichs (m)	Zugzahl
Gemeinsame Grabungslänge des Verzweigerkabelbereichs und des Hauptkabelbereichs (m)	Zugzahl
Anzahl Kabelschächte im Verzweigerkabelbereich	Zugzahl
Anzahl Kabelschächte im Hauptkabelbereich	Zugzahl
Kabellänge in Meter nach Kabeltyp in Kabelkanalanlagen im Verzweigerkabelbereich	Kabelstärken
Kabellänge in Meter nach Kabeltyp bei Erdverlegung im Verzweigerkabelbereich	Kabelstärken
Kabellänge in Meter nach Kabeltyp in Kabelkanalanlagen im Hauptkabelbereich	Kabelstärken
Kabellänge in Meter nach Kabeltyp bei Erdverlegung im Hauptkabelbereich	Kabelstärken
Anzahl Muffen nach Kabeltyp in Kabelkanalanlagen im Verzweigerkabelbereich	Kabelstärken
Anzahl Muffen nach Kabeltyp bei Erdverlegung im Verzweigerkabelbereich	Kabelstärken
Anzahl Muffen nach Kabeltyp in Kabelkanalanlagen im Hauptkabelbereich	Kabelstärken
Anzahl Muffen nach Kabeltyp bei Erdverlegung im Hauptkabelbereich	Kabelstärken
Anzahl Abzweigmuffen nach Kabeltyp	Kabelstärken
Anzahl Endverzweiger nach Kabelstärke	Kabelstärken
Anzahl Kabelverzweiger	Typ
Anzahl Verzweigerbereiche	keine

Tabelle 6-2: Mengengerüst für die Glasfasernetze

Equipment und Anlagen	Differenzierung
Grabungslänge des Verzweigerkabelbereichs (m)	Zugzahl, mindertiefe Verlegung
Grabungslänge des Hauptkabelbereichs (m)	Zugzahl; mindertiefe Verlegung
Gemeinsame Grabungslänge des Verzweigerkabelbereichs	Zugzahl; mindertiefe Verlegung

Equipment und Anlagen	Differenzierung
und des Hauptkabelbereichs (m)	
Anzahl Kabelschächte im Verzweigerkabelbereich	Zugzahl
Anzahl Kabelschächte im Hauptkabelbereich	Zugzahl
Kabellänge in Meter nach Kabeltyp erdverlegte Mikrorohrverbände im Verzweigerkabelbereich	Kabelstärken
Kabellänge in Meter nach Kabeltyp erdverlegte Kabel im Verzweigerkabelbereich	Kabelstärken
Kabellänge in Meter nach Kabeltyp röhrenverlegte Kabel im Verzweigerkabelbereich	
Kabellänge in Meter nach Kabeltyp Mikrorohr-in-Rohrverlegte Kabel im Verzweigerkabelbereich	
Kabellänge in Meter nach Kabeltyp röhrenverlegte Kabel im Hauptkabelbereich	Kabelstärken
Kabellänge in Meter nach Kabeltyp in erdverlegte Kabel im Hauptkabelbereich	Kabelstärken
Kabellänge in Meter nach Kabeltyp in Mikrorohr-in-Rohrverlegte Kabel im Hauptkabelbereich	Kabelstärken
Mikrorohrverbände in Meter	Typ
Mikrorohre in Meter	Röhrenstärken
Rohre in Meter	Röhrenstärken
Rohrteiler in Meter	Typ
Kabelschächte bei Mikrorohr-in-Rohr-Verlegung	Schachttypen
Anzahl Muffen nach Kabeltyp röhrenverlegte Kabel im Verzweigerkabelbereich	Kabelstärken
Anzahl Muffen nach Kabeltyp Kabel in erdverlegten Mikrorohrverbänden im Verzweigerkabelbereich	
Anzahl Muffen nach Kabeltyp erdverlegte Kabel im Verzweigerkabelbereich	Kabelstärken
Anzahl Muffen nach Kabeltyp röhrenverlegte Kabel im Hauptkabelbereich	Kabelstärken
Anzahl Muffen nach Kabeltyp erdverlegte Kabel im Hauptkabelbereich	Kabelstärken
Anzahl Muffen nach Kabeltyp Mikrorohr-in-Rohr verlegte Kabel im Hauptkabelbereich	
Anzahl Hausübergabeverteiler nach Typ	Faserbedarf
Anzahl Faserverteiler	Typ
Anzahl Splitter	Splittingfaktoren, Typ
Anzahl Verzweigerbereiche	keine
Anzahl ODF	Typ

6.3 Investitionsgrößen

Die Berechnung der Investitionsgrößen erfolgt aus den Mengengrößen unter Anwendung der Equipmentpreise, die für das einzelne Equipment als Input bereitgestellt, oder die aus den Inputparametern abgeleitet werden, wie beispielsweise die Grabenkosten je Meter oder Kabelschachtkosten je Bauform. Neben den Preisparametern kommen auch Faktoren zur Aufteilung gemeinsam genutzter Ressourcen zur Anwendung wie beispielsweise Beilauffaktoren oder endogen ermittelte Nutzungsgewichte für eine Kostenzuschlüsselung nach Netzsegmenten, Diensten und im Fall der gemeinsamer Betrachtung von Technologien nach Technologien.

6.3.1 Trasseninvestitionen

6.3.1.1 Erdverlegung

Die Bestimmung der Investitionen in Gräben lässt sich wie folgt fassen:

$$\text{Invest Gräben}_{VZK}^{EVL} = \sum_{i \in \text{Dim}(\text{Zug})} \text{Grabenlänge}_i^{EVL-VZK} * \text{PreisGraben}_i^{EVL-VZK} * \text{Nutzungsfaktor}_i^{VZK} * (1 - \text{externer Beilauf}_{VZK}^{EVL})$$

$$\text{Invest Gräben}_{HK}^{EVL} = \sum_{i \in \text{Dim}(\text{Zug})} \text{Grabenlänge}_i^{EVL-HK} * \text{PreisGraben}_i^{EVL-HK} * \text{Nutzungsfaktor}_i^{HK} * (1 - \text{externer Beilauf}_{VZKHK}^{EVL})$$

6.3.1.2 Röhrenverlegung

Investitionen in Gräben für Röhrenverlegung (KKA) werden wie folgt bestimmt:

$$\text{InvestGräben}_{VZK}^{KKA} = \sum_{i \in \text{Dim}(\text{Zug})} \text{Grabenlänge}_i^{KKA-VZK} * \text{PreisGraben}_i^{KKA-VZK} * \text{Nutzungsfaktor}_i^{VZK} * (1 - \text{externer Beilauf}_{VZK}^{KKA})$$

$$\text{InvestGräben}_{HK}^{KKA} = \sum_{i \in \text{Dim}(\text{Zug})} \text{Grabenlänge}_i^{KKA-HK} * \text{PreisGraben}_i^{KKA-HK} * \text{Nutzungsfaktor}_i^{HK} * (1 - \text{externer Beilauf}_{HK}^{KKA})$$

Investitionen in Rohre

$$\text{Invest Rohre}^{VZK} = \text{Rohrlänge}^{VZK} * (\text{Materialpreis} + \text{VerlegePreis})$$

$$\text{Invest Rohre}^{HK} = \text{Rohrlänge}^{HK} * (\text{Materialpreis} + \text{VerlegePreis})$$

Investitionen in Kabelschächte

$$\begin{aligned} \text{Invest Schächte}^{VZK} &= \sum_{i \in \text{Dim}(\text{Zug})} \text{Anzahl Schächte}_i^{VZK} \\ &\quad * (\text{Materialpreis}_i^{VZK} + \text{Einbaupreis}_i^{VZK} + \text{Tiefbaupreis}_i^{VZK}) * \text{Nutzungsfaktor}_i^{VZK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Invest Schächte}^{HK} &= \sum_{i \in \text{Dim}(\text{Zug})} \text{Anzahl Schächte}_i^{HK} \\ &\quad * (\text{Materialpreis}_i^{HK} + \text{Einbaupreis}_i^{HK} + \text{Tiefbaupreis}_i^{HK}) * \text{Nutzungsfaktor}_i^{HK} \\ &\quad * (1 - \text{interner Beilauf}_{HK}^{KKA}) \end{aligned}$$

6.3.1.3 Mikrorohrverlegung

Die Mikrorohrverlegung betrifft nur die glasfaserbasierten Technologien. Bezüglich der Trasseninvestitionen sind hier die Verlegung in erdverlegbaren Mikrorohrverbänden von der Verlegung von Mikrorohren und Mikrorohrverbänden in Kabelkanalschutzrohr zu unterscheiden. Bei der Verlegung in erdverlegbaren Mikrorohrverbänden sind die Investitionen für Gräben und Mikrorohre zu berücksichtigen, bei der Verlegung von Mikrorohren in Kabelkanalschutzrohr sind die Investitionen für Gräben, Mikrorohre Kabelkanalschutzrohre und Kabelschächte zu bestimmen.

Investitionspositionen bei erdverlegbaren Mikrorohrverbänden (EVMRV) stellen sich wie folgt dar:

$$\begin{aligned} \text{Invest Mikrorohre}_{\text{Rohrtyp}}^{VZK} &= \sum_{i \in \text{Rohrtyp}} \text{Mikrorohrlänge}_i^{VZK} * (\text{Materialpreis Mikrorohre}_i^{VZK} \\ &\quad + \text{Installationspreis Mikrorohre}_i^{VZK}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Invest Mikrorohre}_{\text{Rohrtyp}}^{HK} &= \sum_{i \in \text{Rohrtyp}} \text{Mikrorohrlänge}_i^{HK} * (\text{Materialpreis Mikrorohre}_i^{HK} \\ &\quad + \text{Installationspreis Mikrorohre}_i^{HK}) \end{aligned}$$

Investitionspositionen bei Mikrorohr-in-Rohr-Verlegung (MRVKKA) stellen sich wie folgt dar:

$$\begin{aligned} \text{Invest Mikrorohre}_{\text{Rohrtyp}}^{HK} &= \sum_{i \in \text{Rohrtyp}} \text{Mikrorohrlänge}_i^{HK} * (\text{Materialpreis Mikrorohre}_i^{HK} + \text{Installationspreis Mikrorohre}_i^{HK}) \end{aligned}$$

$$\text{Invest Rohre}_{HK}^{MRVKKA} = \sum_{i \in \text{Rohrtyp}} \text{Rohrlänge}_{\text{Typ}}^{HK} * (\text{Materialpreis}_i^{HK} + \text{VerlegePreis}_i^{HK})$$

$$\begin{aligned} \text{Invest Schächte}_{HK}^{MRVKKA} &= \sum_{i \in \text{Dim}(\text{Zug})} \text{Anzahl Schächte}_i^{HK} \\ &\quad * (\text{Materialpreis}_i^{HK} + \text{Einbaupreis}_i^{HK} + \text{Tiefbaupreis}_i^{HK}) * \text{Nutzungsfaktor}_i^{HK} \end{aligned}$$

6.3.2 Kabelinvestitionen

Die Kabel unterscheiden sich nach Übertragungsmedium (Kupfer und Glasfaser), nach den Verlegearten (erdverlegbare Kabel, röhrenverlegbare Kabel und Kabel für erdverlegte Mikrorohre sowie Kabel für röhrenverlegte Mikrorohre) und nach den Kabelstärken. Die Investitionen leiten sich aus dem Produkt der jeweiligen Kabellänge mit dem Material- und Installationspreis der jeweiligen Kabelkategorie her:

$$Invest\ Kabel_{Typ}^{Verlegeart} = Kabellänge_{Typ}^{Verlegeart} * (Materialpreis_{Typ}^{Verlegeart} + Installationspreis_{Typ}^{Verlegeart})$$

$$Invest\ Kabel^{Verlegeart} = \sum_{i \in Typ} Invest\ Kabel_i^{Verlegeart}$$

Verlegeart ∈ (Erdverlegung, Röhrenverlegung, Mikrorohr – in – Rohr
– Verlegung, erdverlegte Mikrorohre)

Typ ∈ (Kabelkategorie nach Anzahl CuDa bei Kupfer, nach Anzahl Fasern bei Glasfaserkabeln)

Weiterhin wird bei der Aggregation der Investitionswerte in jeder Kabelkategorie noch nach den Netzsegmenten (Hauptkabelbereich und Verzweigerkabelbereich) unterschieden.

6.3.3 Investitionen in Montagestellen (Muffen)

6.3.3.1 Muffeninvestitionen bei kupferbasierter Verlegung

Für die kupferbasierten Technologien werden Investitionen in Verbindungs- und Abzweigmuffen sowohl für Erdkabelverlegung (EVL) und für die Verlegung in Kabelkanalanlagen (KKA) unterschieden. Zur Investitionswertbestimmung werden die Anzahl Muffen nach Kabelstärken mit den Preisen für die Muffen nach Kabelstärken multipliziert. Die Preise setzen sich aus Materialpreisen für die Muffen, dem Arbeitslohn für das Doppeladerverbinden zusammen. Bei der Erdverlegung ist auch eine Preiskomponente für den zusätzlichen Aushub über den Standardgraben hinaus für die Muffen zu berücksichtigen. Bei der Röhrenverlegung sind die Muffen in den Kabelschächten untergebracht, die bei den Trassenkosten bereits berücksichtigt sind. Verbindungsmuffen werden für den Hauptkabelbereich und den Verzweigerkabelbereich berücksichtigt, Abzweigmuffen fallen nur im Verzweigerbereich¹¹⁵ an.

¹¹⁵ Dazu zählt auch das starre Netz.

Investitionen in Muffen des Verzweigerkabelbereichs bei Kupfertechnik

$$\begin{aligned} \text{Invest Abzeigmuffe}_{EVL}^{VZK} &= \sum_{i \in \text{Kabelstärke}} \text{Anzahl AZMuffen}_i^{EVL-VZK} * (\text{Materialpreis ABZMuffe}_i^{EVL-VZK} \\ &+ \text{Doppeladerverbinden}_i^{EVL-VZK} + \text{zusätzlicher Tiefbau}_i^{EVL-VZK}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Invest VBMuffe}_{EVL}^{VZK} &= \sum_{i \in \text{Kabelstärke}} \text{Anzahl VBMuffen}_i^{EVL-VZK} * (\text{Materialpreis VBMuffe}_i^{EVL-VZK} \\ &+ \text{Doppeladerverbinden}_i^{EVL-VZK} + \text{zusätzlicher Tiefbau}_i^{EVL-VZK}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Invest Abzeigmuffe}_{KKA}^{VZK} &= \sum_{i \in \text{Kabelstärke}} \text{Anzahl AZMuffen}_i^{KKA-VZK} * (\text{Materialpreis ABZMuffe}_i^{KKA-VZK} \\ &+ \text{Doppeladerverbinden}_i^{KKA-VZK}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Invest VBMuffe}_{KKA}^{VZK} &= \sum_{i \in \text{Kabelstärke}} \text{Anzahl VBMuffen}_i^{KKA-VZK} * (\text{Materialpreis VBMuffe}_i^{KKA-VZK} \\ &+ \text{Doppeladerverbinden}_i^{KKA-VZK}) \end{aligned}$$

Investitionen in Muffen des Hauptkabelbereichs bei Kupfertechnik

$$\begin{aligned} \text{Invest VBMuffe}_{EVL}^{HK} &= \sum_{i \in \text{Kabelstärke}} \text{Anzahl VBMuffen}_i^{EVL-HK} * (\text{Materialpreis VBMuffe}_i^{EVL-HK} \\ &+ \text{Doppeladerverbinden}_i^{EVL-HK} + \text{zusätzlicher Tiefbau}_i^{EVL-HK}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Invest VBMuffe}_{KKA}^{HK} &= \sum_{i \in \text{Kabelstärke}} \text{Anzahl VBMuffen}_i^{KKA-HK} * (\text{Materialpreis VBMuffe}_i^{KKA-HK} \\ &+ \text{Doppeladerverbinden}_i^{KKA-HK}) \end{aligned}$$

6.3.3.2 Muffeninvestitionen bei glasfaserbasierter Verlegung

Bei der Glasfaserverlegung kommen aufgrund der vorgesehenen Verlegeweise, je einzelner Kabel vom Gebäude zum Faserverzweiger keine Abzeigmuffen zum Einsatz.

Verbindungs-muffen werden nur dann benötigt, wenn die Maximallänge der verwendeten Glasfaserkabel bei der Verlegung im Netzsegment (Verzweigerbereich, Hauptkabelbereich) überschritten wird.¹¹⁶ Die Verbindungs-muffen werden in diesen Fällen nach Stärke des Kabels benötigt. Die Berechnung der Investitionen erfolgt auch hier nach Menge mal Preis nach Kabelstärke. Die Preiskomponenten unterscheiden sich nach Netzsegment und Verlegeformen wie angegeben:

¹¹⁶ Siehe hierzu auch die Ausführungen in Abschnitt 6.2.3.

$$\begin{aligned}
 \text{Invest VBMuffe}_{EVL}^{HK,VZK} &= \sum_{i \in \text{Kabelstärke}} \text{Anzahl VBMuffen}_i^{EVL-HK,VZK} * (\text{Materialpreis VBMuffe}_i^{EVL-HK,VZK} \\
 &+ \text{Spleißen}_i^{EVL-HK,VZK} + \text{zusätzlicher Tiefbau}_i^{EVL-HK,VZK})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Invest VBMuffe}_{KKA}^{HK} &= \sum_{i \in \text{Kabelstärke}} \text{Anzahl VBMuffen}_i^{KKA-HK} * (\text{Materialpreis VBMuffe}_i^{KKA-HK} \\
 &+ \text{Spleißen}_i^{KKA-HK})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Invest VBMuffe}_{MRVKKA}^{HK} &= \sum_{i \in \text{Kabelstärke}} \text{Anzahl VBMuffen}_i^{MRVKKA-HK} * (\text{Materialpreis VBMuffe}_i^{MRVKKA-HK} \\
 &+ \text{Spleißen}_i^{MRVKKA-HK} + \text{Mikrorohrverbinder}_i^{MRVKKA-HK})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Invest VBMuffe}_{ELMRV}^{HK,VZK} &= \sum_{i \in \text{Kabelstärke}} \text{Anzahl VBMuffen}_i^{ELMRV-HK,VZK} * (\text{Materialpreis VBMuffe}_i^{ELMRV-HK,VZK} \\
 &+ \text{Spleißen}_i^{ELMRV-HK,VZK} + \text{zusätzlicher Tiefbau}_i^{ELMRV-HK,VZK} \\
 &+ \text{Mikrorohrverbinder}_i^{ELMRV-HK})
 \end{aligned}$$

6.3.4 Investitionen in das Endkabelsegment (Hauszuführungssegment)

Zu den Investitionen in das Endkabelsegment gehören die Komponenten Investitionen in die Abschlusspunkte der Linientechnik EVZ /HÜV, die Hauszuführungstrasse (Graben) und das Hauszuführungskabel. Kosten für die Hauseinführung werden nicht betrachtet.

$$\text{Invest Hauszuführung} = \text{Invest}_{EVZ} + \text{Invest Graben}_{\text{Hauszuführung}} + \text{Invest Kabel}_{\text{Hauszuführung}}$$

6.3.4.1 Investitionen in Endverzweiger

Die Preiskomponenten der Investitionswertberechnungen setzen sich zusammen aus Materialpreisen für die Endverzweiger inklusive einer Preiskomponente für das Anbringen dieser Abschlussgeräte an der Wand und das Verbinden dieser Geräte mit dem Hauszuführungskabel (Preisansatz pro aktiver Anschlussleitung [CuDA bzw. Glasfaser]).

$$\begin{aligned}
 \text{Invest EVZ} &= \sum_{\forall i \in \text{Typ}} \text{Anzahl EVZ}_i * (\text{Materialpreis EVZ}_i + \text{Installationspreis EVZ}_i) \\
 &+ \text{Anzahl aktive Anschlüsse} * \text{Installationspreis je CuDA/Faser}
 \end{aligned}$$

6.3.4.2 Investitionen in die Hauszuführungstrasse

Die Investitionen für die Hauszuführungstrasse bestimmen sich unter Rückgriff der nachfolgenden Parameter.

Invest Graben Hauszuführung

$$= (\text{Grabenlänge}^{\text{öG}} * \text{Graben Preis}^{\text{öG}} + \text{Grabenlänge}^{\text{PG}} * \text{Graben Preis}^{\text{PG}}) * (1 - \text{externer Beilauf Hauszuführung})$$

Weiterhin erfolgt der Ausbau der Hauszuführung auf Privatgrund bis zu einer Standardausbaulänge (l_{STAB}) in voller Kostenträgerschaft des Netzbetreibers. Über diese Länge des Standardausbaus hinaus wird der Hauseigentümer zur Übernahme eines Anteils der Trassenkosten auf seinem Grundstück herangezogen. Die Kostenträgerschaft des Netzbetreibers ($0 \leq \text{Anteil KTNB} \leq 1$) verringert sich entsprechend um den Anteil, den der Hauseigentümer übernimmt. Es gilt somit Grabenpreis auf Privatgrund die folgende Beziehung:

$$\text{Graben Preis}^{\text{PG}} = \begin{cases} \text{Graben Preis}^{\text{PG}}, & \text{Grabenlänge}^{\text{PG}} \leq l_{\text{STAB}} \\ \text{Graben Preis}^{\text{PG}} * \text{Anteil KTNB}, & \text{Grabenlänge}^{\text{PG}} > l_{\text{STAB}} \end{cases}$$

6.3.4.3 Investitionen in das Hauszuführungskabel

Investitionen in das Kabel für die Hauszuführung werden aus der Länge der Kabel der Hauszuführung nach Kabelstärke multipliziert mit dem Preis der Kabel nach Kabelstärke gebildet. Beim kupferbasierten Netzausbau werden Erdkabel in der benötigten Doppeladerzahl verwendet. Die Kabellänge je Hauszuführung entspricht im Kupfermodell der vollen Lotlänge von Haus zur Straßenmitte. Im Fall der Verlegung eines Glasfaseranschlusses lediglich der Länge des Hauszuführungsgrabens (siehe Abschnitt 4.5). In der nachfolgenden Darstellung ist direkt auf die Kabellänge in Abhängigkeit des Mediums abgestellt.

Invest Kabel für Hauszuführung

$$= \sum_{\forall i \in \text{Kabeltyp}} \text{Länge Kabel Hauszuführung}_i * \text{Preis Kabel Hauszuführung}_i$$

Bei der Glasfaserverlegung kommen Erdkabel oder Kabel für Mikrorohrverlegung in der benötigten Kabelstärke zum Einsatz. Es findet die gleiche Berechnungslogik wie bei der Kupferdoppelader Anwendung.

6.3.5 Investitionen in Kabelverzweiger / Faserverzweiger

Die Investitionen in Kabelverzweiger und Faserverzweiger werden als fixe Investitionen je Verzweiger zuzüglich einer variablen Investitionskomponente je beschalteter Nachfrage abgebildet.

Für die kupferbasierten Technologien setzen sich die Investitionen in Kabelverzweiger zusammen aus dem durchschnittlichen Materialpreis je Kabelverzweiger, dem durchschnittlichen Installationspreis je Endverschlussleiste sowie dem durchschnittlichen Investitionspreis je beschalteter Kupferdoppelader für die Installation (das Auflegen und Verbinden) der beschalteten Kupferdoppeladern.

$$\begin{aligned} \text{Invest KVZ} = & \text{Anzahl KVZ} * (\text{Materialpreis KVZ} + \text{Installationspreis KVZ}) \\ & + (\text{Anzahl erforderlicher Endverschlussleisten} * \text{Materialpreis}) \\ & + (\text{Preis Installation der CuDA} * \text{Anzahl beschalteter CuDA}) \end{aligned}$$

Der Investitionswert des Kabelschachtes am Standort des Verzweigers ist Bestandteil der Investitionen dieses Netzknotens und daher nicht in der Bemessung der allgemeinen Schachtinvestitionen, welche nach Abstandskriterien bemessen werden, zu berücksichtigen.

Für die glasfaserbasierten Technologien kommen Faserverzweiger zum Einsatz, deren Modellierung analog zur Kupferwelt erfolgen soll. Demnach setzen sich die Investitionen in Faserverzweiger (FVz) zusammen aus dem durchschnittlichen Materialpreis je Faserverzweiger, dem durchschnittlichen Installationspreis je Faserverzweiger (inklusive Spleißladen) sowie dem durchschnittlichen Investitionspreis je beschalteter Glasfaser für die Installation der beschalteten Fasern (Spleißen).

$$\begin{aligned} \text{Invest FVZ} = & \text{Anzahl FVZ} * (\text{Materialpreis FVz} + \text{Installationspreis FVz}) + \text{Preis Installation pro Faser} \\ & * \text{Anzahl beschalteter Fasern} \end{aligned}$$

6.3.6 Investitionen für Splitter

Die Investitionen für Splitter berechnen sich aus der Anzahl an Splitttern, multipliziert mit dem Material- und Installationspreis je Splitter sowie den zugehörigen Spleißkosten.

$$\begin{aligned} \text{Invest Splitter} = & \text{Anzahl Splitter} * (\text{Material- u. Installationspreis je Splitter} \\ & + \text{Installationspreis je Faser/Spleiß}) \end{aligned}$$

6.3.7 Investitionen in aktives Equipment

Die Investitionen in das aktive Equipment bei FTTC sind nicht Teil der Kostenbestimmung des Teilnehmeranschlusses und soll deshalb im Modell nicht berechnet werden. Im Modell werden lediglich die Mengen bestimmt.

6.3.8 Investitionen in Hauptverteiler (HVt) / Optische Faserverteiler (ODF)

Zur Ermittlung der Investitionen in den Hauptverteiler werden fixe Investitionen pro Hauptverteilerstandort und eine Investitionskomponente pro beschalteter Kupferdoppelader berücksichtigt. Zusätzlich wird ein Kabelschacht inklusive Muffen am HVt-Standort berücksichtigt.

Für die kupferbasierten Technologien setzen sich die Investitionen in den Hauptverteiler zusammen aus dem durchschnittlichen Materialpreis (Gestell und Trennleisten) und dem durchschnittlichen Installationspreis je Hauptverteiler für eine gegebene Kapazität sowie dem durchschnittlichen Investitionspreis je beschalteter Kupferdoppelader für die Installation (das Auflegen und Verbinden) der beschalteten Kupferdoppeladern.

Der Installationspreis der Faser hat die Stecker zu berücksichtigen.

$$\text{Invest pro HVT} = \text{Materialpreis HVT} + \text{Installationspreis HVT} + \text{Preis Installation der CuDA} \\ * \text{Anzahl beschalteter CuDA} + \text{Invest Schacht und Muffen am HVT}$$

$$\text{Invest pro ODF} = \text{Materialpreis ODF} + \text{Installationspreis ODF} + \text{Preis Installation der Faser} \\ * \text{Anzahl beschalteter Fasern} + \text{Invest Schacht und Muffen am ODF}$$

Die Kosten für die Unterbringung und Zutrittskontrolle sind in den Betriebskosten erfasst und nicht Bestandteil der in die Investitionswertermittlung einfließenden Preisgrößen.

6.3.9 Investitionen in das Verzweigerkabelsegment

Die Investitionen in das Verzweigerkabelsegment setzen sich aus den Trassen-, Kabel-, Muffen- und Schachtinvestitionen zusammen. Mit diesen Investitionswerten werden schließlich die in der Netzdimensionierung ermittelten Längen der Straßensegmente, die für die Verlegung des Verzweigerkabels genutzt werden, bewertet.

$$\text{Investition}_{\text{Gesamt}}^{\text{VZK}} = \sum_i \text{Investition}_{\text{KK}_i}^{\text{VZK}} + \text{Investition}_{\text{EK}_i}^{\text{VZK}} + \text{Investition}_{\text{Muffen}_i}^{\text{VZK}} \\ + \text{Investition}_{\text{KS}_i}^{\text{VZK}}$$

$\text{Investition}_{\text{EK}_i}^{\text{VZK}}$	Investition in Erdkabel im Verzweigerkabelsegment
$\text{Investition}_{\text{KK}_i}^{\text{VZK}}$	Investition in Kabelkanäle im Verzweigerkabelsegment
$\text{Investition}_{\text{KS}_i}^{\text{VZK}}$	Investition in Kabelschächte im Verzweigerkabelsegment
$\text{Investition}_{\text{Muffen}_i}^{\text{VZK}}$	Investition in Muffen im Verzweigerkabelsegment
$\text{Investition}_{\text{Verb.-muffen}_i}^{\text{VZK}}$	Investition in Verbindungsmuffen im Verzweigerkabelsegment

6.3.10 Investitionen in das Hauptkabelsegment

Die Investitionen in das Hauptkabelsegment setzen sich aus den Trassen-, Kabel-, Muffen- und Schachtinvestitionen zusammen.

Die Investitionen in Hauptkabel ergeben sich damit wie folgt:

$$Investition_{Gesamt}^{HK} = \sum_i Investment_{KK\ i}^{HK} + Investment_{EK\ i}^{HK} + Investment_{Muffen\ i}^{HK} + Investment_{KS\ i}^{HK}$$

$Investition_{EK}^{HK}$:	Investition in Erdkabel im Hauptkabelsegment
$Investition_{Gesamt}^{HK}$:	Gesamte Investition im Hauptkabelsegment
$Investition_{KK}^{HK}$:	Investition in Kabelkanäle im Hauptkabelsegment
$Investition_{KS}^{HK}$:	Investition in Kabelschächte im Hauptkabelsegment
$Investition_{Muffen}^{HK}$:	Investition in Muffen im Hauptkabelsegment
$Investition_{Verb.-muffen}^{HK}$:	Investition in Verbindungsmuffen im Hauptkabelsegment

7 Durchschnittliche Kosten der Teilnehmeranschlussleitung

Mengen und Investitionsgrößen werden anschlussbereichsgenau berechnet und nach Verzweigerbereich und Hauptkabelbereich unterschieden. Das starre Netz ist entsprechend seiner Funktionalität dem Verzweigerbereich zugeordnet.

Die Ergebnisse werden unter Referenzierung der NGA-Technologie ausgegeben. Informationen über die Zahl der aktiven Anschlüsse sowohl auf Ebene der Anschlussbereiche als auch der Verzweigerbereiche erlauben die Bestimmung durchschnittlicher Kosten pro Anschluss. Die vom Modell berechneten Mengen- und Investitionsgrößen liegen dabei sowohl für die Anlagen des Verzweigerbereichs als auch des Hauptkabelsegments, jeweils pro Anschlussbereich, vor. Die über sämtliche Anschlussbereiche aggregierten Investitionswerte erlauben eine Anwendung von Zuschlagsfaktoren für Miet- und Betriebskosten und bilden die Grundlage für die Annualisierung und Operationalisierung der Kostenrechnung.

8 Abschließende Bemerkungen

Das vorliegende Dokument beschreibt die vom WIK entwickelte und vertretene Methodik zur Bestimmung von Kosten glasfaserbasierter Anschlussnetze im Kontext der ND&KRM-Empfehlung. Es handelt sich dabei um einen generischen Modellierungsansatz, der auf der einen Seite eine georeferenzierte, nachfragegetriebene Netzdimensionierung vornimmt und auf der anderen Seite Freiheitsgrade für die abzubildende NGA-Technologie zulässt. Der vorgestellte Modellierungsansatz erlaubt die Ermittlung des Investitionswertes für das Teilnehmeranschlussnetz. Mit Hilfe der dargelegten Methodik soll es bei Verfügbarkeit valider Eingabedaten möglich sein, u. a. eine Bottom-up-Kostenstudie für kupferbasierte Vorleistungsentgelte unter Berücksichtigung der Anforderungen der ND&KRM-Empfehlung zu erstellen. Die Aussagekraft der Ergebnisse hängt dabei wesentlich von der Güte der eingesetzten Modellparameter ab, welche unter anderem auf Basis eines Fragebogens ermittelt werden sollen.

Der Konsultationsentwurf des Modellierungsansatzes wurde von der Bundesnetzagentur im Mai 2018 einer öffentlichen Kommentierung zugänglich gemacht. Die Auswertung der Stellungnahmen sind in einem separaten Dokument veröffentlicht. Die Erkenntnisse des Konsultationsverfahrens haben in den hier dargestellten Modellierungsansatz Eingang gefunden. Darüber hinaus finden sie bei der Modellanwendung und Parametrisierung Berücksichtigung. Als Anhang zum Referenzdokument findet sich eine Liste der Modelleingangsparameter, welche in Zusammenhang mit der Erhebung der Parameter in Fragebögen von den Marktteilnehmern abgefragt werden.

Modelleingangsparameter

Analytisches Kostenmodell für das Anschlussnetz 3.0

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Einheit	Wertebereich
Clusterdefinition	Verzweigerbereich	Max. Anzahl CuDA pro KVz	1	Wertebereich: X >= 1
Clusterdefinition	Verzweigerbereich	Max. CuDA pro Verzweigerbereich	1	Wertebereich: X >= 1
Clusterdefinition	Verzweigerbereich	Max. CuDA pro Verzweigerbereich FTTC	1	Wertebereich: X >= 1
Clusterdefinition	Verzweigerbereich	Max. Fasern pro Verzweigerbereich FTTH PtMP (PON)	1	Wertebereich: X >= 1
Clusterdefinition	Verzweigerbereich	Max. Fasern pro Verzweigerbereich FTTH PtP	1	Wertebereich: X >= 1
Clusterdefinition	Verzweigerbereich	Max. Fasern pro Verzweigerbereich FTTB (G.fast)	1	Wertebereich: X >= 1
Clusterdefinition	Verzweigerbereich	Radius im starren Netz	m	Wertebereich: X >= 0
Clusterdefinition	Verzweigerbereich	Referenzradius	m	Wertebereich: X >= 0
Netzstruktur	Modellierung Hauszuführung	Durchschnittliche Gehwegbreite	m	Wertebereich: X >= 0
Netzstruktur	Modellierung Hauszuführung	Durchschnittliche Strassenbreite	m	Wertebereich: X >= 0
Netzstruktur	Modellierung Hauszuführung	Länge des Standardausbaus auf Privatgrund laut AGB	m	Wertebereich: X >= 0
Netzstruktur	Modellierung Hauszuführung	Abstand zwischen Straße oder Gehweg und Gebäudefront	m	Wertebereich: X >= 0
Beidseitige Kabelverlegung	Beidseitige Straßenverlegung	Schwelle mittlerer Abstand zwischen Gebäuden	m	Wertebereich: X >= 0

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Einheit	Wertebereich
Anteil Oberflächentyp	Asphalt (Fahrbahn)	Erdkabel Hk	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Anteil Oberflächentyp	Asphalt (Gehweg)	Erdkabel Hk	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Anteil Oberflächentyp	Grünfläche	Erdkabel Hk	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Anteil Oberflächentyp	Pflasterdecke	Erdkabel Hk	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Anteil Oberflächentyp	Plattenbeläge	Erdkabel Hk	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
		Kontrolle	%	100%
Anteil Oberflächentyp	Asphalt (Fahrbahn)	Erdkabel VzK	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Anteil Oberflächentyp	Asphalt (Gehweg)	Erdkabel VzK	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Anteil Oberflächentyp	Grünfläche	Erdkabel VzK	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Anteil Oberflächentyp	Pflasterdecke	Erdkabel VzK	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Anteil Oberflächentyp	Plattenbeläge	Erdkabel VzK	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
		Kontrolle		100%
Anteil Oberflächentyp	Asphalt (Fahrbahn)	Röhrenkabel Hk	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Anteil Oberflächentyp	Asphalt (Gehweg)	Röhrenkabel Hk	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Anteil Oberflächentyp	Grünfläche	Röhrenkabel Hk	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Anteil Oberflächentyp	Pflasterdecke	Röhrenkabel Hk	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Anteil Oberflächentyp	Plattenbeläge	Röhrenkabel Hk	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
		Kontrolle		100%
Anteil Oberflächentyp	Asphalt (Fahrbahn)	Röhrenkabel VzK	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Anteil Oberflächentyp	Asphalt (Gehweg)	Röhrenkabel VzK	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Anteil Oberflächentyp	Grünfläche	Röhrenkabel VzK	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Anteil Oberflächentyp	Pflasterdecke	Röhrenkabel VzK	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Anteil Oberflächentyp	Plattenbeläge	Röhrenkabel VzK	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
		Kontrolle		100%
Erdarbeiten	Gewichteter Erschwernisfaktor	Faktor	1	Wertebereich: X > 0

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Einheit	Wertebereich
Erdkabelverlegung	Grabenmaße Breite	01 Zug	m	Wertebereich: X >= 0
Erdkabelverlegung	Grabenmaße Tiefe	01 Zug	m	Wertebereich: X >= 0
Erdkabelverlegung	Grabenmaße Breite	02 Züge	m	Wertebereich: X >= 0
Erdkabelverlegung	Grabenmaße Tiefe	02 Züge	m	Wertebereich: X >= 0
Erdkabelverlegung	Grabenmaße Breite	04 Züge	m	Wertebereich: X >= 0
Erdkabelverlegung	Grabenmaße Tiefe	04 Züge	m	Wertebereich: X >= 0
Erdkabelverlegung	Grabenmaße Breite	06 Züge	m	Wertebereich: X >= 0
Erdkabelverlegung	Grabenmaße Tiefe	06 Züge	m	Wertebereich: X >= 0
Erdkabelverlegung	Grabenmaße Breite	12 Züge	m	Wertebereich: X >= 0
Erdkabelverlegung	Grabenmaße Tiefe	12 Züge	m	Wertebereich: X >= 0
Erdkabelverlegung	Grabenmaße Breite	24 Züge	m	Wertebereich: X >= 0
Erdkabelverlegung	Grabenmaße Tiefe	24 Züge	m	Wertebereich: X >= 0
Erdkabelverlegung	Grabenmaße Breite	48 Züge	m	Wertebereich: X >= 0
Erdkabelverlegung	Grabenmaße Tiefe	48 Züge	m	Wertebereich: X >= 0
Erdkabelverlegung	Grabenmaße Breite	96 Züge	m	Wertebereich: X >= 0
Erdkabelverlegung	Grabenmaße Tiefe	96 Züge	m	Wertebereich: X >= 0

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Einheit	Wertebereich
Röhrenverlegung	Grabenmaße Breite	01 Zug	m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Grabenmaße Tiefe	01 Zug	m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Grabenmaße Breite	02 Züge	m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Grabenmaße Tiefe	02 Züge	m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Grabenmaße Breite	04 Züge	m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Grabenmaße Tiefe	04 Züge	m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Grabenmaße Breite	06 Züge	m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Grabenmaße Tiefe	06 Züge	m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Grabenmaße Breite	12 Züge	m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Grabenmaße Tiefe	12 Züge	m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Grabenmaße Breite	24 Züge	m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Grabenmaße Tiefe	24 Züge	m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Grabenmaße Breite	48 Züge	m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Grabenmaße Tiefe	48 Züge	m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Grabenmaße Breite	96 Züge	m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Grabenmaße Tiefe	96 Züge	m	Wertebereich: X >= 0

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Einheit	Wertebereich
Graben	Mindestüberdeckung	Höhe	m	Wertebereich: $X >= 0$
Graben	Erfordernis für betretbaren Arbeitsraum im Graben (zus. Breite)	Erdverlegung 1 Zug	m	Wertebereich: $X >= 0$
Graben	Erfordernis für betretbaren Arbeitsraum im Graben (zus. Breite)	Erdverlegung 2 Züge	m	Wertebereich: $X >= 0$
Graben	Erfordernis für betretbaren Arbeitsraum im Graben (zus. Breite)	Erdverlegung 4 Züge	m	Wertebereich: $X >= 0$
Graben	Erfordernis für betretbaren Arbeitsraum im Graben (zus. Breite)	Erdverlegung 6 Züge	m	Wertebereich: $X >= 0$
Graben	Erfordernis für betretbaren Arbeitsraum im Graben (zus. Breite)	Erdverlegung 12 Züge	m	Wertebereich: $X >= 0$
Graben	Erfordernis für betretbaren Arbeitsraum im Graben (zus. Breite)	Erdverlegung 24 Züge	m	Wertebereich: $X >= 0$
Graben	Erfordernis für betretbaren Arbeitsraum im Graben (zus. Breite)	Erdverlegung 48 Züge	m	Wertebereich: $X >= 0$
Graben	Erfordernis für betretbaren Arbeitsraum im Graben (zus. Breite)	Erdverlegung 96 Züge	m	Wertebereich: $X >= 0$

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Einheit	Wertebereich
Graben	Erfordernis für betretbaren Arbeitsraum im Graben (zus. Breite)	Röhrenverlegung 1 Zug	m	Wertebereich: $X >= 0$
Graben	Erfordernis für betretbaren Arbeitsraum im Graben (zus. Breite)	Röhrenverlegung 2 Züge	m	Wertebereich: $X >= 0$
Graben	Erfordernis für betretbaren Arbeitsraum im Graben (zus. Breite)	Röhrenverlegung 4 Züge	m	Wertebereich: $X >= 0$
Graben	Erfordernis für betretbaren Arbeitsraum im Graben (zus. Breite)	Röhrenverlegung 6 Züge	m	Wertebereich: $X >= 0$
Graben	Erfordernis für betretbaren Arbeitsraum im Graben (zus. Breite)	Röhrenverlegung 12 Züge	m	Wertebereich: $X >= 0$
Graben	Erfordernis für betretbaren Arbeitsraum im Graben (zus. Breite)	Röhrenverlegung 24 Züge	m	Wertebereich: $X >= 0$
Graben	Erfordernis für betretbaren Arbeitsraum im Graben (zus. Breite)	Röhrenverlegung 48 Züge	m	Wertebereich: $X >= 0$
Graben	Erfordernis für betretbaren Arbeitsraum im Graben (zus. Breite)	Röhrenverlegung 96 Züge	m	Wertebereich: $X >= 0$

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Einheit	Wertebereich
Graben	Erfordernis für betretbaren Arbeitsraum im Graben (zus. Breite)	Mikrorohr-Erdverlegung 1 Zug	m	Wertebereich: $X >= 0$
Graben	Erfordernis für betretbaren Arbeitsraum im Graben (zus. Breite)	Mikrorohr-Erdverlegung 2 Züge	m	Wertebereich: $X >= 0$
Graben	Erfordernis für betretbaren Arbeitsraum im Graben (zus. Breite)	Mikrorohr-Erdverlegung 4 Züge	m	Wertebereich: $X >= 0$
Graben	Erfordernis für betretbaren Arbeitsraum im Graben (zus. Breite)	Mikrorohr-Erdverlegung 6 Züge	m	Wertebereich: $X >= 0$
Graben	Erfordernis für betretbaren Arbeitsraum im Graben (zus. Breite)	Mikrorohr-Erdverlegung 12 Züge	m	Wertebereich: $X >= 0$
Graben	Erfordernis für betretbaren Arbeitsraum im Graben (zus. Breite)	Mikrorohr-Erdverlegung 24 Züge	m	Wertebereich: $X >= 0$
Graben	Erfordernis für betretbaren Arbeitsraum im Graben (zus. Breite)	Mikrorohr-Erdverlegung 48 Züge	m	Wertebereich: $X >= 0$
Graben	Erfordernis für betretbaren Arbeitsraum im Graben (zus. Breite)	Mikrorohr-Erdverlegung 96 Züge	m	Wertebereich: $X >= 0$
Graben	Grenzwert	Minimale Zugzahl Röhrenverlegung	1	Wertebereich: $1 <= X <= 96$
Graben	Grenzwert	Maximale Zugzahl Röhrenverlegung	1	Wertebereich: $1 <= X <= 96$
Graben	Grenzwert	Minimale Zugzahl Mikrorohr-Erdverle	1	Wertebereich: $1 <= X <= 96$
Graben	Grenzwert	Maximale Zugzahl Mikrorohr-Erdverle	1	Wertebereich: $1 <= X <= 96$

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Einheit	Wertebereich
Grube Röhrenverlegung	Zusätzliches Grubenmaß für Kabelschächte 01 Zug	Breite	m	Wertebereich: $X \geq 0$
Grube Röhrenverlegung	Zusätzliches Grubenmaß für Kabelschächte 01 Zug	Länge	m	Wertebereich: $X \geq 0$
Grube Röhrenverlegung	Zusätzliches Grubenmaß für Kabelschächte 01 Zug	Tiefe	m	Wertebereich: $X \geq 0$
Grube Röhrenverlegung	Zusätzliches Grubenmaß für Kabelschächte 02 Züge	Breite	m	Wertebereich: $X \geq 0$
Grube Röhrenverlegung	Zusätzliches Grubenmaß für Kabelschächte 02 Züge	Länge	m	Wertebereich: $X \geq 0$
Grube Röhrenverlegung	Zusätzliches Grubenmaß für Kabelschächte 02 Züge	Tiefe	m	Wertebereich: $X \geq 0$
Grube Röhrenverlegung	Zusätzliches Grubenmaß für Kabelschächte 04 Züge	Breite	m	Wertebereich: $X \geq 0$
Grube Röhrenverlegung	Zusätzliches Grubenmaß für Kabelschächte 04 Züge	Länge	m	Wertebereich: $X \geq 0$
Grube Röhrenverlegung	Zusätzliches Grubenmaß für Kabelschächte 04 Züge	Tiefe	m	Wertebereich: $X \geq 0$
Grube Röhrenverlegung	Zusätzliches Grubenmaß für Kabelschächte 06 Züge	Breite	m	Wertebereich: $X \geq 0$
Grube Röhrenverlegung	Zusätzliches Grubenmaß für Kabelschächte 06 Züge	Länge	m	Wertebereich: $X \geq 0$
Grube Röhrenverlegung	Zusätzliches Grubenmaß für Kabelschächte 06 Züge	Tiefe	m	Wertebereich: $X \geq 0$
Grube Röhrenverlegung	Zusätzliches Grubenmaß für Kabelschächte 12 Züge	Breite	m	Wertebereich: $X \geq 0$
Grube Röhrenverlegung	Zusätzliches Grubenmaß für Kabelschächte 12 Züge	Länge	m	Wertebereich: $X \geq 0$
Grube Röhrenverlegung	Zusätzliches Grubenmaß für Kabelschächte 12 Züge	Tiefe	m	Wertebereich: $X \geq 0$
Grube Röhrenverlegung	Zusätzliches Grubenmaß für Kabelschächte 24 Züge	Breite	m	Wertebereich: $X \geq 0$

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Einheit	Wertebereich
Grube Röhrenverlegung	Zusätzliches Grubenmaß für Kabelschächte 24 Züge	Länge	m	Wertebereich: $X >= 0$
Grube Röhrenverlegung	Zusätzliches Grubenmaß für Kabelschächte 24 Züge	Tiefe	m	Wertebereich: $X >= 0$
Grube Röhrenverlegung	Zusätzliches Grubenmaß für Kabelschächte 48 Züge	Breite	m	Wertebereich: $X >= 0$
Grube Röhrenverlegung	Zusätzliches Grubenmaß für Kabelschächte 48 Züge	Länge	m	Wertebereich: $X >= 0$
Grube Röhrenverlegung	Zusätzliches Grubenmaß für Kabelschächte 48 Züge	Tiefe	m	Wertebereich: $X >= 0$
Grube Röhrenverlegung	Zusätzliches Grubenmaß für Kabelschächte 96 Züge	Breite	m	Wertebereich: $X >= 0$
Grube Röhrenverlegung	Zusätzliches Grubenmaß für Kabelschächte 96 Züge	Länge	m	Wertebereich: $X >= 0$
Grube Röhrenverlegung	Zusätzliches Grubenmaß für Kabelschächte 96 Züge	Tiefe	m	Wertebereich: $X >= 0$
Oberfläche	Asphalt (Fahrbahn)	Höhe	m	Wertebereich: $X >= 0$
Unterbau Oberfläche	Asphalt (Fahrbahn)	Höhe	m	Wertebereich: $X >= 0$
Überhang	Asphalt (Fahrbahn)	Zusätzliche Breite	m	Wertebereich: $X >= 0$
Oberfläche	Asphalt (Gehweg)	Höhe	m	Wertebereich: $X >= 0$
Unterbau Oberfläche	Asphalt (Gehweg)	Höhe	m	Wertebereich: $X >= 0$
Überhang	Asphalt (Gehweg)	Zusätzliche Breite	m	Wertebereich: $X >= 0$
Oberfläche	Grünfläche	Höhe	m	Wertebereich: $X = 0$
Unterbau Oberfläche	Grünfläche	Höhe	m	Wertebereich: $X >= 0$
Überhang	Grünfläche	Zusätzliche Breite	m	Wertebereich: $X >= 0$
Oberfläche	Pflaster	Höhe	m	Wertebereich: $X >= 0$
Unterbau Oberfläche	Pflaster	Höhe	m	Wertebereich: $X >= 0$
Überhang	Pflaster	Zusätzliche Breite	m	Wertebereich: $X >= 0$
Oberfläche	Platten	Höhe	m	Wertebereich: $X >= 0$
Unterbau Oberfläche	Platten	Höhe	m	Wertebereich: $X >= 0$
Überhang	Platten	Zusätzliche Breite	m	Wertebereich: $X >= 0$
Röhrenverlegung	Sandbett	Höhe	m	Wertebereich: $X >= 0$

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Einheit	Wertebereich
Allgemein	Tätigkeit	Planung und Bauvorbereitung	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Kabelgraben	Ausheben und lagern	Preis je Kubikmeter	EUR/m ³	Wertebereich: X >= 0
Kabelgraben	Verfüllen und verdichten	Preis je Kubikmeter	EUR/m ³	Wertebereich: X >= 0
Oberfläche	Aufnehmen, Lagern und Entsorgen	Asphalt (Fahrbahn)	EUR/m ²	Wertebereich: X >= 0
Oberfläche	Wiederherstellen	Asphalt (Fahrbahn)	EUR/m ²	Wertebereich: X >= 0
Oberfläche	Aufnehmen, Lagern und Entsorgen	Asphalt (Gehweg)	EUR/m ²	Wertebereich: X >= 0
Oberfläche	Wiederherstellen	Asphalt (Gehweg)	EUR/m ²	Wertebereich: X >= 0
Oberfläche	Aufnehmen, Lagern und Entsorgen	Grünfläche	EUR/m ³	Wertebereich: X >= 0
Oberfläche	Wiederherstellen	Grünfläche	EUR/m ²	Wertebereich: X >= 0
Oberfläche	Aufnehmen, Lagern und Entsorgen	Pflasterdecke	EUR/m ²	Wertebereich: X >= 0
Oberfläche	Wiederherstellen	Pflasterdecke	EUR/m ²	Wertebereich: X >= 0
Oberfläche	Aufnehmen, Lagern und Entsorgen	Plattenbeläge	EUR/m ²	Wertebereich: X >= 0
Oberfläche	Wiederherstellen	Plattenbeläge	EUR/m ²	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Sandbett	Einbringen eines Sandbettes	EUR/m ³	Wertebereich: X >= 0
Verlegung	Abschlag alternative Tiefbautechniken	Faktor	1	Wertebereich: 0 < X <= 1
Verlegung	Anteil alternativer Tiefbautechniken	Anteil	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Verlegung	Abschlag mindertiefe Verlegung	Faktor	1	Wertebereich: 0 < X <= 1
Verlegung	Anteil mindertiefe Verlegung	Anteil	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Straßenquerung	Abschlag alternative Tiefbautechniken	Faktor	1	Wertebereich: 0 < X <= 1
Straßenquerung	Anteil alternativer Tiefbautechniken	Anteil	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Einschätzung	Anwendung alternativer Tiefbautechniken im Anschlussbereich	bis zu welcher Anzahl Anschlüsse	1	Wertebereich: X >= 0
Einschätzung	Anwendung alternativer Tiefbautechniken im Anschlussbereich	bis zu welcher Anzahl Anschlüsse/km ²	1	Wertebereich: X >= 0
Einschätzung	Anwendung mindertiefer Verlegung im Anschlussbereich	bis zu welcher Anzahl Anschlüsse	1	Wertebereich: X >= 0
Einschätzung	Anwendung mindertiefer Verlegung im Anschlussbereich	bis zu welcher Anzahl Anschlüsse/km ²	1	Wertebereich: X >= 0
Hauszuführung	Tiefbau Hauszuführung	Durchschnittliche Tiefbaupreise auf privatem Grund	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Graben	Material- und Verlegepreis	Preis je Meter Trassenband	EUR/m	Wertebereich: X >= 0

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Einheit	Wertebereich
Beilauf HK	Erdverlegung	extern	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Beilauf HK	Erdverlegung (Verbindungsnetz/Breitbandnetz)	intern	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Beilauf HK	Erdverlegung (andere Anschlussnetze)	intern	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Beilauf VZK	Erdverlegung	extern	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Beilauf VZK	Erdverlegung (Verbindungsnetz/Breitbandnetz)	intern	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Beilauf VZK	Erdverlegung (andere Anschlussnetze)	intern	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Beilauf HK	Kabelkanalanlagen	extern	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Beilauf HK	Kabelkanalanlagen (Verbindungsnetz/Breitbandnetz)	intern	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Beilauf HK	Kabelkanalanlagen (andere Anschlussnetze)	intern	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Beilauf VZK	Kabelkanalanlagen	extern	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Beilauf VZK	Kabelkanalanlagen (Verbindungsnetz/Breitbandnetz)	intern	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Beilauf VZK	Kabelkanalanlagen (andere Anschlussnetze)	intern	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Beilauf	Hauszuführung	Anteil des Netzbetreibers an der Kostenträgerschaft	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Beilauf	Hauszuführung	Beilauf in der Hauszuführung	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Einheit	Wertebereich
Mikrorohr	erdverlegt (inkl. Nagetierverschutz)	durchschnittlicher Preis	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Mikrorohr	röhrenverlegt	durchschnittlicher Preis	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
PVC Rohr (DN110)	Installation	Preis	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
PVC Rohr (DN110)	Material	Preis	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
PVC Rohr	Parameter	Installationspreis Rohrteiler incl. Material	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
PVC Rohr (DN50)	Installation	Preis	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
PVC Rohr (DN50)	Material	Preis	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Schachtmaß 1 Zug	Breite	m	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Schachtmaß 1 Zug	Länge	m	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Schachtmaß 1 Zug	Tiefe	m	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Schachtmaß 2 Züge	Breite	m	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Schachtmaß 2 Züge	Länge	m	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Schachtmaß 2 Züge	Tiefe	m	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Schachtmaß 4 Züge	Breite	m	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Schachtmaß 4 Züge	Länge	m	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Schachtmaß 4 Züge	Tiefe	m	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Schachtmaß 6 Züge	Breite	m	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Schachtmaß 6 Züge	Länge	m	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Schachtmaß 6 Züge	Tiefe	m	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Schachtmaß 12 Züge	Breite	m	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Schachtmaß 12 Züge	Länge	m	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Schachtmaß 12 Züge	Tiefe	m	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Schachtmaß 24 Züge	Breite	m	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Schachtmaß 24 Züge	Länge	m	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Schachtmaß 24 Züge	Tiefe	m	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Schachtmaß 48 Züge	Breite	m	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Schachtmaß 48 Züge	Länge	m	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Schachtmaß 48 Züge	Tiefe	m	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Schachtmaß 96 Züge	Breite	m	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Schachtmaß 96 Züge	Länge	m	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Schachtmaß 96 Züge	Tiefe	m	Wertebereich: X >= 0

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Einheit	Wertebereich
Kabelschacht	Einbaupreis	01 Zug	EUR	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Einbaupreis	02 Züge	EUR	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Einbaupreis	04 Züge	EUR	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Einbaupreis	06 Züge	EUR	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Einbaupreis	12 Züge	EUR	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Einbaupreis	24 Züge	EUR	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Einbaupreis	48 Züge	EUR	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Einbaupreis	96 Züge	EUR	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Materialpreis	01 Zug	EUR	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Materialpreis	02 Züge	EUR	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Materialpreis	04 Züge	EUR	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Materialpreis	06 Züge	EUR	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Materialpreis	12 Züge	EUR	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Materialpreis	24 Züge	EUR	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Materialpreis	48 Züge	EUR	Wertebereich: X >= 0
Kabelschacht	Materialpreis	96 Züge	EUR	Wertebereich: X >= 0

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Einheit	Wertebereich
Aufschlagsatz	Hauptkabelnetz	Zuschlagsatz für nachfragebedingte Reservekapazitäten	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Aufschlagsatz	Verzweigerkabelnetz	Zuschlagsatz für nachfragebedingte Reservekapazitäten	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Aufschlagsatz	Hauptkabelnetz	Zuschlagsatz für technische Reservekapazitäten	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Aufschlagsatz	Verzweigerkabelnetz	Zuschlagsatz für technische Reservekapazitäten	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Netzstruktur	Hauptkabelnetz (Erdverlegung)	Abstand zwischen Verbindungsmuffen	m	Wertebereich: X >= 0
Netzstruktur	Verzweigerkabelnetz (Erdverlegung)	Abstand zwischen Verbindungsmuffen	m	Wertebereich: X >= 0
Netzstruktur	Hauptkabelnetz (Röhrenverlegung)	Abstand zwischen Verbindungsmuffen	m	Wertebereich: X >= 0
Netzstruktur	Verzweigerkabelnetz (Röhrenverlegung)	Abstand zwischen Verbindungsmuffen	m	Wertebereich: X >= 0

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Einheit	Wertebereich
Aufschlagsatz	Hauptkabelnetz	Zuschlagsatz für nachfragebedingte Reservekapazitäten	%	Wertebereich: $0 \leq X \leq 100$
Aufschlagsatz	Verzweigerkabelnetz	Zuschlagsatz für nachfragebedingte Reservekapazitäten	%	Wertebereich: $0 \leq X \leq 100$
Aufschlagsatz	Hauptkabelnetz	Zuschlagsatz für technische Reservekapazitäten	%	Wertebereich: $0 \leq X \leq 100$
Aufschlagsatz	Verzweigerkabelnetz	Zuschlagsatz für technische Reservekapazitäten	%	Wertebereich: $0 \leq X \leq 100$
Netzstruktur	Hauptkabelnetz (Erdverlegung)	Abstand Verbindungsstellen	m	Wertebereich: $X \geq 0$
Netzstruktur	Hauptkabelnetz (Röhrenverlegung)	Abstand Verbindungsstellen	m	Wertebereich: $X \geq 0$
Netzstruktur	Hauptkabelnetz (Mikrorohr-Erdverlegung)	Abstand Verbindungsstellen	m	Wertebereich: $X \geq 0$
Netzstruktur	Hauptkabelnetz (Mikrorohr-Röhrenverlegung)	Abstand Verbindungsstellen	m	Wertebereich: $X \geq 0$
Netzstruktur	Zugreserve Glasfaserkabel	Zuschlagsatz für die Kabellänge an Rangierpunkten	%	Wertebereich: $0 \leq X \leq 100$
Netzstruktur	Einblaslängen Glasfaserkabel	maximale Einblaslängen	m	Wertebereich: $X \geq 0$

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Einheit	Wertebereich
Hauptverteiler	Investitionswert	Invest pro CuDA	EUR	Wertebereich: X >= 0
Hauptverteiler	Investitionswert	Fixer Invest je HVt mit MDF ~1.000DA	EUR	Wertebereich: X >= 0
Hauptverteiler	Investitionswert	Fixer Invest je HVt mit MDF ~5.000DA	EUR	Wertebereich: X >= 0
Hauptverteiler	Investitionswert	Fixer Invest je HVt mit MDF ~10.000DA	EUR	Wertebereich: X >= 0
Hauptverteiler	Investitionswert	Fixer Invest je HVt mit MDF ~20.000DA	EUR	Wertebereich: X >= 0

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Einheit	Wertebereich
Verteiler (ODF)	Investitionswert	Invest pro Faser	EUR	Wertebereich: X >= 0
Verteiler (ODF)	Investitionswert	Fixer Invest je HVt mit ODF ~ 50 Fasern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Verteiler (ODF)	Investitionswert	Fixer Invest je HVt mit ODF ~ 200 Fasern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Verteiler (ODF)	Investitionswert	Fixer Invest je HVt mit ODF ~ 500 Fasern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Verteiler (ODF)	Investitionswert	Fixer Invest je HVt mit ODF ~ 2.000 Fasern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Kapazität G-fast DSLAM	Max. Capacity	FTTB	1	Wertebereich: X >= 0
Kapazität Splitter	Max. Capacity	FTTH GPON Splitter	1	Wertebereich: X >= 0
Kapazität MSAN	Max. Capacity	FTTC	1	Wertebereich: X >= 0

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Einheit	Wertebereich
Erdverlegung	Preis für Kabel	10 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Preis für Kabel	20 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Preis für Kabel	30 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Preis für Kabel	50 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Preis für Kabel	100 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Preis für Kabel	200 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Preis für Kabel	300 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Preis für Kabel	500 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Preis für Kabel	800 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Preis für Kabel	1000 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Preis für Kabel	1200 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Preis für Kabel	1500 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Preis für Kabel	2000 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Preis für Kabel	10 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Preis für Kabel	20 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Preis für Kabel	30 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Preis für Kabel	50 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Preis für Kabel	100 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Preis für Kabel	200 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Preis für Kabel	300 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Preis für Kabel	500 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Preis für Kabel	800 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Preis für Kabel	1000 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Preis für Kabel	1200 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Preis für Kabel	1500 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Preis für Kabel	2000 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Einheit	Wertebereich
Erdverlegung	Verlegepreis	10 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Verlegepreis	20 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Verlegepreis	30 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Verlegepreis	50 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Verlegepreis	100 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Verlegepreis	200 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Verlegepreis	300 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Verlegepreis	500 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Verlegepreis	800 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Verlegepreis	1000 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Verlegepreis	1200 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Verlegepreis	1500 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Verlegepreis	2000 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Verlegepreis	10 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Verlegepreis	20 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Verlegepreis	30 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Verlegepreis	50 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Verlegepreis	100 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Verlegepreis	200 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Verlegepreis	300 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Verlegepreis	500 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Verlegepreis	800 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Verlegepreis	1000 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Verlegepreis	1200 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Verlegepreis	1500 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Verlegepreis	2000 Doppeladern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Einheit	Wertebereich
Erdverlegung	Preis für Kabel	4 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Preis für Kabel	8 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Preis für Kabel	12 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Preis für Kabel	24 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Preis für Kabel	48 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Preis für Kabel	96 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Preis für Kabel	144 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Preis für Kabel	192 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Preis für Kabel	216 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Preis für Kabel	288 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Preis für Kabel	480 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Preis für Kabel	576 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Preis für Kabel	1156 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Verlegepreis	4 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Verlegepreis	8 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Verlegepreis	12 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Verlegepreis	24 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Verlegepreis	48 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Verlegepreis	96 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Verlegepreis	144 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Verlegepreis	192 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Verlegepreis	216 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Verlegepreis	288 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Verlegepreis	480 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Verlegepreis	576 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegung	Verlegepreis	1156 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Einheit	Wertebereich
Erdverlegbare Mikrorohrverbände	Preis für Kabel	4 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegbare Mikrorohrverbände	Preis für Kabel	8 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegbare Mikrorohrverbände	Preis für Kabel	12 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegbare Mikrorohrverbände	Preis für Kabel	24 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegbare Mikrorohrverbände	Preis für Kabel	48 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegbare Mikrorohrverbände	Preis für Kabel	96 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegbare Mikrorohrverbände	Preis für Kabel	144 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegbare Mikrorohrverbände	Preis für Kabel	192 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegbare Mikrorohrverbände	Preis für Kabel	216 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegbare Mikrorohrverbände	Preis für Kabel	288 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegbare Mikrorohrverbände	Preis für Kabel	480 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegbare Mikrorohrverbände	Preis für Kabel	576 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegbare Mikrorohrverbände	Preis für Kabel	1156 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegbare Mikrorohrverbände	Verlegepreis	4 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegbare Mikrorohrverbände	Verlegepreis	8 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegbare Mikrorohrverbände	Verlegepreis	12 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegbare Mikrorohrverbände	Verlegepreis	24 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegbare Mikrorohrverbände	Verlegepreis	48 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegbare Mikrorohrverbände	Verlegepreis	96 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegbare Mikrorohrverbände	Verlegepreis	144 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegbare Mikrorohrverbände	Verlegepreis	192 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegbare Mikrorohrverbände	Verlegepreis	216 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegbare Mikrorohrverbände	Verlegepreis	288 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegbare Mikrorohrverbände	Verlegepreis	480 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegbare Mikrorohrverbände	Verlegepreis	576 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Erdverlegbare Mikrorohrverbände	Verlegepreis	1156 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Einheit	Wertebereich
Mikrorohr-in-Rohr-Verlegung	Preis für Kabel	4 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Mikrorohr-in-Rohr-Verlegung	Preis für Kabel	8 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Mikrorohr-in-Rohr-Verlegung	Preis für Kabel	12 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Mikrorohr-in-Rohr-Verlegung	Preis für Kabel	24 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Mikrorohr-in-Rohr-Verlegung	Preis für Kabel	48 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Mikrorohr-in-Rohr-Verlegung	Preis für Kabel	96 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Mikrorohr-in-Rohr-Verlegung	Preis für Kabel	144 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Mikrorohr-in-Rohr-Verlegung	Preis für Kabel	192 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Mikrorohr-in-Rohr-Verlegung	Preis für Kabel	216 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Mikrorohr-in-Rohr-Verlegung	Preis für Kabel	288 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Mikrorohr-in-Rohr-Verlegung	Preis für Kabel	480 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Mikrorohr-in-Rohr-Verlegung	Preis für Kabel	576 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Mikrorohr-in-Rohr-Verlegung	Preis für Kabel	1156 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Mikrorohr-in-Rohr-Verlegung	Verlegepreis	4 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Mikrorohr-in-Rohr-Verlegung	Verlegepreis	8 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Mikrorohr-in-Rohr-Verlegung	Verlegepreis	12 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Mikrorohr-in-Rohr-Verlegung	Verlegepreis	24 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Mikrorohr-in-Rohr-Verlegung	Verlegepreis	48 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Mikrorohr-in-Rohr-Verlegung	Verlegepreis	96 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Mikrorohr-in-Rohr-Verlegung	Verlegepreis	144 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Mikrorohr-in-Rohr-Verlegung	Verlegepreis	192 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Mikrorohr-in-Rohr-Verlegung	Verlegepreis	216 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Mikrorohr-in-Rohr-Verlegung	Verlegepreis	288 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Mikrorohr-in-Rohr-Verlegung	Verlegepreis	480 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Mikrorohr-in-Rohr-Verlegung	Verlegepreis	576 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Mikrorohr-in-Rohr-Verlegung	Verlegepreis	1156 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Einheit	Wertebereich
Röhrenverlegung	Preis für Kabel	4 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Preis für Kabel	8 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Preis für Kabel	12 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Preis für Kabel	24 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Preis für Kabel	48 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Preis für Kabel	96 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Preis für Kabel	144 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Preis für Kabel	192 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Preis für Kabel	216 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Preis für Kabel	288 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Preis für Kabel	480 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Preis für Kabel	576 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Preis für Kabel	1156 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Verlegepreis	4 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Verlegepreis	8 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Verlegepreis	12 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Verlegepreis	24 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Verlegepreis	48 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Verlegepreis	96 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Verlegepreis	144 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Verlegepreis	192 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Verlegepreis	216 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Verlegepreis	288 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Verlegepreis	480 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Verlegepreis	576 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Röhrenverlegung	Verlegepreis	1156 Fasern	EUR/m	Wertebereich: X >= 0
Kosten für kaskadiertes einblasen	Ø Preis pro Kabel und Relation (ODF - Faserverteiler bzw. Faserverzweiger - EVZ)	Preis	EUR	Wertebereich: X >= 0

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Wert	Einheit	Wertebereich
Kabel pro Zug	Kuperkabel	Anzahl CuDA	2000	1	Wertebereich: X = 2000

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Wert (WIK)	Einheit	Wertebereich
Kabel pro Zug	Erdverlegung	4 Fasern	72	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Erdverlegung	8 Fasern	72	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Erdverlegung	12 Fasern	72	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Erdverlegung	24 Fasern	72	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Erdverlegung	48 Fasern	40	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Erdverlegung	96 Fasern	40	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Erdverlegung	144 Fasern	20	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Erdverlegung	192 Fasern	16	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Erdverlegung	216 Fasern	16	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Erdverlegung	288 Fasern	16	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Erdverlegung	480 Fasern	4	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Erdverlegung	576 Fasern	4	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Erdverlegung	1156 Fasern	4	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Erdverlegung Mikrorohr	4 Fasern	72	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Erdverlegung Mikrorohr	8 Fasern	72	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Erdverlegung Mikrorohr	12 Fasern	72	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Erdverlegung Mikrorohr	24 Fasern	72	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Erdverlegung Mikrorohr	48 Fasern	40	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Erdverlegung Mikrorohr	96 Fasern	40	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Erdverlegung Mikrorohr	144 Fasern	20	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Erdverlegung Mikrorohr	192 Fasern	16	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Erdverlegung Mikrorohr	216 Fasern	16	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Erdverlegung Mikrorohr	288 Fasern	16	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Erdverlegung Mikrorohr	480 Fasern	4	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Erdverlegung Mikrorohr	576 Fasern	4	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Erdverlegung Mikrorohr	1156 Fasern	4	1	Wertebereich: X >=1

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Wert (WIK)	Einheit	Wertebereich
Kabel pro Zug	Röhrenverlegung Mikrorohr	4 Fasern	72	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Röhrenverlegung Mikrorohr	8 Fasern	72	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Röhrenverlegung Mikrorohr	12 Fasern	72	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Röhrenverlegung Mikrorohr	24 Fasern	72	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Röhrenverlegung Mikrorohr	48 Fasern	40	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Röhrenverlegung Mikrorohr	96 Fasern	40	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Röhrenverlegung Mikrorohr	144 Fasern	20	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Röhrenverlegung Mikrorohr	192 Fasern	16	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Röhrenverlegung Mikrorohr	216 Fasern	16	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Röhrenverlegung Mikrorohr	288 Fasern	16	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Röhrenverlegung Mikrorohr	480 Fasern	4	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Röhrenverlegung Mikrorohr	576 Fasern	4	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Röhrenverlegung Mikrorohr	1156 Fasern	4	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Röhrenverlegung	4 Fasern	72	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Röhrenverlegung	8 Fasern	72	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Röhrenverlegung	12 Fasern	72	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Röhrenverlegung	24 Fasern	72	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Röhrenverlegung	48 Fasern	40	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Röhrenverlegung	96 Fasern	40	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Röhrenverlegung	144 Fasern	20	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Röhrenverlegung	192 Fasern	16	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Röhrenverlegung	216 Fasern	16	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Röhrenverlegung	288 Fasern	16	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Röhrenverlegung	480 Fasern	4	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Röhrenverlegung	576 Fasern	4	1	Wertebereich: X >=1
Kabel pro Zug	Röhrenverlegung	1156 Fasern	4	1	Wertebereich: X >=1

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Einheit	Wertebereich
Kabelschächte	Röhrenkabelverlegung	∅ Schachtabstand	m	Wertebereich: X >= 0
Verlegearten	Erdkabelverlegung	Anteil	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Verlegearten	Röhrenkabelverlegung	Anteil	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
		Kontrolle		100%

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Einheit	Wertebereich
Kabelschacht	Röhrenverlegung	∅ Abstand	m	Wertebereich: X >= 400
Verlegearten	Erdkabelverlegung	Anteil	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Verlegearten	Mikrorohr Erdverlegung	Anteil	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Verlegearten	Mikrorohr in Rohrverlegung	Anteil	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Verlegearten	Röhrenkabelverlegung	Anteil	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
		Kontrolle		100%

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Einheit	Wertebereich
Kabelverzweiger	Endverschlussleiste (100 DA)	Invest pro Endverschlussleiste	EUR	Wertebereich: X >= 0
Kabelverzweiger	KVz Typ1 (Cu)	Material- und Installationspreis für KVz	EUR	Wertebereich: X >= 0
Kabelverzweiger	KVz Typ1 (Cu)	Material- und Installationspreis für KVz	EUR	Wertebereich: X >= 0
Kabelverzweiger	KVz Typ1/Typ2 (CU)	Installation pro CuDA	EUR	Wertebereich: X >= 0
Kabelschächte	Röhrenkabelverlegung	⊗ Schachtabstand	m	Wertebereich: X >= 0
Verlegearten	Erdverlegung	Anteil	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Verlegearten	Röhrenkabelverlegung	Anteil	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
		Kontrolle		100%

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Einheit	Wertebereich
Faserverzweiger	FTTB GPON Typ1	Material- und Installationspreis für FVz	EUR	Wertebereich: X >= 0
Faserverzweiger	FTTB GPON Typ2	Material- und Installationspreis für FVz	EUR	Wertebereich: X >= 0
Faserverzweiger	Preis pro Faser (alle KVz Typen)	Invest pro Faser (Spleißkosten)	EUR	Wertebereich: X >= 0
Faserverzweiger	FTTC Typ1	Material- und Installationspreis für FVz	EUR	Wertebereich: X >= 0
Faserverzweiger	FTTC Typ2	Material- und Installationspreis für FVz	EUR	Wertebereich: X >= 0
Faserverzweiger	FTTH/B Typ1	Material- und Installationspreis für FVz	EUR	Wertebereich: X >= 0
Faserverzweiger	FTTH/B Typ2	Material- und Installationspreis für FVz	EUR	Wertebereich: X >= 0
Faserverzweiger	Splitter	Preis pro Splitter (Material und Montage)	EUR	Wertebereich: X >= 0
Kabelschächte	Röhrenkabelverlegung	∅ Schachtabstand	m	Wertebereich: X >= 0
Verlegearten	Erdverlegung	Anteil	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Verlegearten	Röhrenkabelverlegung	Anteil	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Verlegearten	Mikrorohr Erdverlegung	Anteil	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
Verlegearten	Mikrorohr in Rohrverlegung	Anteil	%	Wertebereich: 0 <= X <= 100
		Kontrolle		100%

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Einheit	Wertebereich
Preise	Materialpreis für DAV	10 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Materialpreis für DAV	20 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Materialpreis für DAV	30 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Materialpreis für DAV	50 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Materialpreis für DAV	100 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Materialpreis für DAV	200 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Materialpreis für DAV	300 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Materialpreis für DAV	500 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Materialpreis für DAV	800 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Materialpreis für DAV	1000 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Materialpreis für DAV	1200 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Materialpreis für DAV	1500 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Materialpreis für DAV	2000 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Material- und Montagepreis je Schutzmuffe	10 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Material- und Montagepreis je Schutzmuffe	20 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Material- und Montagepreis je Schutzmuffe	30 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Material- und Montagepreis je Schutzmuffe	50 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Material- und Montagepreis je Schutzmuffe	100 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Material- und Montagepreis je Schutzmuffe	200 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Material- und Montagepreis je Schutzmuffe	300 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Material- und Montagepreis je Schutzmuffe	500 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Material- und Montagepreis je Schutzmuffe	800 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Material- und Montagepreis je Schutzmuffe	1000 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Material- und Montagepreis je Schutzmuffe	1200 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Material- und Montagepreis je Schutzmuffe	1500 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Material- und Montagepreis je Schutzmuffe	2000 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Installation	Installationspreis für DAV	Ø Kosten je Doppelader (Arbeitslohn)	EUR	Wertebereich: X >= 0

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Einheit	Wertebereich
Abzweigmuffe Kapazität	Max. Anzahl abzweigende Endkabel	pro Abzweigmuffe	1	Wertebereich: X >= 0
Grube Erdverlegung	Zusätzliche Kosten für Tiefbauarbeiten je Schutzmuffe	10 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Grube Erdverlegung	Zusätzliche Kosten für Tiefbauarbeiten je Schutzmuffe	20 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Grube Erdverlegung	Zusätzliche Kosten für Tiefbauarbeiten je Schutzmuffe	30 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Grube Erdverlegung	Zusätzliche Kosten für Tiefbauarbeiten je Schutzmuffe	50 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Grube Erdverlegung	Zusätzliche Kosten für Tiefbauarbeiten je Schutzmuffe	100 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Grube Erdverlegung	Zusätzliche Kosten für Tiefbauarbeiten je Schutzmuffe	200 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Grube Erdverlegung	Zusätzliche Kosten für Tiefbauarbeiten je Schutzmuffe	300 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Grube Erdverlegung	Zusätzliche Kosten für Tiefbauarbeiten je Schutzmuffe	500 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Grube Erdverlegung	Zusätzliche Kosten für Tiefbauarbeiten je Schutzmuffe	800 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Grube Erdverlegung	Zusätzliche Kosten für Tiefbauarbeiten je Schutzmuffe	1000 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Grube Erdverlegung	Zusätzliche Kosten für Tiefbauarbeiten je Schutzmuffe	1200 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Grube Erdverlegung	Zusätzliche Kosten für Tiefbauarbeiten je Schutzmuffe	1500 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Grube Erdverlegung	Zusätzliche Kosten für Tiefbauarbeiten je Schutzmuffe	2000 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Einheit	Wertebereich
Preise	Material- und Montagepreis je Schutzmuffe	4 Fasern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Material- und Montagepreis je Schutzmuffe	8 Fasern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Material- und Montagepreis je Schutzmuffe	12 Fasern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Material- und Montagepreis je Schutzmuffe	24 Fasern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Material- und Montagepreis je Schutzmuffe	48 Fasern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Material- und Montagepreis je Schutzmuffe	96 Fasern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Material- und Montagepreis je Schutzmuffe	144 Fasern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Material- und Montagepreis je Schutzmuffe	192 Fasern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Material- und Montagepreis je Schutzmuffe	216 Fasern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Material- und Montagepreis je Schutzmuffe	288 Fasern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Material- und Montagepreis je Schutzmuffe	480 Fasern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Material- und Montagepreis je Schutzmuffe	576 Fasern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Preise	Material- und Montagepreis je Schutzmuffe	1156 Fasern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Installation	Installationspreis für EF (Spleißen)	Arbeitslohn je Faser	EUR	Wertebereich: X >= 0

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Einheit	Wertebereich
Endverzweiger	Installationspreis je CuDA	Preis je Kupferdoppelader	EUR/CuDA	Wertebereich: X >= 0
Endverzweiger	Materialpreis für einen Endverzweiger u. Montage	10 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Endverzweiger	Materialpreis für einen Endverzweiger u. Montage	20 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Endverzweiger	Materialpreis für einen Endverzweiger u. Montage	30 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Endverzweiger	Materialpreis für einen Endverzweiger u. Montage	50 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Endverzweiger	Materialpreis für einen Endverzweiger u. Montage	100 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Endverzweiger	Materialpreis für einen Endverzweiger u. Montage	200 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Endverzweiger	Materialpreis für einen Endverzweiger u. Montage	300 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Endverzweiger	Materialpreis für einen Endverzweiger u. Montage	500 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Endverzweiger	Materialpreis für einen Endverzweiger u. Montage	800 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Endverzweiger	Materialpreis für einen Endverzweiger u. Montage	1000 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Endverzweiger	Materialpreis für einen Endverzweiger u. Montage	1200 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Endverzweiger	Materialpreis für einen Endverzweiger u. Montage	1500 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Endverzweiger	Materialpreis für einen Endverzweiger u. Montage	2000 Doppeladern	EUR	Wertebereich: X >= 0

Kategorie	Bezeichnung	Parameter	Einheit	Wertebereich
Hauszuführung	Abzweig je Endverzweiger (Mikrorohr-Abzweig)	Preis pro Abzweig	EUR	Wertebereich: X >= 0
Endverzweiger	Installationspreis je Faser (Spleißen)	Preis je Glasfaser	EUR/GF	Wertebereich: X >= 0
Endverzweiger	Materialpreis für einen Endverzweiger u. Montage	4 Fasern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Endverzweiger	Materialpreis für einen Endverzweiger u. Montage	8 Fasern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Endverzweiger	Materialpreis für einen Endverzweiger u. Montage	12 Fasern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Endverzweiger	Materialpreis für einen Endverzweiger u. Montage	24 Fasern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Endverzweiger	Materialpreis für einen Endverzweiger u. Montage	48 Fasern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Endverzweiger	Materialpreis für einen Endverzweiger u. Montage	96 Fasern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Endverzweiger	Materialpreis für einen Endverzweiger u. Montage	144 Fasern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Endverzweiger	Materialpreis für einen Endverzweiger u. Montage	192 Fasern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Endverzweiger	Materialpreis für einen Endverzweiger u. Montage	216 Fasern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Endverzweiger	Materialpreis für einen Endverzweiger u. Montage	288 Fasern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Endverzweiger	Materialpreis für einen Endverzweiger u. Montage	480 Fasern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Endverzweiger	Materialpreis für einen Endverzweiger u. Montage	576 Fasern	EUR	Wertebereich: X >= 0
Endverzweiger	Materialpreis für einen Endverzweiger u. Montage	1156 Fasern	EUR	Wertebereich: X >= 0