

Wirtschaftliches Gutachten zu Kosten im Zugangsnetz

Teilgutachten zum Wirtschaftlichen Gutachten
für die Telekom-Control-Kommission
im Verfahren M 1/20
Markt für den lokalen und zentralen Zugang

Gutachter:

Dr. Bernd Hartl

Wien am 08. März 2021

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
1.1	Gutachtensauftrag.....	4
1.2	Gang des Verfahrens	5
1.3	Aufbau des Gutachtens	6
2	Zum verwendeten Kostenrechnungsansatz	7
3	Das Kostenrechnungsmodell	11
3.1	Anforderungen.....	11
3.2	Darstellung des Modells	13
4	Netzmodellierung	14
4.1	Einsatz der Netzmodellierung	14
4.1.1	Cu-Generator	15
4.1.2	Leerrohr-Generator und Fiber-Generator	15
4.1.3	NGA-Solver	15
4.2	Verwendete Geodaten	16
4.3	Inputparameter.....	17
4.3.1	Verfügbare Informationen	17
4.3.2	Datensatz A1TA.....	18
4.3.3	Datensatz TMA.....	19
4.3.4	Datensatz FFG	20
4.3.5	Kritische Würdigung der Datensätze	22
4.4	Skalierung des Anschlussnetzes	22
4.5	Berechnete Szenarien.....	23
5	Die statistische Hochrechnung	25
5.1	Modellselektion	25
5.2	Die erklärenden Modellvariablen	26
5.3	Ergebnisse der statistischen Hochrechnung	28
6	Ermittlung der monatlichen Kosten	29
6.1	Dynamischer Ansatz	29
6.2	Die Parameter des Kostenmoduls	30
6.3	Kapitalkostenzinssatz (WACC).....	31
7	Ergebnisse	34
8	Gutachterliches Fazit	35
9	Schlussbemerkungen	36
10	Anhang A: Verzeichnisse	37

10.1	Literaturverzeichnis	37
10.2	Abbildungsverzeichnis	40
10.3	Tabellenverzeichnis	40
10.4	Formeln	40
10.5	Abkürzungsverzeichnis	41
11	Anhang B: Anschlussbereiche der Stichprobe	42
12	Anhang C: Inputparameter	45
13	Anhang D: Ergebnisse der Netzmodellierung	53
14	Anhang E: Parameter der statistischen Hochrechnung	55

1 Einleitung

1.1 Gutachtensauftrag

In ihrer Sitzung am 16.03.2020 hat die Telekom-Control-Kommission (TKK) im Verfahren M 1/20 folgenden Gutachtensauftrag erteilt:

„Gemäß § 52 AVG werden Dr. Stefan Felder, Dr. Bernd Hartl, Robert Kiraly B.A. B.A., Dr. Martin Lukanowicz, Mag. Paul Pisjak, Dr. Wilhelm Schramm sowie Dr. Anton Schwarz zu Amtssachverständigen bestellt und mit der Erstellung von Gutachten zu folgenden Themen beauftragt:

(1) Abgrenzung von Märkten im Bereich elektronischer Kommunikationsdienste und -netze nach den einschlägigen Grundsätzen des allgemeinen Wettbewerbsrechtes und Prüfung dieser Märkte, inwieweit die Voraussetzungen für die Feststellung als relevante Märkte iSd § 36 TKG 2003 vorliegen. Dabei sind insbesondere die Empfehlung 2014/710/EU der Europäischen Kommission vom 09. Oktober 2014 über relevante Produkt- und Dienstmärkte des elektronischen Kommunikationssektors, die aufgrund der Richtlinie 2002/21/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über einen gemeinsamen Rechtsrahmen für elektronische Kommunikationsnetze und -dienste für eine Vorabregulierung in Betracht kommen (ABl L 295 vom 11.10.2014, S 79) bzw eine allfällige neue Empfehlung über relevante Märkte des elektronischen Kommunikationssektors, die derzeit der Regulierung unterliegenden Märkte sowie die seit Abschluss der zuletzt durchgeführten Verfahren gemäß §§ 36 ff TKG 2003 eingetretenen Entwicklungen zu berücksichtigen.

(2) Prüfung der Voraussetzungen für die Feststellung iSd § 36 TKG 2003, ob auf diesen relevanten Märkten jeweils ein oder mehrere Unternehmen über beträchtliche Marktmacht verfügen oder aber aus wirtschaftlicher Sicht effektiver Wettbewerb gegeben ist. Dabei sind auch jene Faktoren und Wettbewerbsprobleme zu identifizieren, die effektivem Wettbewerb gegebenenfalls entgegenstehen. In diesem Zusammenhang ist das Vorliegen ökonomischer Marktmacht zu untersuchen, wobei insbesondere die Kriterien des § 35 TKG 2003 nach Maßgabe ihrer Relevanz für die betreffenden Märkte zu berücksichtigen sind.

(3) Sollten die Amtssachverständigen Wettbewerbsprobleme identifizieren, werden sie beauftragt, darzulegen, welche konkreten spezifischen Verpflichtungen gemäß §§ 38 bis 45, § 47 oder § 47a TKG 2003 aus ökonomischer Sicht geeignet wären, den Wettbewerbsproblemen zu begegnen. Es ist eine qualitative Bewertung der Auswirkungen geeigneter spezifischer Verpflichtungen in Bezug auf das Prinzip der Verhältnismäßigkeit vorzunehmen und ihr Beitrag zur Förderung effektiven Wettbewerbs bzw zur Beschränkung der Auswirkungen der identifizierten Wettbewerbsprobleme zu erörtern.

Vorgeschlagene spezifische Verpflichtungen sind zu operationalisieren und gegebenenfalls die zugrunde liegenden Parameter (wie etwa Kosten) zu erheben und detailliert darzustellen.

Die Amtssachverständigen haben der Telekom-Control-Kommission regelmäßig über den Stand der Gutachtenserstellung, spätestens jeweils nach Abschluss der Begutachtung der Punkte 1., 2. und 3. zu berichten. Die Amtssachverständigen haben der Telekom-Control-Kommission erstmalig spätestens Ende Juni 2020 über den Stand der Datenerhebungen bzw der Gutachtenserstellung zu berichten.“

Das vorliegende Gutachten widmet sich der Ermittlung von kostenorientierten Entgelten für die virtuelle Entbündelung. Es ergänzt damit das Marktanalysegutachten¹ bei der Abhandlung der Entgeltkontrolle im Rahmen der Operationalisierung spezifischer Verpflichtungen (dritter Punkt des Gutachtensauftrags). Bei dem vorliegenden Gutachten handelt es sich um ein eigenständiges Dokument, um eine Übersichtlichkeit zu den behandelten Themen zu gewährleisten.

In Erfüllung des Gutachtensauftrages erstatten die Amtssachverständigen dazu nachfolgenden Bericht:

1.2 Gang des Verfahrens

Seit der Einführung der Entbündelung als regulatorische Verpflichtung im Jahr 1999 wurden Bottom-Up-Kostenrechnungsmodelle eingesetzt, um die Kosten der Teilnehmer-Anschluss-Leitung (TASL) zu bestimmen. Seit dem Jahr 2000 setzte die RTR-GmbH (damals: „TKC“) für das Anschlussnetz ein Bottom-Up-Kostenrechnungsmodell ein, das in Zusammenarbeit mit WIK (WIK-Consult, damals: Wissenschaftliches Institut für Kommunikationsdienste) entwickelt worden war. Dieses WIK-Modell wurde im Jahr 2005 von WIK einer Anpassung unterzogen und bildete seither die Grundlage für die Ermittlung der Kosten der TASL.

In ihrer Empfehlung 2013/466/EU machte die Europäische Kommission neue Vorgaben zum Einsatz von Bottom-Up Kostenrechnungsmodellen für das Anschlussnetz. Die wesentlichste Neuerung bestand darin, dass eine Modellierung nunmehr nicht (nur) Anschlussnetze aus Kupferdoppeladern (CuDA) ermöglichen soll, sondern auch solche Anschlussnetze, die Glasfasertechnologie teilweise oder zur Gänze einsetzen (FTTx). Um die Berechnung der Kosten eines solchen „Zugangsnetzes der nächsten Generation“ („Next Generation Access“ – NGA) zukünftig vornehmen zu können, beauftragte die RTR-GmbH im März 2014 die Forschungsgesellschaft der FH Kärnten mbH damit, die ingenieurs-mäßige Modellierung eines solchen Netzes umzusetzen. Das Ergebnis war das Modul „RTR_ACCNET“, das im Rahmen des „NGA-Modells 2015“ die kostenoptimale Verlegung eines Anschlussnetzes modelliert.

¹ s. Hartl, B./Pisjak, P./Schramm, W./Schwarz, A. (2021): Wirtschaftliches Gutachten für die Telekom-Control-Kommission im Verfahren M 1/20, Markt für den lokalen und zentralen Zugang, 08. März 2021

Anlässlich der Fertigstellung wurde 2015 eine öffentliche Konsultation zum Modell vorgenommen.²

Das Modell wurde im Vorgängerverfahren M 1.5/15 eingesetzt und die Ergebnisse für die Festlegung einer Obergrenze für das monatliche Entgelt für den Zugang zu Teilnehmeranschlussleitungen im Netz der A1TA (physische Entbündelung und symmetrische Bandbreiten der virtuellen Entbündelung) zu Grunde gelegt.³

Das Modell wird auch im gegenständlichen Verfahren M 1/20 herangezogen. Dazu wurden die Betreiber A1 Telekom Austria AG („A1TA“), T-Mobile Austria GmbH („TMA“) und Hutchison Drei Austria GmbH („H3A“) mit E-Mail vom 14.05.2020 ersucht, Inputparameter zum Modell zu übermitteln, wenn sie der Meinung seien, dass diese gegenüber den im Vorgängerverfahren M 1.5/15 verwendeten angepasst werden sollten.

A1TA übermittelte am 17.08.2020 dazu ein Inputparameter-Excel mit von ihr angepassten Werten. Dabei wies A1TA darauf hin, dass es sich bei den bereitgestellten Daten um Betriebs- und Geschäftsgeheimnisse von A1TA handle, die in diesem Detailgrad keinesfalls den übrigen Verfahrensparteien zugänglich gemacht werden dürften.

TMA übermittelte am 12.10.2020 Informationen zu Tiefbaukosten.

Nachfragedaten in Form einer Auswertung über genutzte Anschlüsse je Hauptverteiler im Netz von A1TA wurden am 28.10.2020 übermittelt.

Anhand des Bottom-Up-Kostenrechnungsmodells sowie der genannten Informationen hat das Gutachterteam die Kosten eines fiktiv effizienten Netzes gem. den Vorgaben der Europäischen Kommission nach dem Kostenrechnungsstandard der Forward-Looking Long Run Average Incremental Cost (FL-LRAIC) berechnet.

1.3 Aufbau des Gutachtens

Im folgenden zweiten Kapitel wird der verwendete Kostenrechnungsansatz erläutert, der den diesbezüglichen Vorgaben der Europäischen Kommission entspricht und folglich zur Anwendung gelangt. Im dritten Kapitel wird das Kostenrechnungsmodell zur Ermittlung der monatlichen Kosten für eine Teilnehmeranschlussleitung kurz vorgestellt. Die Netzmodellierung und deren Parameter werden im Kapitel vier dargestellt. Die daraus gewonnenen Ergebnisse fließen in die statistische Hochrechnung im Kapitel fünf ein. Die anschließende Ermittlung der daraus resultierenden monatlichen Kosten findet sich in Kapitel sechs. Im siebten Kapitel werden schließlich die Ergebnisse der Berechnungen dargelegt. Das gutachterliche Fazit in Kapitel acht bildet den Abschluss.

² vgl. dazu https://www.rtr.at/TKP/was_wir_tun/telekommunikation/wettbewerbsregulierung/kostenrechnung/tasl_modell.de.html

³ vgl. Spruchpunkt 3.3.1.1 des Bescheides M 1.5/15-115 der TTK vom 24.07.2017

2 Zum verwendeten Kostenrechnungsansatz

Die Empfehlung 2013/466/EU sieht vor, dass die nationalen Regulierungsbehörden (NRB) im Falle der Auferlegung von kostenorientierten Vorleistungsentgelten für den Zugang zu Kupferleitungs- und NGA-Netzen gegebenenfalls den Kostenrechnungsansatz „BU-LRIC+“ anzuwenden haben. Dabei handelt es sich um einen Bottom-Up-Ansatz der langfristigen Zusatzkosten zuzüglich eines Aufschlags für die Deckung von gemeinsamen Kosten und Gemeinkosten. Diesen Ansatz sollen NRB anwenden, um damit jene Kosten abschätzen, die einem hypothetischen effizienten Betreiber beim Aufbau eines modernen effizienten NGA-Netzes entstehen würden.⁴

Der von der Telekom-Control-Kommission bzw. der RTR-GmbH im Rahmen des Bottom-Up-Kostenrechnungsmodells im Anschlussnetz seit dem Jahr 2000 eingesetzte Kostenrechnungsansatz der „Forward Looking Long Run Average Incremental Cost“ (FL-LRAIC)⁵ entspricht genau diesen Vorgaben und gelangt daher auch im Rahmen des NGA-Modells 2015 zur Anwendung. Dabei werden vorausschauend⁶ die zukünftigen langfristigen durchschnittlichen inkrementellen Kosten einer Zugangsleistung (wie der entbündelten Teilnehmeranschlussleitung) eines effizienten Betreibers unter Verwendung eines effizienten Netzes errechnet. Der Begriff der „durchschnittlichen inkrementellen Kosten“ bezieht sich dabei lediglich auf die Darstellungsform der Kosten, indem dabei die Inkrementalkosten auf die Ausbringungsmenge verteilt ausgedrückt werden. Statt also beispielsweise Inkrementalkosten von € 4 Mrd. für 2 Mio Anschlüsse anzugeben, werden diese Kosten übersichtlicher als durchschnittliche Inkrementalkosten iHv € 2.000,- je Anschluss ausgedrückt. Die Durchschnittsbildung bezieht sich somit auf die Kosten je Ausbringungsmenge (diesfalls: Teilnehmeranschlussleitung).

Auch bei den FL-LRAIC werden gemeinsame Kosten der Netzinfrastruktur und des Unternehmens („Overhead“) anteilig berücksichtigt. Beim „Overhead“ handelt es sich um Unternehmensgemeinkosten (z.B. für das Rechnungswesen, Personalwesen etc.) nicht jedoch um Kosten, die auf der Retailebene anfallen. Insbesondere handelt es sich bei der gegenständlichen Entbündelung um ein Vorleistungsprodukt, wobei Retaileistungen und die dabei anfallenden Kosten nicht umfasst sind. Kosten für Marketing, Vertrieb, Billing, Customer Care etc. sind daher nicht enthalten und auch sonst gar nicht Bestandteile von Unternehmensgemeinkosten (iSv „Overhead“).

Der Ansatz der FL-LRAIC geht von einer langfristigen Perspektive aus. Aufgrund dieser Betrachtungsweise⁷ werden auch solche Kosten, die üblicherweise als Fixkosten bezeichnet werden (wie z.B. Abschreibungen von Netzbestandteilen oder Kosten des „Overhead“ [allgemeine Verwaltung]), als variabel angenommen, da diese Kapazitätskosten langfristig anpassbar sind. Es werden damit ebenfalls versunkene Kosten berücksichtigt⁸ und es erfolgt keine Trennung in fixe und variable Kosten, somit hat der verfolgte Ansatz Vollkostencharakter, bei dem alle vom gegenständlichen Produkt (z.B. Zusammenschaltung oder Entbündelung) verursachten Kosten Berücksichtigung

⁴ vgl. *Europäische Kommission* (2013a), S. 25

⁵ Zum Kostenrechnungsansatz der FL-LRAIC siehe *Belfin/Lukanowicz* (1999).

⁶ vgl. *Europäische Kommission* (2013a), S. 17

⁷ Dabei wird nicht auf eine konkrete (lange) Frist abgestellt, vielmehr kommt der ökonomische Begriff der Langfristigkeit zu tragen, der auf einen langfristigen Gleichgewichtszustand abstellt.

⁸ vgl. *Europäische Kommission* (2013a), S. 17

finden. Daraus ergibt sich, dass auch die für die Finanzierung von Neuinvestitionen notwendigen Abschreibungen und Kapitalkosten im FL-LRAIC-Ansatz inkludiert sind.

In einem Wettbewerbsmarkt ermittelt sich der Preis für ein Produkt nicht aus den historischen Anschaffungskosten der zur Leistungserbringung notwendigen Investitionen, sondern als Marktpreis aus Angebot und Nachfrage. Der Wert einer Investition ist daher nicht von den ursprünglichen Anschaffungskosten abhängig, sondern von den zukünftigen Erträgen, die mit dieser Investition erzielt werden können. Herrscht auch auf dem Vorleistungsmarkt für Investitionsgüter vollständiger Wettbewerb, so spiegeln die Preise der Investitionsgüter auch die diskontierten zukünftigen Erträge aus diesen Investitionen wider. Dies bedeutet, dass es einem Anbieter gegebenenfalls (auf Grund des Wettbewerbsdrucks, späterer Markteinstiege mit anderen Produktionstechnologien, Innovationen etc.) unmöglich sein kann, die Anschaffungskosten über entsprechende Preisgestaltung zurückzuerzielen. Daher wird sich ein Anbieter auf einem Wettbewerbsmarkt (die Simulation der Ergebnisse eines solchen steht hier zur Diskussion) nicht an seinen historischen Kosten orientieren (können), sondern wird seine Marktpreise auf Basis jener Kosten kalkulieren, die für eine Substanzerhaltung des Unternehmens und die Befriedigung der Nachfrage erforderlich sind. Das bedeutet außerdem, dass das Unternehmen das zukünftige Angebot entsprechend der zu erwartenden Nachfrage so effizient als möglich bereitstellen will.

Für die Berechnung sind also die Kosten relevant, die durch die Erhaltung der Produktionskapazität entstehen (Going-Concern-Prinzip). Die Wiederbeschaffungswerte dieser zur Leistungserbringung notwendigen Ausstattung sind die Basis für die Berechnung der FL-LRAIC. Um der Anforderung der Substanzerhaltung gerecht werden zu können, werden die Investitionen nicht mit den historischen Anschaffungskosten, sondern mit Wiederbeschaffungskosten gemäß dem „Modern Equivalent Asset“-Ansatz (MEA) bewertet. Es sollten dabei Technologien in die Betrachtung eines Wiederbeschaffungswertansatzes (nach MEA) einbezogen werden, die funktionell (zumindest) Äquivalente zur im Einsatz befindlichen Kupferteknologie darstellen und dem aktuellen Stand der Technik entsprechen.

Eine weitere bedeutende Einflussgröße in Bezug auf die Kosten ist die Abschreibungsdauer der Investition. Grundlage für die Ermittlung der kalkulatorischen Abschreibung ist nicht die finanzbuchhalterische Abschreibungsdauer einer Investition oder die technische (möglicherweise mit großem – ökonomisch nicht mehr zu rechtfertigendem – Aufwand beliebig verlängerbare) Nutzungsdauer, sondern die ökonomisch optimale bzw. tatsächliche Nutzungsdauer.

Um eine möglichst starke Position im Wettbewerb einzunehmen, würde der Anbieter in Zukunft die ökonomisch effizienteste Technologie bzw. Netztopologie einsetzen. Diese bestimmen die Wiederbeschaffungswerte und sind schließlich die Basis für die Berechnung der FL-LRAIC. Damit wird dem regulierten Unternehmen die Substanzerhaltung ermöglicht und Effizienz sichergestellt. Gleichzeitig stellt die Wiederbeschaffungswertorientierung auch sicher, dass die richtigen Investitionsanreize für die Nachfrager auf Vorleistungsebene bestehen. Der Ansatz der Wiederbeschaffungswertorientierung ist dafür zentral, da die Zugrundelegung der jeweils effizientesten,

real am Markt im Einsatz befindlichen Technologie auch dem Nachfrager (idealerweise) die richtigen Investitionssignale und Anreize für eine „Make-or-Buy“-Entscheidung gibt.

Den überwiegend größten Kostenanteil in einem Anschlussnetz stellen die Tiefbaukosten dar. Es würde aber nicht dem aktuellen technischen Stand entsprechen, bei einem solchen Bauvorhaben Kupferkabel zu vergraben. Damit sich die Investition in die Verlegung von leitungsgebundener Kommunikationsinfrastruktur langfristig auszahlt, müsste jene Übertragungstechnologie zur Anwendung gelangen, die die Wettbewerbsfähigkeit über viele Jahre am ehesten gewährleisten kann. Angesichts laufend wachsender Bandbreitenerfordernisse eignet sich Glasfaser dafür besser als herkömmliche Kupferkabel. Neue Netze werden heute als Glasfasernetze gebaut. Auch A1TA treibt ihren Glasfaserausbau voran. Neu Gebiete werden in der Regel mit FTTH erschlossen. Aus heutiger Sicht würde kein Betreiber ein Kupferanschlussnetz oder ein FTTC-Netz neu errichten. Es ist daher im Sinne einer vorausschauenden Betrachtungsweise ein FTTH/B-Netz zu modellieren. Damit wird dem Effizienzgebot entsprochen, die effizienteste im Einsatz befindliche Technologie zum Einsatz zu bringen.

Über den mittels FL-LRAIC simulierten Wettbewerbspreis soll das wohlfahrts-ökonomisch richtige Signal für eine (Ex-ante-) Investitionsentscheidung („Make-or-Buy“) gesetzt werden und somit Investitionen in (neue, alternative) effiziente Infrastruktur gefördert und Investitionen in ineffiziente Infrastruktur verhindert werden. Wird der Preis zu hoch angesetzt, werden Investitionen in ineffiziente Infrastruktur gefördert, wird der Preis hingegen zu niedrig angesetzt, bewirkt dies eine ineffizient hohe Nutzung der betreffenden Infrastruktur, und Investitionen in neue effiziente(re) Infrastruktur bleiben aus. Letzteres würde den regulatorischen Zielen eines infrastrukturbasierten und damit dauerhaft selbsttragenden Wettbewerbs zuwiderlaufen. Die FL-LRAIC erfüllen somit die Anforderung der Europäischen Kommission an die Kostenrechnungsmethode, ein geeignetes Signal für den Bau bzw. Kauf von Kapazitäten zu setzen und damit ein ausgewogenes Verhältnis zwischen der Gewährleistung eines effizienten Markteintritts und ausreichenden Anreizen für Investitionen in NGA-Netze, insbesondere für deren Ausbau zu schaffen.⁹

Unter bestimmten Bedingungen kann ein Endkundenpreisniveau jedoch unter den FL-LRAIC zu liegen kommen. Beispielsweise kann dies dann der Fall sein, wenn versunkene Investitionen für eine Preisuntergrenze nicht entscheidungsrelevant sind. Dies könnte insbesondere dann gegeben sein, wenn von einer Reinvestition abgesehen wird. In solchen und anderen Fällen wäre zusätzlich zu prüfen, ob eine Preis-Kosten-Schere (Margin Squeeze) vorliegt.

⁹ vgl. *Europäische Kommission* (2013a), S. 17

Der Kostenrechnungsansatz der FL-LRAIC erfüllt somit insgesamt die Vorgaben der Europäischen Kommission hinsichtlich sämtlicher Anforderungen:¹⁰

- Die Kostenrechnungsmethode führt zu Entgelten, die auf einem Markt zu erwarten sind, auf dem effektiver Wettbewerb herrscht.
- Die Kostenrechnungsmethode entspricht dem wesentlichen Grundsatz der Kostendeckung und ermöglicht eine angemessene Rendite auf das investierte Kapital.
- Die Kostenrechnungsmethode setzt ein geeignetes Signal für den Bau bzw. Kauf von Kapazitäten und schafft damit ein ausgewogenes Verhältnis zwischen der Gewährleistung eines effizienten Markteintritts und ausreichenden Anreizen für Investitionen in NGA-Netze, insbesondere in deren Ausbau.
- Die Kostenrechnungsmethode modelliert das zusätzliche Kapital (einschließlich versunkener Kosten) und die von einem hypothetischen effizienten Betreiber bei der Bereitstellung aller Zugangsdienste zu tragenden Betriebskosten zuzüglich eines Aufschlags zur Deckung der gemeinsamen Kosten und Gemeinkosten.
- Die Kostenrechnungsmethode berechnet vorausschauend die aktuellen Kosten, die einem effizienten Netzbetreiber beim Aufbau eines modernen und effizienten Netzes heute entstehen (Wiederbeschaffungswerte).

¹⁰ vgl. *Europäische Kommission* (2013a), S. 16f

3 Das Kostenrechnungsmodell

3.1 Anforderungen

In ihrer Empfehlung 2013/466/EU fordert die Europäische Kommission, dass im Falle der Auferlegung einer Kostenorientierungsverpflichtung die nationalen Regulierungsbehörden (NRB) für die Zwecke der Festlegung von Vorleistungsentgelten für den Zugang zu Kupferleitungs- und NGA-Netzen ein Kostenrechnungsmodell anwenden, das die folgenden Merkmale hat:¹¹

1. Bottom-Up-Modellierung: Es wird ein Kostenmodell entwickelt, das ausgehend von der erwarteten Nachfrage in Bezug auf Teilnehmer und Verkehr ein effizientes Netz modelliert, wobei die entsprechenden Kosten nach einem theoretischen Netzmodell abgeschätzt werden.¹²
2. Kostenrechnungsansatz der „Bottom-Up Long-Run Incremental Costs Plus“ (BU-LRIC+)¹³
3. Effizienz: Es sind jene Kosten abzuschätzen, die einem hypothetischen effizienten Betreiber beim Aufbau eines modernen effizienten NGA-Netzes entstehen würden.¹⁴
4. (Mit-)Benutzung bestehender baulicher Anlagen: Bei der Modellierung eines NGA-Netzes sollen die bestehenden baulichen Anlagen berücksichtigt werden, die im Allgemeinen auch Komponenten eines NGA-Netzes aufnehmen können.¹⁵
5. Ansatz von Wiederbeschaffungswerten¹⁶
6. Anpassung von Abschreibungsdauern an die tatsächlichen Nutzungsdauern. Für Kabelschächte wird ein Wert von mindestens 40 Jahren gefordert.¹⁷
7. Flexibilität des Kostenrechnungsmodells hinsichtlich unterschiedlicher NGA-Typologien (FTTx) bis hin zu einer Versorgung ausschließlich auf Basis von Kupferleitungen.¹⁸

Diesen Anforderungen wird in folgender Weise Rechnung getragen:

1. Für die Bottom-Up-Modellierung wurde ein Kostenmodell entwickelt, das ausgehend von der erwarteten Nachfrage in Bezug auf Teilnehmer und Verkehr ein effizientes Netz modelliert, wobei die entsprechenden Kosten nach einem theoretischen Netzmodell abgeschätzt werden. Das Modell wurde mit den Marktteilnehmern konsultiert und wird in Folge vorgestellt.
2. Die Anwendung des Kostenrechnungsansatzes der „Bottom-Up Long-Run Incremental Costs Plus“ (BU-LRIC+) wurde im vorhergehenden Kapitel erläutert.

¹¹ vgl. *Europäische Kommission* (2013a), S. 25ff

¹² vgl. Nummer 30 in *Europäische Kommission* (2013a), S. 25 iVm Nummer 6a in *Europäische Kommission* (2013a), S. 22

¹³ siehe dazu Abschnitt 2

¹⁴ vgl. Nummer 31 der Empfehlung 2013/466/EU in *Europäische Kommission* (2013a), S. 25

¹⁵ vgl. Nummer 32 der Empfehlung 2013/466/EU in *Europäische Kommission* (2013a), S. 25

¹⁶ vgl. Nummer 33 der Empfehlung 2013/466/EU in *Europäische Kommission* (2013a), S. 26

¹⁷ vgl. Nummer 36 der Empfehlung 2013/466/EU in *Europäische Kommission* (2013a), S. 26

¹⁸ vgl. Nummer 37 der Empfehlung 2013/466/EU in *Europäische Kommission* (2013a), S. 26

3. Hinsichtlich der geforderten Effizienz werden jene Kosten abgeschätzt, die einem hypothetischen effizienten Betreiber beim Aufbau eines modernen effizienten Anschlussnetzes entstehen würden. Dies wird durch die ingenieurmäßige Bottom-Up-Modellierung eines optimalen Anschlussnetzes gewährleistet. Dabei wird, ausgehend von den bestehenden Anschlussbereichsgrenzen und deren Hauptverteilerstandorten („Scorched Node“-Ansatz), unabhängig von bestehender Netzinfrastruktur, ein abstraktes Zugangsnetz mit effizienter Struktur aufgebaut, das dem Stand der Anschlussnetztechnologie entspricht. Da es nicht dem aktuellen Stand der Technik entspricht, ein Anschlussnetz basierend auf der Kupferdoppeladertechnologie auszurollen, wird dem Effizienzgebot folgend ein auf Glasfaser basierendes FTTH/B-Netz modelliert (vgl. Abschnitt 2).
4. Die (Mit-)Benutzung bestehender baulicher Anlagen wird bei der Modellierung eines NGA-Netzes berücksichtigt. Dies kann im Rahmen des Modells durch die Emulation einer Leerrohrinfrastruktur erreicht werden. Im gegenständlichen Verfahren werden Kosteneinsparungen durch Mitverlegung über die Modellparameter zu Tiefbaukosten berücksichtigt.
5. Die Inputparameter des Modells für die Kosten werden mit Wiederbeschaffungswerten angesetzt.
6. Anpassung von Abschreibungsdauern an die tatsächlichen Nutzungsdauern: Für die Abschreibungsdauern wurden Werte angesetzt, die über jene hinausgehen, die in der Buchhaltung von A1TA angesetzt werden.
7. Das eingesetzte Kostenrechnungsmodell ist flexibel hinsichtlich des Einsatzes unterschiedlicher NGA-Typologien (FTTx) bis hin zu einer Versorgung ausschließlich auf Basis von Kupferleitungen. Letzteres eignet sich für die Anwendung im Fall einer physischen Entbündelung der Kupferdoppeladeranschlussleitung.

Die Anforderungen der Europäischen Kommission an ein Kostenrechnungsmodell wurden daher vollumfänglich erfüllt.

3.2 Darstellung des Modells

Die folgende Abbildung bietet einen Überblick zu den einzelnen Schritten im Rahmen der Berechnungen unter Verwendung des NGA-Modells 2015.

Abbildung 1: Elemente des NGA-Modells 2015



Quelle: RTR (2015), S.10

Die einzelnen Elemente des NGA-Modells 2015 sind entsprechend ihrer sequentiellen Abfolge als einzelne Tätigkeitsschritte dargestellt:

1. In einem ersten Schritt erfolgte die Auswahl jener Anschlussbereiche, die in Folge modelliert wurden. Die Auswahl erfolgte als repräsentative Stichprobe (85 Anschlussbereiche), der die Klassifikation des österreichischen Siedlungsraums zu Grunde liegt (im Detail siehe dazu RTR 2015, Abschnitt 4.1.). Eine tabellarische Auflistung der Anschlussbereiche der Stichprobe ist im Anhang B zu finden.
2. Im nächsten Schritt werden die erforderlichen Investitionen je Teilnehmeranschluss für ein Anschlussnetz für die 85 Anschlussbereiche des Stichprobensamples errechnet. Für die ingenieurmäßige Netzmodellierung kommt als zentrales Element des Modells, das System RTR_ACCNET der Forschungsgesellschaft der FH Kärnten mbH, zum Einsatz. (zur Anwendung der Netzmodellierung vgl. den folgenden Abschnitt 4)
3. Die Investitionswerte je Teilnehmeranschluss im Sample werden sodann auf ganz Österreich hochgerechnet. (Im Detail siehe dazu Abschnitt 5.)
4. Im letzten Schritt werden aus den Investitionswerten je Teilnehmeranschluss monatliche Kosten ermittelt. (Im Detail siehe dazu Abschnitt 6)

4 Netzmodellierung

4.1 Einsatz der Netzmodellierung

Für jeden einzelnen Anschlussbereich der Stichprobe wird mittels ingenieurmäßiger Bottom-Up-Modellierung die Verlegung eines abstrakten effizienten NGA-Anschlussnetzes simuliert, das dem aktuellen Stand der Technik entspricht. Die Modellierung des Anschlussnetzes erfolgt, ausgehend von den bestehenden Anschlussbereichsgrenzen und deren Hauptverteilerstandorten, unabhängig von bestehender Netzinfrastruktur („Scorched Node“-Ansatz¹⁹). Für die Modellierung des Anschlussnetzes kommt das System „RTR_ACCNET“ zum Einsatz.²⁰ Dieses wurde von den Gutachtern in vergangenen Verfahren sowie im gegenständlichen Verfahren einer Validierung unterzogen. Das System RTR_ACCNET ist nach Ansicht des Gutachterteams sehr gut geeignet, plausible Ergebnisse zu liefern.

Für die im vorliegenden Gutachten durchgeführte Berechnung im System RTR_ACCNET wurden unterschiedliche Daten zu Grunde gelegt. Neben den geographischen Grunddaten (vgl. den folgenden Abschnitt 4.2) handelt es sich dabei um Nachfragedaten von A1TA, Investitions- und Preisparameter sowie um Struktur- und Modellparameter. Die dafür angesetzten Inputparameter werden im Abschnitt 4.3 erläutert, die Skalierung des Anschlussnetzes anhand der Nachfragedaten im Abschnitt 4.4.

Das System RTR_ACCNET besteht aus den teils aufeinander aufbauenden Komponenten „Cu-Generator“, „Leerrohr-Generator“, „Fiber-Generator“, „NGA-Solver“ (vgl. Abbildung 2).

Abbildung 2: Komponenten des Systems RTR_ACCNET



Quelle: RTR (2015), S. 18

Die Komponenten des Systems RTR_ACCNET im NGA-Modell 2015 und deren Einsatz werden in Folge beschrieben.

¹⁹ vgl. RTR (2015), S.11

²⁰ Für einen Überblick zur Netzmodellierung mittels des Systems „RTR_ACCNET“ vgl. RTR (2015), Abschnitt 4.2, im Detail vgl. *Forschungsgesellschaft der FH Kärnten* (2015a)

4.1.1 Cu-Generator

Ausgangspunkt der Modellierung eines NGA-Netzausbaus stellt eine fiktiv bestehende effiziente Kupferanschlussnetzinfrastruktur dar,²¹ die in der Geographie eines Anschlussbereiches verteilte Anschlussobjekte mit einem vorzuziehenden Versorgungsgrad in optimaler Weise an den vorgegebenen Hauptverteilerstandort anbindet. Diese Berechnung wird in der Komponente „Cu-Generator“ vorgenommen.

Bei den Ergebnissen des Cu-Generators handelt es sich um Investitionswerte (CAPEX, sowohl für Tiefbauleistungen als auch Netzkomponenten) für die Errichtung eines effizienten Kupferdoppeladeranschlussnetzes. Die Investitionswerte werden für jeden Anschlussbereich in der Stichprobe einzeln ermittelt. Die Investitionswerte auf Basis des Cu-Generators sind geeignet, für eine kostenorientierte Entgeltberechnung im Rahmen der physischen Entbündelung herangezogen zu werden.

4.1.2 Leerrohr-Generator und Fiber-Generator

Die (Mit-)Benutzung von bestehenden baulichen Anlagen kann wesentlich zu einem effizienten Netzausbau von Glasfaseranbindungen (NGA-Ausbau) beitragen. Dabei wird es sich im Fall einer leitungsgebundenen Anschlussnetzinfrastruktur vor allem um Kabelkanäle, Kabelkanalanlagen, Rohrverbünde etc. sowie um unbeschaltete Glasfasern handeln. Diese Infrastrukturelemente können im Rahmen eines „Leerrohr-Generators“ sowie eines „Fiber-Generators“ emuliert werden. Das Ausmaß und die Kapazität der fiktiv bestehenden und durch einen NGA-Ausbau (mit-)nutzbaren Infrastrukturen kann im System RTR_ACCNET durch entsprechende Inputparameter beeinflusst werden.

Da dem Gutachterteam jedoch keine österreichweiten statistischen Daten (schon gar nicht differenziert nach Siedlungstyp) über Verfügbarkeit von freien Kapazitäten in Form von Leerrohren oder unbeschaltete Glasfasern vorliegen und auch kaum argumentierbare Annahmen dazu getroffen werden konnten, wurde davon abgesehen, mitbenutzbare Infrastruktur zu emulieren. Einsparungen durch Mitverlegung wurden hingegen bei den Tiefbaukosten der Datensätze TMA und FFG berücksichtigt (vgl. Abschnitte 4.3.3 und 4.3.4).

4.1.3 NGA-Solver

Der NGA-Solver ermittelt die Ausbaukosten für Glasfaserinfrastruktur auf Basis der modellierten Infrastruktur aus Kupferkabeln (Cu-Generator), Leerverrohrungen (Leerrohr-Generator) und unbeschalteten Glasfasern (Fiber-Generator). Zielsetzung ist dabei, eine kostenoptimale NGA-Netzinfrastruktur zu errichten, wobei zu erreichende Mindestversorgungsgrade und Bandbreiten vorgegeben werden können.

Als NGA-Anschlussnetz können Szenarien entweder für FTTC oder FTTB/H oder gemischte Szenarien berechnet werden. Im Fall von FTTC werden Teile der im Cu-Generator modellierten Teilnehmeranschlussleitungen im NGA-Netz weiterverwendet. Dabei handelt es sich um Kupferdoppeladern zwischen der vorgelagerten und mit Glasfaser versorgten Einheit (ARU) und dem kundenseitigen Kabelauslass (KA).

²¹ Zur Pfadabhängigkeit eines NGA-Ausbaus vgl. RTR (2015) Abschnitt 4.1.2

Im NGA-Solver werden jedoch nur die zusätzlichen Kosten des Glasfaserausbau (Grabung und Komponenten), nicht aber jene der (bereits) bestehenden Kupferdoppeladerinfrastruktur erfasst.²² Insbesondere Grabungskosten für die Abschnitte zwischen ARU und KA würden im Fall einer FTTC-Betrachtung daher (unzulässiger Weise) vernachlässigt werden.

Im Fall von FTTB/H und der Modellierung eines solchen Netzes mittels NGA-Solver jedoch erfolgt die Versorgung mit Glasfaser bis zum Gebäude und damit werden auch sämtliche Grabungskosten und Komponentenkosten bis dorthin ermittelt. Um also die Kosten für weiter verwendete Streckenabschnitte zwischen ARU und KA nicht unberücksichtigt zu lassen, wurde für den NGA-Ausbau das Szenario eines FTTB/H gewählt. Auch würde es nicht dem aktuellen technischen Stand entsprechen, ein Anschlussnetz basierend auf der Kupferdoppeladertechnologie auszurollen. Es ist daher, auch im Sinne einer vorausschauenden Betrachtungsweise, ein FTTH/B-Netz zu modellieren. Damit wird auch dem Effizienzgebot (vgl. Abschnitt 2) Rechnung getragen.²³

Bei den Ergebnissen des NGA-Solvers handelt es sich um Investitionswerte (CAPEX, sowohl für Tiefbauleistungen als auch Netzkomponenten) für die Errichtung eines effizienten NGA-Netzes (Glasfaserausbau). Die Investitionswerte werden für jeden Anschlussbereich in der Stichprobe einzeln ermittelt. Die Investitionswerte auf Basis des NGA-Solvers im Szenario FTTB/H sind geeignet, für eine Entgeltberechnung im Rahmen der virtuellen Entbündelung herangezogen zu werden.

4.2 Verwendete Geodaten

Die Netzwerkgraphen für das System RTR_ACCNET werden auf Basis der Digitalen Katastralmappe (DKM) erzeugt. Als weitere geographische Grunddaten werden im Rahmen des Systems RTR_ACCNET herangezogen:

- Regionalstatistischer 100m-Raster der Statistik Austria (Stand Juli 2014) mit folgenden Attributen:
 - Wohnbevölkerung (Anzahl der Personen mit Hauptwohnsitz)
 - Anzahl der Personen mit Nebenwohnsitz
 - Anzahl der Gebäude
 - Anzahl der Wohngebäude
 - Anzahl der Wohnungen
- Digitale Katastral-Mappe des Bundesamts für Eich- und Vermessungswesen
 - Stichtagsdaten des Grundstücksverzeichnisses

²² RTR_ACCNET geht in seinem Ablauf von der Prämisse aus, dass ein NGA-Ausbau auf Basis eines vorhandenen Cu-Netzes erfolgt.

²³ Zu den getroffenen Annahmen btr. der Modellierung eines FTTH/B-Netzes vgl. Abschnitt 0.

- Anschlussbereichsgrenzen und Hauptverteilerstandorte von A1 Telekom Austria

Die der Netzmodellierung (RTR_ACCNET) zu Grunde liegenden Geodaten geben die Lage von Gebäuden und Wohneinheiten (etc.) wieder. Da die Hochrechnungen der Investitionskosten (siehe dazu Abschnitt 5.) durchgehend hohe Bestimmtheitsmaße erreichen, kann auch die Aktualität der verwendeten Geodaten als hinreichend erachtet werden.

Die Klassifikation des österreichischen Siedlungsraums²⁴ kommt für die Netzmodellierung nicht zum Einsatz. Sie diene nur für die Stichprobenauswahl und beschreibt die Strukturen unterschiedlicher Siedlungsräume in Österreich. Diese sind noch weniger einem zeitlichen Wandel unterworfen als die tatsächliche Besiedelung mit Gebäuden. Zwar mögen sich z.B. in Neubaugebieten neue Siedlungspunkte gebildet haben (dieser Umstand ist in den aktuelleren Geodaten der Stichprobe auch abgebildet), jedoch ändert sich dadurch nichts an einer grundsätzlichen Einteilung, wie sie in den neun Clustern vorgenommen wurde. Eine polyzentrische Siedlungsstruktur wird sich dadurch nicht zu einem Anger- oder Straßendorf verändern. Eine neuerliche Klassifikation des Siedlungsraums war daher nicht erforderlich.

4.3 Inputparameter

4.3.1 Verfügbare Informationen

Für die Netzmodellierung stehen dem Gutachterteam folgende Informationen zur Verfügung, die entweder direkt als Inputparameter herangezogen werden können, oder eine Ermittlung von Inputparametern ermöglichen:

- Inputparameterdatensatz, der ausschließlich auf Defaultwerten des Modells der Forschungsgesellschaft der FH Kärnten beruht,²⁵
- Inputparameterdatensatz, der der Entscheidung im Vorgängerverfahren M 1.5/15 zu Grunde gelegt wurde,²⁶
- Inputparameterdatensatz, der von A1TA am 17.08.2020 übermittelt wurde (Dabei wies A1TA darauf hin, dass es sich bei den bereitgestellten Daten um Betriebs- und Geschäftsgeheimnisse von A1TA handle, die in diesem Detailgrad keinesfalls den übrigen Verfahrensparteien zugänglich gemacht werden dürften),
- Informationen zu Tiefbaukosten, die von TMA am 12.10.2020 übermittelt wurden,

²⁴ Im Detail siehe dazu *RTR* (2015), Abschnitt 4.1.

²⁵ vgl. *Hartl/Lukanowicz* (2016)

²⁶ vgl. *Hartl/Lukanowicz* (2017)

- Informationen zu Tiefbaukosten, die dem Excel „Kostenplan_Finanzierungsplan_Partner_v1_0_20191202“ der Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH („FFG“) entnommen wurden.²⁷

Eine unmittelbare Verwendung der Inputparameter des Vorgängerverfahrens M 1.5/15 im gegenständlichen Verfahren erscheint dem Gutachterteam ungeeignet, da die in der Zwischenzeit eingetretene Erhöhung der Baupreise nicht berücksichtigt ist. Diese Inputparameter aus M 1.5/15 dienen hingegen als Ausgangsbasis für eine Anpassung der Werte an die aktuellen Gegebenheiten. Hinsichtlich der Tiefbaukosten erfolgt dies mittels der Informationen von A1TA, TMA und FFG. Auch Parameter zu Komponentenkosten (Kabel, Muffen etc.) wurden – wo verfügbar – aktualisiert. Wo nicht abweichend ausgeführt (vgl. Abschnitt 4.4 und 0), wurden die Strukturparameter des Systems RTR_ACCNET aus dem Vorgängerverfahren M 1.5/15 übernommen.

Letztlich konnte das Gutachterteam aus den verfügbaren Informationen die folgenden Inputparameterdatensätze gewinnen:

1. Datensatz A1TA
2. Datensatz TMA
3. Datensatz FFG

Diese Inputparametersätze werden nachfolgend beschrieben.

4.3.2 Datensatz A1TA

Für den „Datensatz A1TA“ wurden jene Werte herangezogen, die A1TA am 17.08.2020 in Form eines Excel-files übermittelt hatte. Sämtliche Parameter zu Grabungskosten wurden völlig unverändert übernommen. Auch sämtliche weitere von A1TA angegebenen Kostenwerte wurden für den Datensatz A1TA übernommen.

Bei einzelnen wenigen Kostenwerten zu Komponenten konnte A1TA keine Angaben machen. Diese fehlenden Kostenwerte wurden entweder aus vorhandenen benachbarten Werten abgeleitet (z.B. mittels Interpolation) oder in Einzelfällen bei den Werten des Vorgängerverfahrens (im Fall des Cu-Generators) bzw. den Defaultwerten (im Fall des NGA-Solver) belassen. Diese wenigen Ergänzungen von fehlenden Werten waren erforderlich, um Rechendurchläufe des Systems RTR_ACCNET ohne Abbrüche und Fehler zu ermöglichen.

Bei den Grabungskosten des Datensatzes A1TA wurden seitens des Gutachterteams keine Anpassungen für Luftverkabelung und für Mitverlegung vorgenommen. Im Vergleich zu den Informationen zu Tiefbaukosten von TMA und FFG sowie zu den Inputparametern des Vorgängerverfahrens M 1.5/15 erscheinen die Angaben von A1TA zu hoch.

²⁷ https://www.ffg.at/sites/default/files/allgemeine_downloads/Kostenplan_Finanzierungsplan_Partner_v1_0_20191202.xlsx bzw. auch unter <https://www.ffg.at/breitband/leerrohraufruf201912/downloadcenter> zu finden (zuletzt abgefragt am 08.02.2021).

Eine Darstellung der einzelnen Werte des Datensatz A1TA im Anhang C des vorliegenden Gutachtens erfolgte nicht, da A1TA im Zuge der Datenübermittlung darauf hingewiesen hatte, dass es sich bei den bereitgestellten Daten um Betriebs- und Geschäftsgeheimnisse von A1TA handle, die in diesem Detailgrad keinesfalls den übrigen Verfahrensparteien zugänglich gemacht werden dürften.

4.3.3 Datensatz TMA

Für die Ermittlung der Parameter zu Grabungskosten für den „Datensatz TMA“ wurden die von TMA am 12.10.2020 übermittelten Informationen herangezogen. TMA kalkulierte dazu Tiefbaupreise auf Basis von ihren Generalunternehmerverträgen 09/2020 Region Ost mittels des Tiefbauleistungsverzeichnisses (u.a. Aufbruch, Aushub, Bettung, Verfüllen etc.) unter Zugrundelegung einer Künettenbreite von 50 cm und einer Länge von 2.000 m zuzüglich einer 15%-Umlage für Planung, Behördenverfahren, PM, etc. Ermittelt wurden Preise je Laufmeter iHv € 45,- für Grünflächen, € 125,- für befestigte Flächen (Gehsteig) ohne Wiederherstellung der Oberfläche, € 210,- für befestigte Flächen (Gehsteig) inkl. Wiederherstellung und € 300,- für Fahrbahn inkl. Wiederherstellung.

Für die Aktualisierung der Grabungskosten wurden die Landnutzungsklassen nach ihren neun auftretenden Ausprägungen der Grabungskosten²⁸ im Vorgängerverfahren M 1.5/15 klassifiziert und jeder Klasse ein neuer Wert, abgeleitet aus den Informationen der TMA, zugewiesen (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Aktualisierung der Grabungskosten für Datensatz TMA

	alter Wert aus M1.5/15	neuer Wert aus Informationen TMA	überwiegende Art des Grabens
1	43,06 €	45,00 €	Grünfläche/unbefestigt
2	32,02 €	45,00 €	Grünfläche/unbefestigt kleinstädt.
3	24,67 €	45,00 €	Grünfläche/unbefestigt rural
4	19,36 €	45,00 €	Forststraßen rural/kleinstdt.
5	94,00 €	98,24 €	unbefestigt, erschwerte Bedingungen
6	167,00 €	125,00 €	befestigt ohne Oberflächenherstellung
7	83,47 €	210,00 €	inkl. Wiederherstellung Parkplätze
8	98,75 €	300,00 €	inkl. Wiederherstellung Straßenanlage
9	500,00 €	500,00 €	zu vermeidende Landnutzungsklassen

Für die erste Klasse wurde statt des alten Wertes iHv € 43,06 der Wert der TMA iHv € 45,- für Grünflächen angesetzt. Den Klassen zwei bis vier, die Kostenwerte aus M 1.5/15 kleiner als € 45,- ausweisen, wurde als neuer Wert ebenfalls € 45,- für Grünflächen zugewiesen.²⁹ Der alte Wert der Klasse fünf iHv € 94 wurde über die Relation der fünften zur ersten Klasse aus € 45,- zu € 98,24 aktualisiert. Den Klassen

²⁸ Werte noch vor erfolgter Anpassung um Luftverkabelung und Mitverlegung

²⁹ Die Grabungskosten der Landnutzungen der oben dargestellten Klassen zwei bis vier wurden in M 1.5/15 nach Siedlungsclustern (urban, suburban, kleinstädtisch, rural) unterscheiden. Eine solche Unterscheidung lässt sich aus den Informationen der TMA nicht ableiten. Daher musste bei der Aktualisierung der Grabungskosten eine solche Differenzierung nach Siedlungsclustern unterbleiben.

sechs bis acht wurden als neue Werte die am besten entsprechenden von TMA ermittelten Tiefbaupreise zugewiesen. Der Wert der neunten Klasse für zu vermeidende Landnutzungsklassen (z.B. Gewässer, Flughäfen, Friedhöfe) wurde als prohibitiver Wert iHv € 500,- beibehalten.

Die so aktualisierten Werte für Grabungskosten berücksichtigen noch keine Luftverkabelung und keine Kostenersparnis bei Grabung durch Mitverlegung mit anderen Infrastrukturen. Das Gutachterteam passte daher wie im Vorgängerverfahren M 1.5/15³⁰ die aktualisierten Werte für Grabungskosten um diese Einsparungsfaktoren an. Dazu wurden wie bereits in M 1.5/15 die Kosten für Luftverkabelung (iHv € 15,-/m) mit je Siedlungscluster unterschiedlichen Gewichten berücksichtigt sowie Kosteneinsparungsfaktoren auf Grund von Mitverlegung (ebenfalls unterschieden nach Siedlungsclustern) angewendet. Die Anpassungsfaktoren sind in der untenstehenden Tabelle 2 abgebildet.

Tabelle 2: Faktoren für die Berücksichtigung von Luftverkabelung und Mitverlegung

	<i>urban</i>	<i>suburban</i>	<i>kleinstädtisch</i>	<i>rural</i>
Anteil Luftverkabelung	0%	10%	15%	30%
Einsparung durch Mitverlegung	25%	20%	15%	15%

Für die Kostenwerte für Komponenten wurden jene des Datensatzes A1TA herangezogen, die wie oben beschrieben aus Werten der A1TA oder des Vorgängerverfahrens bzw. aus Defaultwerten abgeleitet wurden.

Der Datensatz TMA ist im Anhang C dargestellt.

4.3.4 Datensatz FFG

Für diesen Datensatz wurden Werte aus Excel „Kostenplan_Finanzierungsplan_Partner_v1_0_20191202“ der Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH („FFG“) herangezogen. Die darin enthaltenen Kosten stellen jene dar, die in ihrer Höhe im Fall von Förderungen von Ausbauprojekten für Breitbandnetze angesetzt werden dürfen.

Für die Ableitung von Kostenwerten für die einzelnen Landnutzungsklassen im NGA-Modell 2015 wurden Tiefbaukosten je Laufmeter bestehend aus mehreren Positionen für unterschiedliche Bodenarten ermittelt. Es wurden Kostenwerte wie in nachfolgender Tabelle 3 dargestellt verwendet. Zusätzlich zu den Tiefbaukosten wurden für Vermessung inkl. Plandarstellung € 1,5/lm sowie für Planung 5% der Gesamtkosten sowie für Bauaufsicht und Projektmanagement weitere 5% (in Summe somit 10%) angesetzt (alle Werte gem. Kostenplan der FFG).

³⁰ vgl. Hartl/Lukanowicz (2017)

Tabelle 3: Tiefbaukosten der FFG

Bezeichnung	Pos. Nr.	€
Künette 30 x 70 cm (unbefestigte Oberfläche)	20A	46,50
Künette 30 x 70 cm (befestigte Oberfläche)	20B	57,00
Zuschlag bei der Bodenklasse 6 und 7 (felsiger Untergrund)	20C	10,00
Asphaltbelag bis 10 cm Stärke	20E	41,00
Betonbelag bis 12 cm Stärke	20F	46,50
Naturstein- bzw. Betonsteinbelag	20G	52,50
Randsteine	20I	62,00
Kabelpflug	20J	15,00
Aufschlag Künette inkl. Wiederherstellung im städtischen Bereich	20P	50,00
Verlegung mit Bankettfräse	20T	38,00
Bankettfräse Wiederherstellung Asphalt Zuschlag	20U	25,00
Bankettfräse, fräsen in Asphalt Zuschlag	20V	15,00

Die ermittelten Kosten für die einzelnen Bodenarten sowie darin enthaltene Positionen sind nachfolgend aufgeführt:³¹

- unbefestigt iHv € 53,90 (100% 20A, 10%20C)
- unbefestigt erschwert iHv € 63,80 (100% 20A, 100%20C)
- befestigt ohne Wiederherstellung der Oberfläche iHv € 65,45 (100% 20B, 10%20C)
- befestigt inkl. Wiederherstellung Parkplätze iHv € 111,23 (100% 20B, 10%20C, 100% 20E, 1% 20I)
- befestigt inkl. Wiederherstellung andere Flächen iHv € 117,28 (100% 20B, 10%20C, 100% 20F, 1% 20I)
- Verkehrsfläche städtisch iHv € 171,13 (100% 20B, 10% 20C, 30%20E, 60% 20F, 10% 20G, 1% 20I, 100% 20P)
- Verkehrsfläche rural iHv € 76,25 (40% 20B, 4% 20C, 40% 20E, 60% 20T, 12% 20U, 12% 20V)
- Kabelpflug iHv € 19,25 (100% 20J, 10% 20C)

Den einzelnen Landnutzungsklassen wurden die am besten entsprechenden Kosten für die einzelnen Bodenarten zugewiesen. Für zu vermeidende Landnutzungsklassen (z.B. Gewässer, Flughäfen, Friedhöfe) wurde wiederum als prohibitiver Wert € 500,- angesetzt.

Auch beim Datensatz FFG wurden in einem nächsten Schritt Luftverkabelung und Kostenersparnis durch Mitverlegung wie im Vorgängerverfahren M 1.5/15 bzw. wie beim Datensatz TMA entsprechend den Werten in Tabelle 2 berücksichtigt. Weiters wurde für Landnutzungsklassen mit der Bodenart „unbefestigt“ auch die Verwendung

³¹ Bei den in den Kosten berücksichtigten Anteilen einzelner Positionen handelt es sich um Annahmen des Gutachterteams.

eines Kabelpflugs berücksichtigt (60% rural, 36% kleinstädtisch), wobei dies nur für nicht von Luftverkabelung und Mitverlegung betroffene Streckenanteile erfolgte.

Der Datensatz FFG ist im Anhang C dargestellt

4.3.5 Kritische Würdigung der Datensätze

Die von A1TA übermittelten Werte zu den Tiefbaukosten sind erheblich höher als die in vergangenen Verfahren angesetzten Werte. Auch fallen die Ergebnisse des Systems RTR_ACCNET bzw. die daraus im Rahmen der statistischen Hochrechnung abgeleiteten Werte (vgl. Tabelle 8) etwa doppelt so hoch aus, wie jene des Datensatzes „TMA“. Um die Tiefbaukosten von A1TA und TMA zu prüfen bzw. zu plausibilisieren, hat das Gutachterteam den Datensatz FFG zum Vergleich erstellt. Dabei zeigt sich, dass die mit dem FFG-Datensatz ermittelten Kosten etwas unter jenen, die mit dem TMA-Datensatz ermittelt wurden, zu liegen kommen. Auch wenn die von dem Gutachterteam auf Basis von FFG-Werten vorsichtig ermittelten Tiefbaukosten die tatsächlichen Kosten möglicherweise etwas unterschätzen, so zeigt sich dennoch, dass der TMA-Datensatz im Vergleich zum A1TA-Datensatz der deutlich plausiblere ist (und keinem „Bias“ nach unten unterliegt). Darüber hinaus entzieht sich der Datensatz von A1TA einer Verwendung als Entscheidungsgrundlage im gegenständlichen Verfahren, da A1TA im Zuge der Datenübermittlung darauf hingewiesen hatte, dass es sich bei den bereitgestellten Daten um Betriebs- und Geschäftsgeheimnisse von A1TA handle, die in diesem Detailgrad keinesfalls den übrigen Verfahrensparteien zugänglich gemacht werden dürften.

Das Gutachterteam erachtet daher den Datensatz TMA für die Festsetzung von kostenorientierten Entgelten als am besten geeignet.

4.4 Skalierung des Anschlussnetzes

Dem Modell liegen demographische Daten über die potentielle Nachfrage (potentielle Einheiten „PE“) nach Anschlüssen (Wohneinheiten sowie Gebäude ohne Wohneinheiten) und ihre geographische Verteilung zu Grunde (vgl. Abschnitt 4.2). Da diese potentielle Nachfrage jedoch weder mit der aktuellen Nachfrage (Anzahl Teilnehmer im Anschlussnetz von A1TA) noch mit einer allenfalls zukünftig zu erwartenden Nachfrage (Versorgungsgrad) zwangsläufig übereinstimmen muss, kann über entsprechende Faktoren (Ausdünnung der potentiellen Nachfrage) die Anzahl der modellierten Teilnehmeranschlüsse dynamisch skaliert werden.

Dazu übermittelte A1TA am 28.10.2020 aktuelle Nachfragedaten (Stichtag 30.09.2020) in Form einer Auswertung über genutzte Anschlüsse je Hauptverteiler in ihrem Netz. Um diese aktuelle Nachfrage der A1TA im Cu-Generator abzubilden, wurde die potentielle Nachfrage nach Teilnehmeranschlüssen anhand der in der folgenden Tabelle 4 dargestellten Ausdünnungsfaktoren³² für die in der Stichprobe berechneten Anschlussbereiche (je Geotyp) angepasst. Die 2.132.182 Teilnehmer entsprechen der gegenwärtigen Nachfrage im Netz von A1TA. Zu Ermittlung der

³² Die Gesamtmenge der theoretisch maximal in Frage kommenden (eben: potentiellen) Nachfrage (sämtliche Wohneinheiten zuzüglich Gebäude ohne Wohneinheiten) wird an die tatsächliche (geringere) Nachfrage im Cu-Anschlussnetz angepasst. Die so vorgenommene Bildung einer Teilmenge wird im System RTR_ACCNET als „Ausdünnung“ bezeichnet.

Ausdünnungsfaktoren wurden die Teilnehmer von A1TA je Geotyp zur jeweiligen potentiellen Nachfrage ins Verhältnis gesetzt.

Tabelle 4: Ausdünnungsfaktoren Cu-Generator für die Anschlussbereiche in der Stichprobe

Geotyp	aktuelle Nachfrage A1TA	
	Faktor	Teilnehmer
C1	42%	587.629
C2	45%	461.466
C3	47%	196.085
C4	41%	124.558
C5	45%	75.975
C6	46%	185.760
C7	45%	154.145
C8	47%	51.011
C9	47%	295.553
Gesamt	44%	2.132.182

Für die Zwecke der virtuellen Entbündelung wird, wie in Abschnitt 4.1.3 beschrieben, im Sinne einer vorausschauenden Betrachtungsweise der NGA-Ausbau in Form eines FTTB/H-Netzes berechnet, wobei für dichter besiedelte Gebiete (Geotypen C1, C2, C3) eine vollständige (100%) Netzabdeckung der aktuellen Nachfrage von A1TA unterstellt wird. Für alle anderen Gebiete wird ein Ausbaugrad von 90% unterstellt, wobei die 10% teuersten Anschlussobjekte unversorgt bleiben. Das Gutachterteam erachtet einen solchen Ausbaugrad als durchaus optimistisch und geht dabei für die Regulierungsperiode von 5 Jahren eher von einer Überschätzung als einer Unterschätzung aus.³³

4.5 Berechnete Szenarien

In der Netzmodellierung RTR_ACCNET werden Investitionswerte für jeden einzelnen Anschlussbereich der Stichprobe basierend auf jedem der drei Inputparameterdatensätze für die virtuelle Entbündelung (NGA-Solver, vgl. Abschnitt 4.1.3) berechnet.

Für jeden der drei Datensätze wird ein Szenario mittels des NGA-Solver berechnet. Jedes der drei Szenarien wird zweimal berechnet: Wie in Abschnitt 4.4 beschrieben, wird die potentielle Nachfrage mittels Ausdünnungsfaktoren an die tatsächliche aktuelle Nachfrage im Anschlussnetz von A1TA angepasst. Die Ausdünnung kann dabei gleichmäßig über die Fläche des jeweiligen betrachteten Anschlussbereichs erfolgen („*equalized*“) oder unter der Prämisse, dass bei der Ausdünnung keine Anschlussobjekte wegfallen („*maintain objects*“). Diese unterschiedlichen Ausdünnungsstrategien werden im System RTR_ACCNET mit dem Strukturparameter „ReductionPEStrategy“ festgelegt.³⁴ Dieser bewirkt, dass bei der Ausdünnungsstrategie *maintain objects* für ein Anschlussobjekt (z.B. Wohngebäude) nur die Anzahl der Teilnehmer (Haushalte) reduziert wird, nicht aber die Grabungskosten zur Erschließung des Gebäudes entfallen, weil zumindest noch ein

³³ Selbst in einer sehr langfristigen Betrachtung ist davon auszugehen, dass besonders teure Anschlussobjekte nicht mit fester, sondern mit mobiler Infrastruktur angebunden werden.

³⁴ vgl. *Forschungsgesellschaft der FH Kärnten* (2015a), S. 8

Haushalt als Nachfrage erhalten bleibt. Dieser Umstand wirkt sich insbesondere in weniger dicht besiedelten Gebieten aus und bewirkt dort höhere Kosten.

Im Vorgängerverfahren M 1.5/15 wurde diesbezüglich dem Vorbringen von A1TA gefolgt, dass die von den Gutachtern ursprünglich gewählte Einstellung „*equalized*“ die Kosten unterschätze, während es bei der alternativen Einstellung „*maintain objects*“ zu einer Überschätzung der Kosten käme, wobei eine Mittelwertbildung der beiden Ergebnisse der Realität am nächsten käme.³⁵ Dieser Sichtweise schloss sich das Gutachterteam im Verfahren M 1.5/15 an und behält diese Vorgehensweise auch im gegenständlichen Verfahren bei.

Die für die repräsentative Stichprobe ermittelten Investitionswerte sind im Anhang D ausgewiesen und werden in der folgenden statistischen Hochrechnung herangezogen, um die Investitionswerte für alle Anschlussbereiche zu ermitteln.

³⁵ vgl. *Hart/Lukanowicz* (2017)

5 Die statistische Hochrechnung

Im vorangegangenen Abschnitt 4 zur Netzmodellierung wurde die Berechnung der Bottom-Up-Investitionswerte für die Stichprobe von 85 Anschlussbereichen (vgl. Anhang B) erläutert. Diese Investitionswerte (abhängige Variable in der statistischen Hochrechnung) liegen sowohl als Gesamtwert je Anschlussbereich („Total Cost“ – TC) sowie als Wert je Anschluss („Line Cost“ – LC) vor.

In diesem Abschnitt geht es nun darum, die Ergebnisse der Stichprobe mittels statistischer Hochrechnung auf alle rd. 1.400 Anschlussbereiche umzulegen. Dazu werden unterschiedliche Variablen identifiziert (Multivariates Modell), die das Stichprobenergebnis möglichst gut erklären können. Für die statistische Hochrechnung wurde im gegenständlichen Verfahren dieselbe Vorgehensweise angewendet wie im Vorgängerverfahren M 1.5/15.³⁶

Ziel der statistischen Hochrechnung ist es, einen möglichst hohen Erklärungsgrad zu erreichen; dieser steht gewissermaßen für die Qualität bzw. Güte der Hochrechnung (statistisches Modell). Als eine Maßzahl dafür dient beispielsweise das so genannte „Bestimmtheitsmaß“. Je näher sich der Wert des Bestimmtheitsmaßes³⁷ an den Wert 1 annähert, desto höher ist die Qualität der Ergebnisse der statistischen Hochrechnung. Im vorliegenden Fall konnten gute Bestimmtheitsmaße über 0,70, zumeist über 0,8 erreicht werden.

Das Ziel dieses Abschnitts ist es also, auf Basis der Daten von bereits optimierten und durchgerechneten 85 Anschlussbereichen ein statistisches Modell zu entwerfen, das die Investitionskosten je TASL für die restlichen Anschlussbereiche möglichst genau prognostiziert.

Dabei werden zwei Herangehensweisen (Modellansätze) gewählt und die Ergebnisse einander gegenübergestellt. Einerseits erfolgt die Abschätzung der durchschnittlichen Kosten je TASL der Grundgesamtheit unmittelbar aus den TASL-Kosten der optimierten und durchgerechneten Anschlussbereiche (Durchschnittskosten) andererseits durch Prognose der Gesamtkosten je Anschlussbereich der Grundgesamtheit und anschließender Division durch die aktiven Teilnehmeranschlüsse.

Aus den Prognosewerten sollen durchschnittliche Kosten je TASL ermittelt werden. Für die Schätzung steht neben einer Batterie (31) soziodemografischer Variablen die Typisierung der Anschlussbereiche in Form von 9 Clustern nach *Feilmayr/Kalasek* (2000) zur Verfügung.

5.1 Modellselektion

Aufgrund der großen Zahl der potentiellen (erklärenden) Variablen und der geringen Anzahl von Beobachtungen wurde als Prognosemodell ein Multivariates Regressionsmodell verwendet. Multivariate Regressionsmodelle haben sich in einer

³⁶ vgl. *Hartl/Lukanowicz* (2016)

³⁷ Als Bestimmtheitsmaß dient „*r-Quadrat*“ bzw. das „*korrigierte r-Quadrat*“.

Reihe von betriebswirtschaftlichen Anwendungen, insbesondere bei Prognose- und Clusterproblemen, als robustes und effizientes Werkzeug herausgestellt. Zur Schätzung der Parameter des Modells wurde ein OLS-Schätzer (ordinary least squares) verwendet. Als erklärende Variablen (Parameter) wurden während der Modellselektion (Schritt für Schritt) solche hinzugefügt, die einerseits einen größtmöglichen Unterschied des Kriteriums zwischen dem umfassenderen und dem reduzierten Modell lieferten und andererseits der entsprechende Parameter auch statistisch signifikant war.

Als Kriterium für die Selektion von Modellparametern wurde das Schwarz Bayesian Information Criterion (SBC oder BIC) verwendet:

$$BIC = n \ln(MSE) + k \ln(n)$$

Formel 1: Schwarz Bayesian Information Criterion (SBC oder BIC)

wobei n die Anzahl der Beobachtungen, k die Anzahl der Modellparameter und MSE den Mean Squared Error (die mittlere quadratische Abweichung der tatsächlichen Werte zu den geschätzten Werten) bezeichnet.

Für jedes der sechs Szenarien wurde auf diese Weise ein optimales Prognosemodell ermittelt. Die Parameter können der Tabelle 22 in Anhang E entnommen werden.

5.2 Die erklärenden Modellvariablen

Neben einer Konstanten (Intercept), erwiesen sich auch clusterspezifische Dummy-Variablen als signifikant. Die Variable GeoTyp 1 beispielsweise nimmt den Wert 1 an, wenn ein Anschlussbereich zu Cluster 1 gehört, ansonsten den Wert 0.

Aus der Vielzahl der zur Verfügung stehenden Variablen wurden neben den clusterspezifischen Dummy-Variablen (GeoTyp 1 bis Geotyp 9) die folgenden 12 Variablen in den Prognosemodellen verwendet:

1. Siedlungspunkte 2003: die Anzahl der Siedlungspunkte eines Anschlussbereichs laut Statistik Austria. Die Daten stammen zwar aus dem Jahr 2003, jedoch kann davon ausgegangen werden, dass sich strukturell seit damals wenig geändert hat.³⁸
2. Anteil [%] des Dauersiedlungsraums: eine Kennzahl, die den Anteil des Dauersiedlungsraums an der Gesamtfläche eines Anschlussbereichs darstellt.
3. Bebautes Gebiet [km²]: die bebaute Fläche eines Anschlussbereichs laut Vektorkartenprodukt WIGeoStreet der WIGeoGIS Softwareerstellung- und Handelsgesellschaft m.b.H., basierend auf der MultiNet-Datenbank des Navigationsdatenanbieters TomTom. Die Fläche ist wesentlich kleiner als der Dauersiedlungsraum.

³⁸ Festzuhalten ist, dass das Alter der Daten in der Hochrechnung von untergeordneter Bedeutung ist, solange die Variable Zusammenhänge erklären kann, statistisch signifikant ist und sowohl bei der Schätzung als auch bei der anschließenden Hochrechnung auf dieselbe Datenquelle zurückgegriffen wird.

4. Anteil % bebautes Gebiet: eine Kennzahl, die den Anteil des bebauten Gebiets an der Gesamtfläche eines Anschlussbereichs darstellt
5. Straßenlänge [km]: Länge der Straßen und Plätze – laut Vektorkartenprodukt WIGeoStreet der WIGeoGIS Softwareerstellungs- und Handelsgesellschaft m.b.H., basierend auf der MultiNet-Datenbank des Navigationsdatenanbieters TomTom – im Anschlussbereich
6. Straße % Bund: eine Kennzahl, die den Anteil der Bundesstraßen an der gesamten Straßenlänge – laut Vektorkartenprodukt WIGeoStreet der WIGeoGIS Softwareerstellungs- und Handelsgesellschaft m.b.H., basierend auf der MultiNet-Datenbank des Navigationsdatenanbieters TomTom – in einem Anschlussbereich darstellt.
7. Anzahl Gebäude 2014: die Anzahl der Gebäude eines Anschlussbereichs laut regionalstatistischer Rastereinheiten der Statistik Austria.
8. Personen mit HWS 2014 je km²: eine Kennzahl, die aus der Anzahl der hauptwohnsitzgemeldeten Personen und der Fläche eines Anschlussbereiches errechnet wird.
9. Personen mit NWS 2014: Anzahl der nebenwohnsitzgemeldeten Personen
10. Personen mit NWS 2014 je Wohngebäude: eine Kennzahl, die aus der Anzahl der nebenwohnsitzgemeldeten Personen und der Anzahl der Wohngebäude in einem Anschlussbereich errechnet wird.
11. Personen mit HWS+NWS 2015 je Wohngebäude: eine Kennzahl, die aus der Anzahl der haupt- und nebenwohnsitzgemeldeten Personen und der Anzahl der Wohngebäude in einem Anschlussbereich errechnet wird.
12. Herold Unternehmensstandorte 2007: Anzahl von Standorten von Unternehmen im Anschlussbereich aus. Herold Unternehmensdaten und Verschneidung mit den Anschlussbereichsgrenzen von A1TA.

Die erklärenden Modellvariablen wurden teils in nichtlogarithmischer und logarithmischer („ln“) Form angewendet (vgl. Tabelle 22 in Anhang E).

5.3 Ergebnisse der statistischen Hochrechnung

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der beiden statistischen Modellansätze („Total Cost“ – TC sowie „Line Cost“ – LC) für die drei durchgerechneten Szenarien dargestellt.

Aus den beiden Ansätzen der statistischen Hochrechnung ergeben sich für die durchschnittlichen Investitionen je Teilnehmeranschluss der drei Szenarien die folgenden Werte (vgl. Tabelle 5):

Tabelle 5: Investitionen je Anschluss

<i>Durchschnittskosten</i>	<i>FTTH/B</i>	
	<i>stat Ansatz Total Cost</i>	<i>stat Ansatz Line Cost</i>
A1TA	3.137 €	3.214 €
TMA	1.504 €	1.578 €
FFG	1.256 €	1.318 €

Die statistische Hochrechnung konnte dabei die in Tabelle 6 ausgewiesenen adjustierten Bestimmtheitsmaße erreichen.

Tabelle 6: adjustierte Bestimmtheitsmaße (adj R²)

<i>Bestimmtheitsmaß</i>	<i>FTTH/B</i>	
	<i>stat Ansatz Total Cost</i>	<i>stat Ansatz Line Cost</i>
A1TA	0,869	0,804
TMA	0,900	0,837
FFG	0,896	0,842

Diese Investitionen je Teilnehmeranschluss werden im folgenden Schritt in monatliche Kosten umgerechnet.

6 Ermittlung der monatlichen Kosten

Das System RTR_ACCNET sowie die darauffolgende statistische Hochrechnung liefern die Werte für Einmalinvestitionen zur Errichtung der Anschlussnetzinfrastruktur (CAPEX). Diese einmaligen Investitionswerte je Teilnehmeranschlussleitung werden in der weiteren Folge der Berechnungen im Modul zur Kostenermittlung auf monatliche Werte umgelegt (Annuisierung der CAPEX) und dabei um Kostenbestandteile wie Zinskosten und in Folge um Betriebskosten und Overhead (OPEX) ergänzt.

6.1 Dynamischer Ansatz

Bei einem dynamischen Ansatz werden die Kosten der Abschreibung für die Investitionen sowie die Zinskosten für gebundenes Kapital in einer gemeinsamen über die Zeit konstanten Zahlung (Annuität) vereint. Dazu wird die Investition mit einem entsprechenden Annuitätenfaktor multipliziert, der auch die Zinseszinsseffekte berücksichtigt.

Die monatlichen Mietkosten je Teilnehmeranschlussleitung errechnen sich diesem Ansatz folgend aus der Multiplikation des Investitionswertes je Teilnehmeranschlussleitung mit dem Annuitätenfaktor RI_{ann} , wobei zusätzlich weitere Kostenbestandteile (Zusatzkosten, Mark-Up, Betriebskostenaufschlag) hinzugerechnet werden.

Folgende Formeln stellen die Berechnungsmethodik für die monatlichen Mietkosten nach dem dynamischen Ansatz dar:

$$\text{monatliche Mietkosten} = (\text{Invest} * RI_{ann} + \text{Zusatzkosten} + \text{Markup} + Bka) * \frac{1}{12}$$

Formel 2: Berechnung der jährlichen Mietkosten in einem dynamischen Ansatz

$$RI_{ann} = \frac{1}{q} * \frac{(1-q)}{(1-q^n)} \quad \text{wobei} \quad q = \frac{1}{1+WACC}$$

Formel 3: Berechnung des Annuitätenfaktors

wobei $n =$ wirtschaftliche Nutzungsdauer der Investition
 $WACC =$ Kapitalkostenzinssatz (Weighted Average Cost of Capital).
 $Bka =$ Betriebskostenaufschlag

Die monatlichen Mietkosten je Teilnehmeranschlussleitung errechnen sich auch hier, wie oben in Formel 2 dargestellt, aus der Multiplikation des Investitionswertes je Teilnehmeranschlussleitung mit dem Annuitätenfaktor RI_{ann} , wobei zusätzlich weitere Kostenbestandteile (Zusatzkosten, Mark-Up, Betriebskostenaufschlag) hinzugerechnet werden.

Dieser Ansatz gelangt auch bei der Berechnung margin squeeze-freier Entbündelungsentgelte mittels des Economic Replicability Test (ERT) zur Anwendung.³⁹

6.2 Die Parameter des Kostenmoduls

wirtschaftliche Nutzungsdauer (n):

Die typische wirtschaftliche Nutzungsdauer von Kupferkabeln und von Glasfaserkabeln beträgt 20 Jahre.⁴⁰ Für das Anschlussnetz (sowohl reines Kupferanschlussnetz als auch NGA-Netz) wird von den Gutachtern daher eine wirtschaftliche Nutzungsdauer von 20 Jahren angesetzt.

Zusatzkosten:

Da ein Bottom-Up-Modell die „reinen“ Investitionskosten eines Anschlussbereiches ermittelt, sind jährliche OPEX-Kosten zusätzlich bei der Berechnung der monatlichen Mietkosten zu berücksichtigen. Die Zusatzkosten stellen jährliche Kosten je Teilnehmeranschlussleitung für Planzeug und Evidenthaltung dar (technisches Back-Office). Von den Gutachtern wurde dafür der Wert aus dem Vorgängerverfahren M 1.5/15 iHv € 4,65 herangezogen.⁴¹

Betriebskostenaufschlag (Bka):

Der Betriebskostenaufschlag dient zur Deckung von operativen Kosten im Anschlussnetz für Schäden, die nicht von Dritten zu beheben sind, sowie für erforderliche Umlegungen von Kabeln. Die Schäden umfassen z.B. Kabelbrüche, die durch Erdbewegungen oder Straßeneinbrüche entstehen, bei denen kein Verursacher ermittelt werden kann (im Gegensatz zu sonstigen Bauarbeiten (Dritter), bei denen ein Kabel beschädigt wird). Umlegungen werden dann erforderlich, wenn „im laufenden Betrieb“ Erneuerungsinvestitionen notwendig sind. Der Betriebskostenaufschlag wird hier als investitionsbezogener Wert dargestellt: Von den Gutachtern wurde dafür der Wert aus dem Vorgängerverfahren M 1.5/15 iHv € 2 % der Investition herangezogen.⁴²

Mark-Up:

Der Mark-Up iHv 16,2% als Aufschlag zu den direkt zurechenbaren Kosten (= Abschreibung + Zusatzkosten + Betriebskostenaufschlag) dient zur Deckung der Unternehmensgemeinkosten („Overhead“). Darunter sind beispielsweise Kosten für das Rechnungswesen etc. zu verstehen. Kosten der Vertriebsebene sind darin jedenfalls nicht enthalten. Das Wirtschaftsprüfungs-, Steuerberatungs- und Unternehmens- bzw. Managementberatungsunternehmen Ernst & Young bestätigte in einem vom VAT beauftragten Privatgutachten den Wert von 16,20% für den Mark-

³⁹ vgl. Hartl, B./Pisjak, P./Schramm, W./Schwarz, A. (2021), Abschnitt 4.5.2.1

⁴⁰ vgl. *Frontier Economics* (2011), S15 bzw. amtliche deutsche AfA-Tabelle, Fernmeldedienste, Unterabschnitt 2.5.2.

⁴¹ vgl. Hartl/Lukanowicz (2016), S. 39

⁴² vgl. Hartl/Lukanowicz (2016), S. 39

Up und ermittelte in einer Erhebung unter 51 Unternehmen selbst einen Wert von 16,10%.⁴³ Der Wert von 16,20% wurde in dem Vorgängerverfahren M 1.5/15⁴⁴ herangezogen und ist nach Ansicht der Gutachter auch heute nicht unplausibel.

6.3 Kapitalkostenzinssatz (WACC)

Der Kalkulationszinssatz dient der Ermittlung der kalkulatorischen Verzinsung des eingesetzten Kapitals. Der gewichtete durchschnittliche Kapitalkostenzinssatz (Weighted Average Cost of Capital, WACC) einer Unternehmung ist eine wichtige Kennzahl sowohl für die Bewertung der Aktien durch die Anleger/innen als auch für das Management des Unternehmens für die Kapitalbedarfsrechnung und für Investitionsentscheidungen. Die Kapitalkosten stellen in der Kostenrechnung von Telekommunikationsnetzen einen bedeutenden Kostenfaktor dar.

Für die Ermittlung des WACC ist die Bestimmung der zugrundeliegenden Parameter notwendig. Dabei erfolgt in einem ersten Schritt die Bestimmung des risikolosen Zinssatzes (Risk Free Rate) für Eigen- und Fremdkapitalkosten. In weiteren Schritten werden die übrigen Parameter zur Ermittlung der Eigen- und Fremdkapitalkosten festgelegt. Diese werden schließlich entsprechend der Kapitalstruktur gewichtet, um die Gesamtkapitalkosten zu errechnen.⁴⁵

Die geforderte Rendite der Fremdkapitalgeber stellt die Entlohnung für die Bereitstellung des Fremdkapitals dar (Bankkredite, Anleihen etc.). Zur Ermittlung derselben gibt es zwei Ansätze für die Ermittlung des FK-Risikoaufschlages: Entweder pagatorisch über die in der Vergangenheit tatsächlich geleisteten Zinszahlungen oder zukunftsorientiert, mit einer Schätzung der Fremdkapitalkosten, die jene Verzinsung wiedergeben, die von der Unternehmung für neu aufzunehmendes Fremdkapital anzubieten wäre. Dieser Aufschlag wird zum risikolosen Zinssatz addiert, um die geforderte Rendite des Fremdkapitals zu erhalten.

Die Ermittlung der geforderten Rendite der Eigenkapitalgeber erweist sich als komplexer. Sie kann mit Hilfe des Capital Asset Pricing Models (CAPM) ermittelt werden. Die Rendite ergibt sich aus dem risikolosen Zinssatz, vermehrt um eine Prämie für nichtdiversifizierbares Risiko. Diese Risikoprämie ist gleich dem Beta (β) der Investition, multipliziert mit der Risikoprämie des Marktes.

Das CAPM teilt das Gesamtrisiko, das ein Investor trägt, in zwei Komponenten. Die erste Komponente ist ein systematischer (nichtdiversifizierbarer), die zweite Komponente ein unsystematischer (diversifizierbarer) Teil. Das CAPM impliziert, dass ein funktionierender Kapitalmarkt erwartete Renditen produzieren wird, die die Investoren ausschließlich für das nichtdiversifizierbare Risiko entschädigen. Das unsystematische Risiko kann in einem effizienten Portefeuille wegdiversifiziert werden und ist deshalb den Investoren auch nicht extra abzugelten. Das Maß für nichtdiversifizierbares Risiko ist das Beta (β) eines Investitionsprojektes. Während der Wert von β im Falle einer risikolosen Kapitalanlage bei Null liegt, besitzt das

⁴³ Ernst & Young (1999), S. 56

⁴⁴ vgl. Hartl/Lukanowicz (2016), S. 39f

⁴⁵ vgl. IRG (2007) bzw. Europäische Kommission (2019b) und Europäische Kommission (2019a)

Marktportefeuille ein β von Eins. Ein Projekt mit einem β von über Eins weist daher mehr nichtdiversifizierbares Risiko auf als der Marktdurchschnitt. In der Praxis werden die Betas mittels linearer Regressionsanalyse ermittelt. Hierbei werden historische Renditen einer Aktie auf die Markttrenditen regressiert. Im Zuge der Ermittlung des Betas im Zusammenhang mit Regulierungsaufgaben werden zur Bestimmung der Betas Benchmark-Ansätze (ein Vergleich mit börsennotierten Unternehmen im gleichen Geschäftsfeld, d.h. auch mit gleichem Risiko) herangezogen. Um bei einem solchen Vergleich unterschiedliche Kapitalstrukturen außer Acht zu lassen, werden die Betas der einzelnen Vergleichsunternehmen mit der jeweiligen Kapitalstruktur „delevered“, das Benchmark-Beta wird anschließend mit der zu verwendenden Kapitalstruktur „re-levered“.

Nach der Ermittlung der Fremd- und Eigenkapitalkosten werden diese (unter Berücksichtigung von Steuern bei den Fremdkapitalkosten) nach dem jeweiligen Anteil für Fremd- und Eigenkapital gewichtet. Dazu werden in vielen Fällen die Marktwerte des Fremd- und Eigenkapitals herangezogen, jedoch ist auch die Verwendung einer Zielkapitalstruktur weit verbreitet.

Zur Vereinheitlichung der Berechnung von Kapitalkostenzinssätze durch die nationalen Regulierungsbehörden hielt die Europäische Kommission den Rahmen dafür in ihrer Mitteilung 2019/C 25/01 fest.⁴⁶ BEREC kommt dabei die Rolle zu, die Parameter für die Berechnung des Kapitalkostenzinssatzes zu erheben und zu veröffentlichen. Der in der Mitteilung festgesetzte Rahmen sowie die von BEREC veröffentlichten Werte werden als Prüfmaßstab im Rahmen der Notifizierung von Entscheidungen nationaler Regulierungsbehörden bei der Europäischen Kommission gem. Artikel 7 der Rahmenrichtlinie herangezogen. Damit erlangen die von der Europäischen Kommission festgelegte Methodik und die von BEREC dazu veröffentlichten Parameter faktisch bindende Wirkung.

BEREC veröffentlichte im Juni 2020 den ersten Bericht zu den Parametern für die Berechnung der Kapitalkosten (WACC-parameters Report 2020).⁴⁷ BEREC hielt sich in diesem Bericht eng an die Vorgaben der Mitteilung 2019/C 25/01. Aus Sicht des Gutachtertteams ist die Ermittlung der WACC-Parameter durch BEREC nachvollziehbar. Im Rahmen der Ermittlung der WACC-Parameter werden im Bericht von BEREC u.a. WACC-Parameter einer Peergroup veröffentlicht, wobei A1TA in dieser Peergroup enthalten ist. Es werden in dem WACC-parameters Report 2020 somit explizit Parameter für A1TA festgehalten. Diese von BEREC für A1TA ermittelten Werte folgen den Vorgaben der Europäischen Kommission und sind aus Sicht des Gutachtertteams geeignet, für die Berechnung des Kapitalkostenzinssatzes herangezogen zu werden. Das Gutachtertteam sieht keinen Grund, von den Leitlinien der Europäischen Kommission und den von BEREC dazu ermittelten Parametern abzuweichen. Diese Parameter sind daher der Berechnung in Tabelle 7 zu Grunde gelegt.

⁴⁶ vgl. *Europäische Kommission* (2019b) und *Europäische Kommission* (2019a)

⁴⁷ vgl. *BEREC* (2020)

Das Gutachterteam hat daher den für A1TA aktuellen Kapitalkostenzinssatz wie folgt ermittelt:

Tabelle 7: Berechnung des WACC und Parameter

Parameter	Formel	Wert	Quelle:
Risk Free Rate	R_f	0,46%	BEREC (2020) Tab. 12
Relevered Beta	$\beta_l = \beta_u \left(1 + (1 - s_k) \frac{D}{E} \right)$	0,69	BEREC (2020) Tab. 12
Marktrisikoprämie	R_m	5,31%	BEREC (2020) Tab. 10 ⁴⁸
Eigenkapitalrendite	$R_e = R_f + \beta_l (R_m - R_f)$	4,12%	berechnet
Kreditrisikoprämie	P_D	0,81%	BEREC (2020) Tab. 12
Fremdkapitalrendite	$R_d = R_f + P_D$	1,27%	BEREC (2020) Tab. 12
Anteil Eigenkapital	E	58,18%	berechnet =(1-D)
Anteil Fremdkapital	D	41,82%	BEREC (2020) Tab. 12
Steuersatz	s_k	25%	§22(1) KStG
WACC nach Steuern	$WACC_{nach\ Steuern} = R_e \left(\frac{E}{GK} \right) + R_d (1 - s_k) \left(\frac{D}{GK} \right)$	2,80%	berechnet
WACC vor Steuern	$WACC_{vor\ Steuern} = WACC_{nach\ Steuern} / (1 - s_k)$	3,73%	berechnet

Somit ergibt sich der vom Gutachterteam berechnete Kapitalkostenzinssatz für A1TA nach der Methode der WACC in der Höhe von 3,73% vor Steuern.

⁴⁸ Zur Anwendung des arithmetischen Mittelwertes aus Tabelle 10 in BEREC (2020) für die Marktrisikoprämie vgl. Pkt. 29 in Europäische Kommission (2019b).

7 Ergebnisse

Aus der statistischen Hochrechnung (vgl. Abschnitt 5) ergeben sich die durchschnittlichen Investitionen je Teilnehmeranschlussleitung aus den Mittelwerten der beiden statistischen Ansätze „Total Cost“ – TC sowie „Line Cost“ – LC (vgl. Tabelle 8).

Tabelle 8: Investitionen je TASL (Mittelwerte aus den statistischen Ansätzen)

Inputparameterdatensatz	FTTH/B
A1TA	3.175,50 €
TMA	1.541,00 €
FFG	1.287,00 €

Aus diesen Investitionen je Teilnehmeranschlussleistung werden, wie im vorgehenden Abschnitt 6 beschrieben, monatliche Kosten ermittelt (vgl. Tabelle 9).

Tabelle 9: monatliche Kosten je Anschluss

Inputparameterdatensatz	FTTH/B
A1TA	21,63 €
TMA	10,73 €
FFG	9,03 €

Unter Zugrundelegung der aktuellen Nachfrage der A1TA kommen die monatlichen Kosten je nach Ansatz für FTTH/B zwischen € 9,03 und 21,63 zu liegen.

Wie aus den Ergebnissen des Systems RTR_ACCNET bzw. aus den daraus abgeleiteten Werten aus der statistischen Hochrechnung ersichtlich (vgl. Tabelle 8) sind die Ergebnisse des Datensatzes A1TA etwa doppelt so hoch, wie jene des Datensatzes TMA, während der Abstand zwischen dem Datensatz TMA und dem Datensatz FFG weniger als 20% beträgt. Auch kommen die Ergebnisse des Datensatzes A1TA erheblich über den Ergebnissen vergangener Verfahren zu liegen.⁴⁹ Wie bereits in Abschnitt 4.3.5 ausgeführt, erachtet das Gutachterteam die Tiefbaukosten des Datensatzes A1TA als zu hoch angesetzt, während der Datensatz FFG die Tiefbaukosten ev. unterschätzen könnte.

Das Gutachterteam erachtet daher die Ergebnisse des Datensatzes TMA für die Festsetzung von kostenorientierten Entgelten als am besten geeignet.

⁴⁹ vgl. etwa Hartl/Kopp/Lukanowicz/Pahs (2005), Hartl/Lukanowicz (2016), Hartl/Lukanowicz (2017)

8 Gutachterliches Fazit

Ob kostenorientierte Preise zur Anwendung gelangen sollen, hängt von der Ausgestaltung der Regulierungsmaßnahmen im Rahmen der Marktanalyse ab.

Für die Zwecke der virtuellen Entbündelung erachtet das Gutachterteam einen kostenorientierten Preis iHv € 10,73 als geeignet (z.B. für VE-Service von symmetrischen Bandbreiten).

9 Schlussbemerkungen

Wir versichern, das Gutachten nach bestem Wissen und Gewissen und aufgrund sorgfältiger Untersuchungen sowie der uns zur Verfügung gestellten Unterlagen und erteilten Auskünften erstellt zu haben:

Wien, am 08.03.2021

Bernd Hartl

10 Anhang A: Verzeichnisse

10.1 Literaturverzeichnis

Belfin R./Lukanowicz M. (1999): Ansatz der Forward Looking Long Run Incremental Costs zur Berechnung von kostenorientierten Zusammenschaltungs-entgelten, Positionspapier der Telekom-Control Österreichische Gesellschaft für Telekommunikationsregulierung mbH, Wien 1999

https://www.rtr.at/TKP/was_wir_tun/telekommunikation/wettbewerbsregulierung/zusammenschaltung/FL-LRAIC_Positionspapier.pdf

BEREC (2020): BEREC Report on WACC parameter calculations according to the European Commission's WACC Notice of 7th November 2019 (WACC parameters Report 2020), BoR (20) 116, 12 June,

https://bereg.europa.eu/eng/document/register/subject_matter/bereg/download/0/9364-berec-report-on-wacc-parameter-calculati_0.pdf

Bertl, Romuald. (2010): Unternehmenswerte im Jahresabschluss, in: Bertl, Romuald/Eberhartinger, Eva/Egger, Anton/Kalss, Susanne/Lang, Michael/Nowotny, Christian/Riegler, Christian/Schuch, Josef/Staringer, Claus, (Hrsg) (2010): Bewertung in volatilen Zeiten - Wiener Bilanzrechtstage 2010, Wien, S 85-106

Ernst & Young (1999): Gutachten über die Bestimmung des Mietpreises für eine Teilnehmeranschlussleitung im Ortsnetzbereich; (Auftraggeber: VAT), Jänner 1999

Europäische Kommission (2010): Empfehlung 2010/572/EU der Europäischen Kommission vom 20. September 2010 über den regulierten Zugang zu Zugangsnetzen der nächsten Generation (NGA), ABl L 124 vom 25.9. 2010, S. 35

Europäische Kommission (2013a): Empfehlung 2013/466/EU der Europäischen Kommission vom 11. September 2013 über einheitliche Nichtdiskriminierungsverpflichtungen und Kostenrechnungsmethoden zur Förderung des Wettbewerbs und zur Verbesserung des Umfelds für Breitbandinvestitionen, ABl. L 251 vom 21.9.2013, S. 13

Europäische Kommission (2013b): Mitteilung 2013/C 25/01 der Europäischen Kommission über Leitlinien der EU für die Anwendung der Vorschriften über staatliche Beihilfen im Zusammenhang mit dem schnellen Breitbandausbau, ABl. C 25 vom 26.01.2013, S. 1

Europäische Kommission (2019a): Commission Staff Working Document Accompanying the document Communication from the Commission Commission Notice on the calculation of the cost of capital for legacy infrastructure in the context of the Commission's review of national notifications in the EU electronic communications sector, 5.11.2019

Europäische Kommission (2019b): Mitteilung 2019/C 375/01 der Kommission über die Berechnung der Kapitalkosten für Altinfrastrukturen im Zusammenhang mit der Prüfung nationaler Notifizierungen im Sektor der elektronischen Kommunikation in der EU durch die Kommission, ABL. C 375 vom 6.11.2019, S.1

Feilmayr, W./Kalasek, R. (2000): Klassifikation des österreichischen Siedlungsraums, Bericht für Telekom Control GmbH; 2000

Forschungsgesellschaft der FH Kärnten (2015a): Systembeschreibung RTR_ACCNET, Methoden- und User-Referenzen, Version 1.3 vom 13.6.2015, Spital/Drau (https://www.rtr.at/TKP/was_wir_tun/telekommunikation/wettbewerbsregulierung/kostenrechnung/RTR_ACCNET_Download_Manual_Reference_V1_3.pdf)

Forschungsgesellschaft der FH Kärnten (2015b): Benutzerhandbuch RTR_ACCNET, Installation und Betrieb, Version 1.2 vom 7.5.2015, Spital/Drau (https://www.rtr.at/TKP/was_wir_tun/telekommunikation/wettbewerbsregulierung/kostenrechnung/RTR_ACCNET_Download_Benutzerhandbuch_V1_2.pdf)

Frontier Economics (2011): Access network costing; a report prepared for Vodafone Group, Juni 2011

Groebel A./Schnepfleitner R (2000): Geographically averaged rates in the context of Local Loop Unbundling, - The Austrian and German Central European regulatory rationale – Prepared for the 11th European regional Conference on September 09-11, 2000 in Lausanne, Switzerland, Version 2.1 – August 2000

Hartl, B./Kopp, M./Lukanowicz M./Pahs M. (2005): Wirtschaftliches Gutachten für die Telekom-Control-Kommission in dem Verfahren Z 7/04, Juli 2005

Hartl, B./Lukanowicz M. (2016): Wirtschaftliches Gutachten über die dem monatlichen Überlassungsentgelt für die entbündelte Teilnehmeranschlussleitung zugrundeliegenden Kosten für die Telekom-Control-Kommission im Verfahren M 1.5/15, Jänner 2016

Hartl, B./Lukanowicz M. (2017): Ergänzung zum Wirtschaftlichen Gutachten über die dem monatlichen Überlassungsentgelt für die entbündelte Teilnehmeranschlussleitung zugrundeliegenden Kosten für die Telekom-Control-Kommission im Verfahren M 1.5/15, April 2017

Hartl, B./Pisjak, P./Schramm, W./Schwarz, A. (2021): Wirtschaftliches Gutachten für die Telekom-Control-Kommission im Verfahren M 1/20, Markt für den lokalen und zentralen Zugang, 08. März 2021

IRG (2007): Principles of Implementation and Best Practice for WACC calculation, February 2007

[https://www.accc.gov.au/system/files/11%20IRG\(2000\),%20Principles%20of%20implementation%20and%20best-practice%20regarding%20FL-LRIC%20cost%20modelling.pdf](https://www.accc.gov.au/system/files/11%20IRG(2000),%20Principles%20of%20implementation%20and%20best-practice%20regarding%20FL-LRIC%20cost%20modelling.pdf)

Kammer der Wirtschaftstreuhänder (2014): KFS/BW 1 - Fachgutachten des Fachsenats für Betriebswirtschaft und Organisation der Kammer der Wirtschaftstreuhänder zur Unternehmensbewertung, 26.03.2014

KPMG (2014): Kapitalkostenstudie 2014 - Risikoberücksichtigung, Risikoäquivalenz, Risikoteilung

RTR (2015): Referenzdokument zum NGA-Modell 2015 Bottom-Up-Kostenrechnungsmodell für den auf der Vorleistungsebene an festen Standorten lokal bereitgestellten Zugang, 29. Mai 2015, Wien

https://www.rtr.at/TKP/was_wir_tun/telekommunikation/wettbewerbsregulierung/kostenrechnung/Referenzdokument_zum_NGA-Modell_2015.pdf

Schneller, Thomas/Schwendener, Patrick (2010): Fundamentale Gesetze der Kapitalmarkttheorie wanken, in: Finanz und Wirtschaft, 28.4.2010, Zürich

Schneller, Thomas/Schwendener, Patrick/Elsaesser, Philipp (2010): Risiken von Aktienanlagen – Bestimmung der Marktrisikoprämie, in: Der Schweizer Treuhänder, 7.10.2010, Zürich

10.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Elemente des NGA-Modells 2015	13
Abbildung 2: Komponenten des Systems RTR_ACCNET	14

10.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Aktualisierung der Grabungskosten für Datensatz TMA	19
Tabelle 2: Faktoren für die Berücksichtigung von Luftverkabelung und Mitverlegung	20
Tabelle 3: Tiefbaukosten der FFG.....	21
Tabelle 4: Ausdünnungsfaktoren Cu-Generator für die Anschlussbereiche in der Stichprobe	23
Tabelle 5: Investitionen je Anschluss	28
Tabelle 6: adjustierte Bestimmtheitsmaße (adj R ²).....	28
Tabelle 7: Berechnung des WACC und Parameter	33
Tabelle 8: Investitionen je TASL (Mittelwerte aus den statistischen Ansätzen) .	34
Tabelle 9: monatliche Kosten je Anschluss	34
Tabelle 10: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Urban (C1)	42
Tabelle 11: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Suburban (C2).....	42
Tabelle 12: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Kleinstädtisch (C3)	42
Tabelle 13: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Touristisch Verdichtet (C4)	43
Tabelle 14: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Streusiedlung (C5)	43
Tabelle 15: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Streusiedlung mit Zentrum (C6)	43
Tabelle 16: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Anger-Straßenort (C7)	44
Tabelle 17: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Haufen-Reihenort (C8)	44
Tabelle 18: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Polyzentrisch (C9)	44
Tabelle 19: Datensatz TMA für das System RTR_ACCNET	45
Tabelle 20: Datensatz FFG für das System RTR_ACCNET.....	49
Tabelle 21: Output System RTR_ACCNET	53
Tabelle 22: Parameter der statistischen Hochrechnung	55

10.4 Formeln

Formel 1: Schwarz Bayesian Information Criterion (SBC oder BIC)	26
Formel 2: Berechnung der jährlichen Mietkosten in einem dynamischen Ansatz	29
Formel 3: Berechnung des Annuitätenfaktors.....	29

10.5 Abkürzungsverzeichnis

A1TA	A1 Telekom Austria AG
AfA	Abschreibung für Anschaffung
ARU	Access Remote Unit (DSLAM außerhalb des Hauptverteilerstandorts)
ASB	Anschlussbereich
BU-LRIC+	Bottom-Up Long-run Incremental Costs Plus
CAPEX	Capital Expenditures (Investitionskosten)
Cu-	Kupfer-
CuDA	Kupferdoppelader
DKM	Digitale Katastralmappe
DSLAM	Digital-Subscriber-Line-Access-Multiplexer
FFG	Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH
FL-LRAIC	Forward Looking Long Run Average Incremental Cost
FTTB	Fibre to the building (CuDA bis zum Hausverteiler)
FTTC	Fibre to the cabinet/curb (CuDA bis zum KVz)
FTTEx	Fibre to the exchange (CuDA bis zum HVt bzw. MPoP)
FTTH	Fibre to the home
FTTx	Fibre to the x (curb/building/home etc.)
H3A	Hutchison Drei Austria GmbH
HVt	Hauptverteiler
ISDN	Integrated Services Digital Network
KA	Kabelausschluss
KStG	Körperschaftssteuergesetz
KVz	Kabelverzweiger
MEA	Modern Equivalent Asset
MPoP	Metropolitan Point of Presence
NGA	Next-Generation-Access
NRB	Nationale Regulierungsbehörde
OPEX	Operational expenditure (Betriebskosten)
P2P	Point to Point Netz
PE	potentielle Einheiten
PON	Passive Optical Network
POTS	Plain Old Telephony Service
PSTN	Public Switched Telephone Network
RAB	Regulatory Asset Base
TASL	Teilnehmer-Anschlussleitung
TMA	T-Mobile Austria GmbH
VAT	Verband Alternativer Telekom-Netzbetreiber
WACC	Weighted Average Cost of Capital (Kapitalkostenzinssatz)

11 Anhang B: Anschlussbereiche der Stichprobe

Die in den folgenden Tabellen aufgelisteten Anschlussbereiche werden im Rahmen des NGA-Modells 2015 mit dem System RTR_ACCNET modelliert.

Tabelle 10: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Urban (C1)

Nr	Taskey	Name
1	222 23	Wien Kagran, W
2	222 52	Wien Krugerstraße, W
3	222 65	Wien Taubstummengasse, W
4	316 31	Graz Geidorf, Stmk
5	463 05	Klagenfurt Mitte, Ktn
6	512 04	Innsbruck Pradl, T
7	557402	Bregenz Mitte, Vbg
8	662 07	Salzburg Paris Lodron, Sbg
9	732 04	Linz Haydnstraße, OÖ

Tabelle 11: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Suburban (C2)

Nr	Taskey	Name
1	224402	Langenzersdorf, NÖ
2	274208	St. Pölten – Ost, NÖ
3	357702	Zeltweg, Stmk
4	435202	Wolfsberg, Ktn
5	523407	Axams, T
6	557702	Lustenau, Vbg
7	624702	Großmain, Sbg
8	732 22	Linz – Puchenau, OÖ

Tabelle 12: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Kleinstädtisch (C3)

Nr	Taskey	Name
1	266202	Gloggnitz, NÖ
2	268202	Eisenstadt, Bgld
3	295202	Hollabrunn, NÖ
4	317202	Weiz, Stmk
5	335202	Oberwart, Bgld
6	423202	Völkermarkt, Ktn
7	427602	Feldkirchen in Kärnten, Ktn
8	567702	Vils, T
9	724802	Grieskirchen, OÖ
10	775202	Ried im Innkreis, OÖ
11	794202	Freistadt, OÖ

Tabelle 13: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Touristisch Verdichtet (C4)

Nr	Taskey	Name
1	368702	Schladming, Stmk
2	425402	Faak am See, Ktn
3	525408	Vent, T
4	528902	Haeusling, T
5	535702	Kirchberg in Tirol, T
6	544405	Ischgl, T
7	555602	Schruns, Vbg
8	558302	Lech, Vbg
9	643202	Bad Hofgastein, Sbg
10	654102	Saalbach, Sbg

Tabelle 14: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Streusiedlung (C5)

Nr	Taskey	Name
1	264108	Otterthal, NÖ
2	311608	St. Stefan im Rosental, Ktn
3	333702	Vorau, Stmk
4	524502	Hinterriß, T
5	524802	Steinberg am Rofan, T
6	557908	Buch, Vbg
7	723407	Rottenegg, OÖ
8	747102	Neustadl an der Donau, NÖ
9	774302	Maria Schmolln, OÖ

Tabelle 15: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Streusiedlung mit Zentrum (C6)

Nr	Taskey	Name
1	263208	Miesenbach, NÖ
2	276902	Türnitz, NÖ
3	361702	Gaishorn, Stmk
4	426208	Guttaring, Ktn
5	485305	Ainet, T
6	487502	Matrei, T
7	551306	Hittisau, Vbg
8	641508	Goldegg, Sbg
9	727808	Natternbach, OÖ
10	747402	Euratsfeld, NÖ

Tabelle 16: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Anger-Straßenort (C7)

Nr	Taskey	Name
1	214502	Prellenkirchen, NÖ
2	217502	Apetlon, Bgld
3	225308	Tattendorf, NÖ
4	253602	Drösing, NÖ
5	261602	Lockenhaus, Bgld
6	263802	Winzendorf, NÖ
7	284908	Echsenbach, NÖ
8	294408	Pfaffendorf, NÖ

Tabelle 17: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Haufen-Reihenort (C8)

Nr	Taskey	Name
1	226208	Leobendorf, NÖ
2	262708	Erlach an der Pitten, NÖ
3	271402	Rossatz, NÖ
4	332702	St. Michael bei Güssing, Bgld
5	335207	Kemetten, Bgld
6	335402	Bernstein, Bgld
7	383302	Traboch, Stmk
8	428602	Weißbriach, Ktn
9	526505	Nassereith, T
10	552402	Satteins, Vbg
11	794908	Leopoldschlag, OÖ

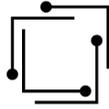
Tabelle 18: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Polyzentrisch (C9)

Nr	Taskey	Name
1	274502	Pyhra, NÖ
2	282702	Schönbach, NÖ
3	332902	Jennersdorf, Bgld
4	333802	Lafnitz, Stmk
5	358402	Neumarkt in der Stmk
6	423502	Bleiburg, Ktn
7	533802	Kundl, T
8	621702	Mattsee, Sbg
9	771402	Esternberg, OÖ

12 Anhang C: Inputparameter

Tabelle 19: Datensatz TMA für das System RTR_ACCNET

Cu-Generator					
Preprocessing					
Modell	Parameter	urban	suburban	kleinstädt	rural
Anpassungsfaktor potentielle Anschlussobjekte	KillOuterDist	100	100	100	97
Anschlussobjekte zusammenfassen	Graphendistanz	false	false	false	false
	Euklidische Distanz	true	true	true	true
	maximale Distanz (m)	500	500	500	500
	maximaler Demand	1000	1000	1000	1000
Anschlussobjekte vom Gebäude-schwerpunkt wegprojizieren	projizieren zu	Straßenanlage	Straßenanlage	Straßenanlage	Straßenanlage
Reduzierung des Demands	Reduktionsfaktor (%)	lt. Tab zu Ausdünnungsfaktoren			
	Reduktionsstrategie	Equalized/MaintainObjects			
Clustermodell					
Definition - Distanz:	kürzester Weg im Netzwerkgraphen:	<input type="text" value="nein"/>			
	Euklidische Punkt-zu-Punkt-Distanz	<input type="text" value="ja"/>			
Clustering-Parameter:	[1] maximale Distanz in Meter zwischen Versorgungszentrum und Anschlussobjekt in einem Sub-Netz der Netzebene [2] maximale Summe der potentiellen Einheiten [2] in einem Sub-Netz der Netzebene				
	HVKreis	End-Verteilkabelnetz	Zwischen-Verteilkabelnetz		
urban	[1]	500,00	1.500,00	4.000,00	
	[2]	-	1.000	5.000	
suburban	[1]	500,00	1.500,00	4.000,00	
	[2]	-	1.000	5.000	
kleinstädtisch	[1]	500,00	1.500,00	4.000,00	
	[2]	-	1.000	5.000	
rural	[1]	500,00	1.500,00	4.000,00	
	[2]	-	1.000	5.000	
Versorgungslängenoptimierung		<input type="text" value="ja"/>			
Routingmodell					
Allgemeine Modellparameter:					
Nullkosten räumliche Überdeckung:	<input type="text" value="ja"/>				
Steiner-Solver:	<input type="text" value="SteinerMST"/>				
Wegenrecht-Faktor:	urban	suburban	kleinstädt	rural	
	0,50	0,50	0,50	0,50	
Landnutzungen:					
Verlegekosten pro Meter					
Landnutzungs-kategorie	urban	suburban	kleinstädt	rural	
Waldweide	34,00	34,00	34,00	31,00	
Keller_unter_fremden_Grund	375,00	361,00	363,00	301,00	
Dauerkulturanlagen_oder_Erwerbsgaerten	74,00	72,00	73,00	62,00	
Gebaeude	375,00	361,00	363,00	301,00	
Parkplaetze	158,00	152,00	154,00	129,00	
Streuwiese	34,00	34,00	34,00	31,00	
Brachland	34,00	34,00	34,00	31,00	
Bergmahd	74,00	72,00	73,00	62,00	
Weide	34,00	34,00	34,00	31,00	
Aecker_Wiesen_oder>Weiden	34,00	34,00	34,00	31,00	
Acker	34,00	34,00	34,00	31,00	
Wiese	34,00	34,00	34,00	31,00	
Hutweide	34,00	34,00	34,00	31,00	
Gaerten	74,00	72,00	73,00	62,00	
Weingaerten	74,00	72,00	73,00	62,00	
Alpen	74,00	72,00	73,00	62,00	
Krummholzflaechen	34,00	34,00	34,00	31,00	
Waelder	34,00	34,00	34,00	31,00	
Verbuschte_Flaechen	34,00	34,00	34,00	31,00	
Forststrassen	34,00	34,00	34,00	31,00	
Fliessende_Gewaesser	375,00	361,00	363,00	301,00	
Stehende_Gewaesser	375,00	361,00	363,00	301,00	
Feuchtgebiete	375,00	361,00	363,00	301,00	
Vegetationsarme_Flaechen	34,00	34,00	34,00	31,00	
Betriebsflaechen	74,00	72,00	73,00	62,00	
Gewaesserrandflaechen	375,00	361,00	363,00	301,00	
Verkehrsrundflaechen	34,00	34,00	34,00	31,00	
Tempel_Synagoge	375,00	361,00	363,00	301,00	
Friedhoeefe	375,00	361,00	363,00	301,00	
Rechtlich_nicht_Wald	34,00	34,00	34,00	31,00	
Rechtlich_Wald	34,00	34,00	34,00	31,00	
Rechtlich>Weingarten	74,00	72,00	73,00	62,00	
Rechtlich_kein>Weingarten	74,00	72,00	73,00	62,00	
Gebaeudeebenflaechen	375,00	361,00	363,00	301,00	
Abbauflaechen_Halden_und_Deponien	74,00	72,00	73,00	62,00	
Deponie	74,00	72,00	73,00	62,00	
Sonstige	375,00	361,00	363,00	301,00	
Fels_und_Geroellflaechen	34,00	34,00	34,00	31,00	
Gletscher	375,00	361,00	363,00	301,00	
Streuobstwiese	74,00	72,00	73,00	62,00	
Flugverkehrsanlage	375,00	361,00	363,00	301,00	
Hafenanlage	74,00	72,00	73,00	62,00	
Schienerverkehrsanlagen	375,00	361,00	363,00	301,00	
Techn_Ver_und_Entsorgungsanlage	74,00	72,00	73,00	62,00	
Strassenanlage	225,00	217,00	219,00	182,00	
Freizeiflaechen	74,00	72,00	73,00	62,00	
Lagerplatz	74,00	72,00	73,00	62,00	
Werksgeaende	74,00	72,00	73,00	62,00	
Querung_Waldweide	34,00	34,00	34,00	31,00	
Querung_Keller_unter_fremden_Grund	375,00	361,00	363,00	301,00	



RTR

Querung_Dauerkulturanlagen_oder_Erwerbsgaerten	74,00	72,00	73,00	62,00
Querung_Gebaeude	375,00	361,00	363,00	301,00
Querung_Parkplaetze	158,00	152,00	154,00	129,00
Querung_Streuwiese	34,00	34,00	34,00	31,00
Querung_Brachland	34,00	34,00	34,00	31,00
Querung_Bergmahd	74,00	72,00	73,00	62,00
Querung>Weide	34,00	34,00	34,00	31,00
Querung_Aecker_Wiesen_oder>Weiden	34,00	34,00	34,00	31,00
Querung_Acker	34,00	34,00	34,00	31,00
Querung_Wiese	34,00	34,00	34,00	31,00
Querung_Hutweide	34,00	34,00	34,00	31,00
Querung_Gaerten	74,00	72,00	73,00	62,00
Querung_Weingaerten	74,00	72,00	73,00	62,00
Querung_Alpen	74,00	72,00	73,00	62,00
Querung_Krummholzflaechen	34,00	34,00	34,00	31,00
Querung_Waelder	34,00	34,00	34,00	31,00
Querung_Verbuschte_Flaechen	34,00	34,00	34,00	31,00
Querung_Forststrassen	34,00	34,00	34,00	31,00
Querung_Fliessende_Gewaesser	375,00	361,00	363,00	301,00
Querung_Stehende_Gewaesser	375,00	361,00	363,00	301,00
Querung_Feuchtgebiete	375,00	361,00	363,00	301,00
Querung_Vegetationsarme_Flaechen	34,00	34,00	34,00	31,00
Querung_Betriebsflaechen	74,00	72,00	73,00	62,00
Querung_Gewaesserrandflaechen	375,00	361,00	363,00	301,00
Querung_Verkehrsrandflaechen	34,00	34,00	34,00	31,00
Querung_Tempel_Synagoge	375,00	361,00	363,00	301,00
Querung_Friedhoefe	375,00	361,00	363,00	301,00
Querung_Rechtlich_nicht_Wald	34,00	34,00	34,00	31,00
Querung_Rechtlich_Wald	34,00	34,00	34,00	31,00
Querung_Rechtlich_Weingarten	74,00	72,00	73,00	62,00
Querung_Rechtlich_kein_Weingarten	74,00	72,00	73,00	62,00
Querung_Gebaeudeebenflaechen	375,00	361,00	363,00	301,00
Querung_Abbauflaechen_Halden_und_Deponien	74,00	72,00	73,00	62,00
Querung_Deponie	74,00	72,00	73,00	62,00
Querung_Sonstige	375,00	361,00	363,00	301,00
Querung_Fels_und_Geroefflflaechen	34,00	34,00	34,00	31,00
Querung_Gletscher	375,00	361,00	363,00	301,00
Querung_Streuobstwiese	74,00	72,00	73,00	62,00
Querung_Flugverkehrsanlage	375,00	361,00	363,00	301,00
Querung_Hafenanlage	74,00	72,00	73,00	62,00
Querung_Schiennenverkehrsanlagen	375,00	361,00	363,00	301,00
Querung_Tech_Ver_und_Entsorgungsanlage	74,00	72,00	73,00	62,00
Querung_Strassenanlage	225,00	217,00	219,00	182,00
Querung_Freizeitflaechen	74,00	72,00	73,00	62,00
Querung_Lagerplatz	74,00	72,00	73,00	62,00
Querung_Werksgelaende	74,00	72,00	73,00	62,00
Landwirtschaftlich_genutzte_Grundflaechen_LN	34,00	34,00	34,00	31,00
Sumpf	375,00	361,00	363,00	301,00
Bauflaeche_begruent	34,00	34,00	34,00	31,00
Wald	34,00	34,00	34,00	31,00
Unbekannt	375,00	361,00	363,00	301,00
Querung_Landwirtschaftlich_genutzte_Grundflaechen	34,00	34,00	34,00	31,00
Querung_Sumpf	375,00	361,00	363,00	301,00
Querung_Bauflaeche_begruent	34,00	34,00	34,00	31,00
Querung_Wald	34,00	34,00	34,00	31,00
Querung_Unbekannt	375,00	361,00	363,00	301,00
Erholungsflaeche	74,00	72,00	73,00	62,00
Bauflaeche_befestigt	94,00	91,00	92,00	78,00
Projektion	375,00	361,00	363,00	301,00
Gewaesser_Ge_fliessend	375,00	361,00	363,00	301,00
Gewaesser_Ge_stehend	375,00	361,00	363,00	301,00
Weingarten_Wgt	74,00	72,00	73,00	62,00
Querung_Erholungsflaeche	74,00	72,00	73,00	62,00
Querung_Bauflaeche_befestigt	94,00	91,00	92,00	78,00
Querung_Projektion	375,00	361,00	363,00	301,00
Querung_Gewaesser_Ge_fliessend	375,00	361,00	363,00	301,00
Querung_Gewaesser_Ge_stehend	375,00	361,00	363,00	301,00
Querung_Weingarten_Wgt	74,00	72,00	73,00	62,00
Gaerten_Gt	74,00	72,00	73,00	62,00
Querung_Gaerten_Gt	74,00	72,00	73,00	62,00
Abbauflaeche_Halde_oder_Deponie	74,00	72,00	73,00	62,00
Acker_Wiese_oder>Weide	34,00	34,00	34,00	31,00
Betriebsflaeche	74,00	72,00	73,00	62,00
Dauerkulturanlage_oder_Erwerbsgarten	74,00	72,00	73,00	62,00
Dauerkulturanlagen_oder_Erwerbsgaerten	74,00	72,00	73,00	62,00
Fels_und_Geroefflflaeche	34,00	34,00	34,00	31,00
Feuchtgebiet	375,00	361,00	363,00	301,00
Fliessendes_Gewaesser	375,00	361,00	363,00	301,00
Forststrasse	34,00	34,00	34,00	31,00
Freizeitflaeche	74,00	72,00	73,00	62,00
Friedhof	375,00	361,00	363,00	301,00
Garten	74,00	72,00	73,00	62,00
Garten_Gt	74,00	72,00	73,00	62,00
Gebaeudeebenflaeche	375,00	361,00	363,00	301,00
Gewaesserrandflaeche	375,00	361,00	363,00	301,00
Krummholzflaechen	34,00	34,00	34,00	31,00
Landwirtschaftlich_genutzte_Grundflaeche_LN	34,00	34,00	34,00	31,00
Parkplatz	158,00	152,00	154,00	129,00
Schiennenverkehrsanlage	375,00	361,00	363,00	301,00
Stehendes_Gewaesser	375,00	361,00	363,00	301,00
Strassenverkehrsanlage	225,00	217,00	219,00	182,00
Vegetationsarme_Flaeche	34,00	34,00	34,00	31,00
Verbuschte_Flaeche	34,00	34,00	34,00	31,00
Verkehrsrandflaeche	34,00	34,00	34,00	31,00
Weingarten	74,00	72,00	73,00	62,00
Weingarten_Wgt	74,00	72,00	73,00	62,00
Querung_Abbauflaeche_Halde_oder_Deponie	74,00	72,00	73,00	62,00
Querung_Acker_Wiese_oder>Weide	34,00	34,00	34,00	31,00
Querung_Betriebsflaeche	74,00	72,00	73,00	62,00
Querung_Dauerkulturanlage_oder_Erwerbsgarten	74,00	72,00	73,00	62,00
Querung_Dauerkulturanlagen_oder_Erwerbsgaerten	74,00	72,00	73,00	62,00
Querung_Fels_und_Geroefflflaeche	34,00	34,00	34,00	31,00
Querung_Feuchtgebiet	375,00	361,00	363,00	301,00
Querung_Fliessendes_Gewaesser	375,00	361,00	363,00	301,00
Querung_Forststrasse	34,00	34,00	34,00	31,00

Querung_Freizeitflaeche	74,00	72,00	73,00	62,00
Querung_Friedhof	375,00	361,00	363,00	301,00
Querung_Garten	74,00	72,00	73,00	62,00
Querung_Garten_Gt	74,00	72,00	73,00	62,00
Querung_Gebaeudeebeflaeche	375,00	361,00	363,00	301,00
Querung_Gewaesserrandflaeche	375,00	361,00	363,00	301,00
Querung_Krummholzfleache	34,00	34,00	34,00	31,00
Querung_Landwirtschaftlich_genutzte_Grundflaeche	34,00	34,00	34,00	31,00
Querung_Parkplatz	158,00	152,00	154,00	129,00
Querung_Schienerverkehrsanlage	375,00	361,00	363,00	301,00
Querung_Stehendes_Gewaesser	375,00	361,00	363,00	301,00
Querung_Strassenverkehrsanlage	225,00	217,00	219,00	182,00
Querung_Vegetationsarme_Flaeche	34,00	34,00	34,00	31,00
Querung_Verbuschte_Flaeche	34,00	34,00	34,00	31,00
Querung_Verkehrsrundflaeche	34,00	34,00	34,00	31,00
Querung>Weingarten	74,00	72,00	73,00	62,00
Querung>Weingarten_Wgt	74,00	72,00	73,00	62,00

Hardwaremodell

Allgemeine Modellparameter:

Standard-Künettenbreite in Meter:
 Maximale Künettenbreite in Meter:
 Penalty für Überschreitung der Standard-Künettenbreite in EUR pro Meter:
 Maximale Anzahl an Kabel, die zur Versorgung eines Knotens erlaubt sind:
 Maximale Anzahl an Komponenten pro Knoten:

	urban	suburban	kleinstadt	rural
Standard-Künettenbreite in Meter:	0,50	0,50	0,50	0,50
Maximale Künettenbreite in Meter:	2,00	2,00	2,00	2,00
Penalty für Überschreitung der Standard-Künettenbreite in EUR pro Meter:	53,00	53,00	53,00	53,00
Maximale Anzahl an Kabel, die zur Versorgung eines Knotens erlaubt sind:	15	15	15	15
Maximale Anzahl an Komponenten pro Knoten:	10	10	10	10

Cu-Kabel:

[1] Anzahl der Cu-Doppeladern
 [2] Cu-Querschnitt einer Ader in Millimeter
 [3] benötigte Künettenbreite in Meter
 [4] maximale durchgängige Verlegelänge
 [5] Kosten in EUR pro Meter

Id	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
1	10,00	0,60	0,10	200,00	2,41
2	50,00	0,60	0,10	200,00	4,33
3	200,00	0,60	0,10	200,00	11,07
4	600,00	0,60	0,10	200,00	33,45
5	1.200,00	0,60	0,10	200,00	49,45
6	1.800,00	0,60	0,20	200,00	73,01

Cu-Komponenten:

HV-Kosten	Fixkosten:	25.000,00
	Variable Kosten pro potentielle Einheit:	15,00

[1] Anzahl Input-Ports
 [2] Anzahl Output-Ports
 [3] Typ der Komponente
 [4] maximale Anzahl pro Knoten
 [5] maximale Anzahl an Versorgungskabel
 [6] Kosten pro Stück

Id	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	10	10	VM	5	1	956,50
2	50	50	VM	5	1	1.320,41
3	180	180	VM	5	1	1.635,92
4	680	680	VM	5	1	2.290,92
5	1.200	1.200	VM	5	1	3.050,46
6	1.800	1.800	VM	5	1	3.813,94
7	10	10	AM	5	5	956,40
8	50	50	AM	5	5	1.328,16
9	180	180	AM	5	5	1.645,46
10	680	680	AM	5	5	2.290,92
11	1.200	1.200	AM	5	5	3.050,46
12	1.800	1.800	AM	5	5	3.813,95
13	10	10	KA	5	1	1.298,23
14	50	50	KA	5	1	1.686,64
15	180	180	KA	5	1	2.226,00
16	680	680	KA	5	1	3.780,00
17	1.200	1.200	KA	5	1	6.678,00
18	1.800	1.800	KA	5	1	7.546,00
19	10	10	KV	5	5	1.573,50
20	50	50	KV	5	5	2.601,95
21	180	180	KV	5	5	4.801,17
22	680	680	KV	5	5	8.314,34
23	1.200	1.200	KV	5	5	12.807,01
24	1.800	1.800	KV	5	5	16.854,72

AM	Abzweigmuffe
VM	Verbindungsmuffe
KA	Kabelaumündung
KV	Kabelverzweiger
HV	Hauptverteiler

NGA-Solver

ARU

ARU Construction Costs

Kosten für die bauliche Errichtung eines ARUs am bereits bestehenden Standort von Kupfer-Komponenten

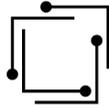
[1] Kupfer-Komponente
 [2] Kosten pro Standort in EUR

[1]	[2]
HV	0
AM	5.466,97
VM	5.466,97
KA	0
ohne Infrastruktur	5.000,00

ARU Typen

[1] ARU Typ Identifizierer
 [2] Input Ports
 [3] Output Ports
 [4] Kosten pro Stück in EUR
 [5] kann von Solver gesetzt werden (ja/nein)
 [6] Einschränkung - ARU kann nur auf Knoten mit den folgenden Infrastrukturen gesetzt werden

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	6	192	24.879,36	ja	keine Einschränkung
2	12	384	27.945,44	ja	keine Einschränkung
3	18	576	40.400,00	ja	keine Einschränkung
4	20	1500	136.500,00	nein	keine Einschränkung



Anschlussobjekte

FTTc-Versorgungsgüte ARU:	Kabelausslässe werden über ARUs derart versorgt, dass eine	minimale	Bitrate	von	
	16.384	kBit/sec	nicht	unter	
FTTc-Versorgungsgüte Hauptverteiler:	Kabelausslässe werden vom HV derart versorgt, dass eine	maximale	Bitrate	von	
	16.384	GB	nicht	über	
			-schritten wird.		
Anteil potentielle Einheiten FTTc-versorgt	urban	suburban	kleinstädt	rural	
Anteil potentielle Einheiten FTTb-versorgt	0		0		0 %
Anteil der versorgten BTS-Objekte	100	100	100	100	90 %
Anteil der versorgten B2B-Objekte	100	100	100	100	100 %

Ducts

[1] Duct-Identifizierer	[2] maximale Anzahl an Kabel	[3] für Erdverlegung geeignet	[4] Mini- oder Mikroduct	[5] benötigte Leerrohrkapazität	[6] Kosten pro Meter in EUR
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	9	ja	Mini	1,00	8,40
2	5	ja	Mini	1,00	8,40
3	1	ja	Mini	1,00	3,20
4	24	ja	Micro	1,00	9,92
5	10	ja	Micro	1,00	9,92
6	2	ja	Micro	1,00	7,08
7	16	nein	Mini	100,00	21,78
8	8	nein	Mini	100,00	12,37
9	7	nein	Mini	50,00	11,31
10	5	nein	Mini	40,00	11,16
11	3	nein	Mini	32,00	10,71
12	1	nein	Mini	25,00	10,49
13	48	nein	Micro	100,00	22,96
14	24	nein	Micro	100,00	12,58
15	18	nein	Micro	50,00	12,58
16	10	nein	Micro	40,00	10,48
17	6	nein	Micro	32,00	10,48
18	3	nein	Micro	25,00	10,48

Aktivierung bestehender (emulierter) Ducts in EUR

Glasfaserkabel

[1] Kabel-Identifizierer	[2] Anzahl an Fasern	[3] Mini- oder Microkabel	[4] max. durchgängige Verlegelänge	[5] Kosten pro Meter in EUR
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
1	72	Mini	5.500,00	3,75
2	36	Mini	5.500,00	3,47
3	12	Mini	5.500,00	3,29
4	12	Micro	5.500,00	3,35

Aktivierung bestehender (emulierter) Glasfasern in EUR

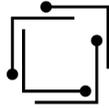
Glasfasermuffen und Splitter:

[1] Muffen-Identifizierer	[2] Inputports	[3] Outputports	[4] Kosten pro Stück in EUR
[1]	[2]	[3]	[4]
1	144	144	2.352,00

[1] Splitter-Identifizierer	[2] Inputports	[3] Outputports	[4] Kosten pro Stück in EUR
[1]	[2]	[3]	[4]
1	4	16	1.834,80
2	5	32	3.332,94

Tabelle 20: Datensatz FFG für das System RTR_ACCNET

Cu-Generator					
Preprocessing					
Modell	Parameter	urban	suburban	kleinstädt.	rural
Anpassungsobjekte potentielle Anschlussobjekte	KillOuterDist	100	100	100	97
Anschlussobjekte zusammenfassen	Graphendistanz	false	false	false	false
	Euklidische Distanz	true	true	true	true
	maximale Distanz (m)	500	500	500	500
	maximaler Demand	1000	1000	1000	1000
Anschlussobjekte vom Gebäude-schwerpunkt wegprojizieren	projizieren zu	Straßenanlage	Straßenanlage	Straßenanlage	Straßenanlage
Reduzierung des Demands	Reduktionsfaktor (%)		It. Tab zu Ausdünnungsfaktoren		
	Reduktionsstrategie		Equalized/MaintainObjects		
Clustermodell					
Definition - Distanz:	kürzester Weg im Netzwerkgraphen:	<input type="checkbox"/> nein			
	Euklidische Punkt-zu-Punkt-Distanz:	<input type="checkbox"/> ja			
Clustering-Parameter:	[1] maximale Distanz in Meter zwischen Versorgungszentrum und Anschlussobjekt in einem Sub-Netz der Netzebene [2] maximale Summe der potentiellen Einheiten [2] in einem Sub-Netz der Netzebene				
	HVKreis	End-Verteilkabelnetz	Zwischen-Verteilkabelnetz		
urban	[1]	500,00	1.500,00	4.000,00	
	[2]	-	1.000	5.000	
suburban	[1]	500,00	1.500,00	4.000,00	
	[2]	-	1.000	5.000	
kleinstädtisch	[1]	500,00	1.500,00	4.000,00	
	[2]	-	1.000	5.000	
rural	[1]	500,00	1.500,00	4.000,00	
	[2]	-	1.000	5.000	
Versorgungslängenoptimierung		<input type="checkbox"/> ja			
Routingmodell					
Allgemeine Modellparameter:	Nullkosten räumliche Überdeckung:	<input type="checkbox"/> ja			
	Steiner-Solver:	<input type="checkbox"/> SteinerMST			
	Wegerrecht-Faktor:	urban	suburban	kleinstädt.	rural
		0,50	0,50	0,50	0,50
Landnutzungen:	Verlegekosten pro Meter	urban	suburban	kleinstädt.	rural
Landnutzungs-kategorie		urban	suburban	kleinstädt.	rural
Waldweide		40,43	40,31	33,06	25,41
Keller_unter_fremden_Grund		375,00	361,50	363,50	302,00
Dauerkulturanlagen_oder_Erwerbsgaerten		47,85	47,44	48,35	42,46
Gebäude		375,00	361,50	363,50	302,00
Parkplätze		83,42	81,59	82,61	70,68
Streuwiese		40,43	40,31	33,06	25,41
Brachland		40,43	40,31	33,06	25,41
Bergmähd		47,85	47,44	48,35	42,46
Weide		40,43	40,31	33,06	25,41
Aecker_Wiesen_oder>Weiden		40,43	40,31	33,06	25,41
Acker		40,43	40,31	33,06	25,41
Wiese		40,43	40,31	33,06	25,41
Hutweide		40,43	40,31	33,06	25,41
Gaerten		47,85	47,44	48,35	42,46
Weingaerten		47,85	47,44	48,35	42,46
Alpen		47,85	47,44	48,35	42,46
Krummholzfleachen		47,85	47,44	48,35	42,46
Wälder		40,43	40,31	33,06	25,41
Verbuschte_Fleachen		40,43	40,31	33,06	25,41
Forststrassen		40,43	40,31	33,06	25,41
Fliessende_Gewässer		375,00	361,50	363,50	302,00
Stehende_Gewässer		375,00	361,50	363,50	302,00
Feuchtgebiete		40,43	40,31	33,06	25,41
Vegetationsarme_Fleachen		40,43	40,31	33,06	25,41
Betriebsfleachen		47,85	47,44	48,35	42,46
Gewässerrandfleachen		375,00	361,50	363,50	302,00
Verkehrsrandfleachen		128,35	124,71	125,89	49,87
Tempel_Synagoge		375,00	361,50	363,50	302,00
Friedhoefe		375,00	361,50	363,50	302,00
Rechtlich_nicht_Wald		40,43	40,31	33,06	25,41
Rechtlich_Wald		40,43	40,31	33,06	25,41
Rechtlich>Weingarten		47,85	47,44	48,35	42,46
Rechtlich_kein>Weingarten		47,85	47,44	48,35	42,46
Gebäudeebenefleachen		375,00	361,50	363,50	302,00
Abbaufleachen_Halden_und_Deponien		47,85	47,44	48,35	42,46
Deponie		47,85	47,44	48,35	42,46
Sonstige		375,00	361,50	363,50	302,00
Fels_und_Geroeffleachen		47,85	47,44	48,35	42,46
Gletscher		375,00	361,50	363,50	302,00
Streuobstwiese		47,85	47,44	48,35	42,46
Flugverkehrsanlage		375,00	361,50	363,50	302,00
Hafenanlage		87,96	85,94	86,98	74,28
Schieneverkehrsanlagen		375,00	361,50	363,50	302,00
Techn_Ver_und_Entsorgungsanlage		47,85	47,44	48,35	42,46
Strassenanlage		128,35	124,71	125,89	49,87
Freizeifleachen		47,85	47,44	48,35	42,46
Lagerplatz		47,85	47,44	48,35	42,46
Werksgelaende		47,85	47,44	48,35	42,46
Querung_Waldweide		40,43	40,31	33,06	25,41
Querung_Keller_unter_fremden_Grund		375,00	361,50	363,50	302,00



Querung_Dauerkulturanlagen_oder_Erwerbsgaerten	47,85	47,44	48,35	42,46
Querung_Gebaeude	375,00	361,50	363,50	302,00
Querung_Parkplaetze	83,42	81,59	82,61	70,68
Querung_Streuwiese	40,43	40,31	33,06	25,41
Querung_Brachland	40,43	40,31	33,06	25,41
Querung_Bergmahd	47,85	47,44	48,35	42,46
Querung>Weide	40,43	40,31	33,06	25,41
Querung_Aecker_Wiesen_oder>Weiden	40,43	40,31	33,06	25,41
Querung_Acker	40,43	40,31	33,06	25,41
Querung_Wiese	40,43	40,31	33,06	25,41
Querung_Hutweide	40,43	40,31	33,06	25,41
Querung_Gaerten	47,85	47,44	48,35	42,46
Querung_Weingaerten	47,85	47,44	48,35	42,46
Querung_Alpen	47,85	47,44	48,35	42,46
Querung_Krummholzflaechen	47,85	47,44	48,35	42,46
Querung_Waelder	40,43	40,31	33,06	25,41
Querung_Verbuschte_Flaechen	40,43	40,31	33,06	25,41
Querung_Forststrassen	40,43	40,31	33,06	25,41
Querung_Fliessende_Gewaesser	375,00	361,50	363,50	302,00
Querung_Stehende_Gewaesser	375,00	361,50	363,50	302,00
Querung_Feuchtgebiete	40,43	40,31	33,06	25,41
Querung_Vegetationsarme_Flaechen	40,43	40,31	33,06	25,41
Querung_Betriebsflaechen	47,85	47,44	48,35	42,46
Querung_Gewaesserrandflaechen	375,00	361,50	363,50	302,00
Querung_Verkehrsrandflaechen	128,35	124,71	125,89	49,87
Querung_Tempel_Synagoge	375,00	361,50	363,50	302,00
Querung_Friedhoehe	375,00	361,50	363,50	302,00
Querung_Rechtlich_nicht_Wald	40,43	40,31	33,06	25,41
Querung_Rechtlich_Wald	40,43	40,31	33,06	25,41
Querung_Rechtlich_Weingarten	47,85	47,44	48,35	42,46
Querung_Rechtlich_kein_Weingarten	47,85	47,44	48,35	42,46
Querung_Gebaeudeebenflaechen	375,00	361,50	363,50	302,00
Querung_Abbauflaechen_Halden_und_Deponien	47,85	47,44	48,35	42,46
Querung_Deponie	47,85	47,44	48,35	42,46
Querung_Sonstige	375,00	361,50	363,50	302,00
Querung_Fels_und_Geroellflaechen	47,85	47,44	48,35	42,46
Querung_Gletscher	375,00	361,50	363,50	302,00
Querung_Streuobstwiese	47,85	47,44	48,35	42,46
Querung_Flugverkehrsanlage	375,00	361,50	363,50	302,00
Querung_Hafenanlage	87,96	85,94	86,98	74,28
Querung_Schienerverkehrsanlagen	375,00	361,50	363,50	302,00
Querung_Techn_Ver_und_Entsorgungsanlage	47,85	47,44	48,35	42,46
Querung_Strassenanlage	128,35	124,71	125,89	49,87
Querung_Freizeitflaechen	47,85	47,44	48,35	42,46
Querung_Lagerplatz	47,85	47,44	48,35	42,46
Querung_Werksgeleae	47,85	47,44	48,35	42,46
Landwirtschaftlich_genutzte_Grundflaechen_LN	40,43	40,31	33,06	25,41
Sumpf	375,00	361,50	363,50	302,00
Bauflaeche_begruent	40,43	40,31	33,06	25,41
Wald	40,43	40,31	33,06	25,41
Unbekannt	375,00	361,50	363,50	302,00
Querung_Landwirtschaftlich_genutzte_Grundflaechen	40,43	40,31	33,06	25,41
Querung_Sumpf	375,00	361,50	363,50	302,00
Querung_Bauflaeche_begruent	40,43	40,31	33,06	25,41
Querung_Wald	40,43	40,31	33,06	25,41
Querung_Unbekannt	375,00	361,50	363,50	302,00
Erholungsflaechen	40,43	40,31	33,06	25,41
Bauflaeche_befestigt	87,96	85,94	86,98	74,28
Projektion	375,00	361,50	363,50	302,00
Gewaesser_Ge_fliessend	375,00	361,50	363,50	302,00
Gewaesser_Ge_stehend	375,00	361,50	363,50	302,00
Weingarten_Wgt	47,85	47,44	48,35	42,46
Querung_Erholungsflaechen	40,43	40,31	33,06	25,41
Querung_Bauflaeche_befestigt	87,96	85,94	86,98	74,28
Querung_Projektion	375,00	361,50	363,50	302,00
Querung_Gewaesser_Ge_fliessend	375,00	361,50	363,50	302,00
Querung_Gewaesser_Ge_stehend	375,00	361,50	363,50	302,00
Querung_Weingarten_Wgt	47,85	47,44	48,35	42,46
Gaerten_Gt	47,85	47,44	48,35	42,46
Querung_Gaerten_Gt	47,85	47,44	48,35	42,46
Abbauflaechen_Halde_oder_Deponie	47,85	47,44	48,35	42,46
Acker_Wiese_oder>Weide	40,43	40,31	33,06	25,41
Betriebsflaechen	47,85	47,44	48,35	42,46
Dauerkulturanlage_oder_Erwerbsgarten	47,85	47,44	48,35	42,46
Dauerkulturanlagen_oder_Erwerbsgaerten	47,85	47,44	48,35	42,46
Fels_und_Geroellflaechen	47,85	47,44	48,35	42,46
Feuchtgebiet	40,43	40,31	33,06	25,41
Fliessendes_Gewaesser	375,00	361,50	363,50	302,00
Forststrasse	40,43	40,31	33,06	25,41
Freizeitflaechen	47,85	47,44	48,35	42,46
Friedhof	375,00	361,50	363,50	302,00
Garten	47,85	47,44	48,35	42,46
Garten_Gt	47,85	47,44	48,35	42,46
Gebaeudeebenflaechen	375,00	361,50	363,50	302,00
Gewaesserrandflaechen	375,00	361,50	363,50	302,00
Krummholzflaechen	47,85	47,44	48,35	42,46
Landwirtschaftlich_genutzte_Grundflaechen_LN	40,43	40,31	33,06	25,41
Parkplatz	83,42	81,59	82,61	70,68
Schienerverkehrsanlage	375,00	361,50	363,50	302,00
Stehendes_Gewaesser	375,00	361,50	363,50	302,00
Strassenverkehrsanlage	128,35	124,71	125,89	49,87
Vegetationsarme_Flaechen	40,43	40,31	33,06	25,41
Verbuschte_Flaechen	40,43	40,31	33,06	25,41
Verkehrsrandflaechen	128,35	124,71	125,89	49,87
Weingarten	47,85	47,44	48,35	42,46
Weingarten_Wgt	47,85	47,44	48,35	42,46
Querung_Abbauflaechen_Halde_oder_Deponie	47,85	47,44	48,35	42,46
Querung_Acker_Wiese_oder>Weide	40,43	40,31	33,06	25,41
Querung_Betriebsflaechen	47,85	47,44	48,35	42,46
Querung_Dauerkulturanlage_oder_Erwerbsgarten	47,85	47,44	48,35	42,46
Querung_Dauerkulturanlagen_oder_Erwerbsgaerten	47,85	47,44	48,35	42,46
Querung_Fels_und_Geroellflaechen	47,85	47,44	48,35	42,46
Querung_Feuchtgebiet	40,43	40,31	33,06	25,41
Querung_Fliessendes_Gewaesser	375,00	361,50	363,50	302,00
Querung_Forststrasse	40,43	40,31	33,06	25,41

Querung_Freizeitflaeche	47,85	47,44	48,35	42,46
Querung_Friedhof	375,00	361,50	363,50	302,00
Querung_Garten	47,85	47,44	48,35	42,46
Querung_Garten_Gt	47,85	47,44	48,35	42,46
Querung_Gebaeudeebenflaeche	375,00	361,50	363,50	302,00
Querung_Gewaesserrandflaeche	375,00	361,50	363,50	302,00
Querung_Krummholzflaeche	47,85	47,44	48,35	42,46
Querung_Landwirtschaftlich_genutzte_Grundflaeche	40,43	40,31	33,06	25,41
Querung_Parkplatz	83,42	81,59	82,61	70,68
Querung_Schienerverkehrsanlage	375,00	361,50	363,50	302,00
Querung_Stehendes_Gewaesser	375,00	361,50	363,50	302,00
Querung_Strassenverkehrsanlage	128,35	124,71	125,89	49,87
Querung_Vegetationsarme_Flaeche	40,43	40,31	33,06	25,41
Querung_Verbuschte_Flaeche	40,43	40,31	33,06	25,41
Querung_Verkehrsrandflaeche	128,35	124,71	125,89	49,87
Querung_Weingarten	47,85	47,44	48,35	42,46
Querung_Weingarten_Wgt	47,85	47,44	48,35	42,46

Hardwaremodell

Allgemeine Modellparameter:

Standard-Künettenbreite in Meter:
 Maximale Künettenbreite in Meter:
 Penalty für Überschreitung der Standard-Künettenbreite in EUR pro Meter:
 Maximale Anzahl an Kabel, die zur Versorgung eines Knotens erlaubt sind:
 Maximale Anzahl an Komponenten pro Knoten:

	urban	suburban	kleinstadt	rural
Standard-Künettenbreite in Meter:	0,40	0,40	0,40	0,40
Maximale Künettenbreite in Meter:	2,00	2,00	2,00	2,00
Penalty für Überschreitung der Standard-Künettenbreite in EUR pro Meter:	53,00	53,00	53,00	53,00
Maximale Anzahl an Kabel, die zur Versorgung eines Knotens erlaubt sind:	15	15	15	15
Maximale Anzahl an Komponenten pro Knoten:	10	10	10	10

Cu-Kabel:

[1] Anzahl der Cu-Doppeladern
 [2] Cu-Querschnitt einer Ader in Millimeter
 [3] benötigte Künettenbreite in Meter
 [4] maximale durchgängige Verteilänge
 [5] Kosten in EUR pro Meter

Id	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
1	10,00	0,50	0,10	200,00	2,41
2	50,00	0,50	0,10	200,00	4,33
3	200,00	0,50	0,10	200,00	11,07
4	600,00	0,50	0,10	200,00	33,45
5	1.200,00	0,50	0,10	200,00	49,45
6	1.800,00	0,50	0,20	200,00	73,01

Cu-Komponenten:

HV-Kosten: 25.000,00
 Fixkosten: 15,00
 Variable Kosten pro potentielle Einheit:

[1] Anzahl Input-Ports
 [2] Anzahl Output-Ports
 [3] Typ der Komponente
 [4] maximale Anzahl pro Knoten
 [5] maximale Anzahl an Versorgungskabel
 [6] Kosten pro Stück

Id	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	10	10 VM	0,10	0,10	1	956,50
2	50	50 VM	0,10	0,10	1	1.320,41
3	180	180 VM	0,10	0,10	1	1.635,92
4	680	680 VM	0,10	0,10	1	2.290,92
5	1.200	1.200 VM	0,10	0,10	1	3.050,46
6	1.800	1.800 VM	0,20	0,10	1	3.813,94
7	10	10 AM	0,10	0,10	5	956,40
8	50	50 AM	0,10	0,10	5	1.328,16
9	180	180 AM	0,10	0,10	5	1.645,46
10	680	680 AM	0,10	0,10	5	2.290,92
11	1.200	1.200 AM	0,10	0,10	5	3.050,46
12	1.800	1.800 AM	0,20	0,10	5	3.813,95
13	10	10 KA	0,10	0,10	1	1.298,23
14	50	50 KA	0,10	0,10	1	1.686,64
15	180	180 KA	0,10	0,10	1	2.226,00
16	680	680 KA	0,10	0,10	1	3.780,00
17	1.200	1.200 KA	0,10	0,10	1	6.678,00
18	1.800	1.800 KA	0,20	0,10	1	7.546,00
19	10	10 KV	0,10	0,10	5	1.573,50
20	50	50 KV	0,10	0,10	5	2.601,95
21	180	180 KV	0,10	0,10	5	4.801,17
22	680	680 KV	0,10	0,10	5	8.314,34
23	1.200	1.200 KV	0,10	0,10	5	12.807,01
24	1.800	1.800 KV	0,20	0,10	5	16.854,72

AM	Abzweigmuffe
VM	Verbindungs-muffe
KA	Kabelaum-mündung
KV	Kabelver-zweiger
HV	Hauptver-teiler

NGA-Solver

ARU

ARU Construction Costs

Kosten für die bauliche Errichtung eines ARUs am bereits bestehenden Standort von Kupfer-Komponenten

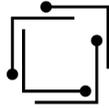
[1] Kupfer-Komponente [2] Kosten pro Standort in EUR

[1]	[2]
HV	0
AM	5.466,97
VM	5.466,97
KA	0
ohne Infrastruktur	5.000,00

ARU Typen

[1] ARU Typ Identifizierer [2] Input Ports [3] Output Ports
 [4] Kosten pro Stück in EUR [5] kann von Solver gesetzt werden (ja/nein)
 [6] Einschränkung - ARU kann nur auf Knoten mit den folgenden Infrastrukturen gesetzt werden

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	6	192	24.879,36	ja	keine Einschränkung
2	12	384	27.945,44	ja	keine Einschränkung
3	18	576	40.400,00	ja	keine Einschränkung
4	20	1500	136.500,00	nein	keine Einschränkung



Anschlussobjekte

FTTc-Versorgungsgüte ARU:	Kabelausslässe werden über ARUs derart versorgt, dass eine	minimale	Bitrate	von
	16 384 kBit/sec	nicht	unter	-schritten wird.
FTTc-Versorgungsgüte Hauptverteiler:	Kabelausslässe werden vom HV derart versorgt, dass eine	maximale	Bitrate	von
	16 384 dB	nicht	über	-schritten wird.
Anteil potentielle Einheiten FTTc-versorgt	urban	suburban	kleinstädt	rural
Anteil potentielle Einheiten FTTb-versorgt	0	0	0	0
Anteil der versorgten BTS-Objekte	100	100	100	90
Anteil der versorgten B2B-Objekte	100	100	100	100

Ducts

[1] Duct-Identifizierer	[2] maximale Anzahl an Kabel	[3] für Erdverlegung geeignet	[4] Mini- oder Mikroduct	[5] benötigte Leerrohrkapazität	[6] Kosten pro Meter in EUR
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	9	ja	Mini	1,00	8,40
2	5	ja	Mini	1,00	8,40
3	1	ja	Mini	1,00	3,29
4	24	ja	Micro	1,00	9,92
5	10	ja	Micro	1,00	9,92
6	2	ja	Micro	1,00	7,08
7	16	nein	Mini	100,00	21,78
8	8	nein	Mini	100,00	12,37
9	7	nein	Mini	50,00	11,31
10	5	nein	Mini	40,00	11,16
11	3	nein	Mini	32,00	10,71
12	1	nein	Mini	25,00	10,49
13	48	nein	Micro	100,00	22,96
14	24	nein	Micro	100,00	12,58
15	18	nein	Micro	50,00	12,58
16	10	nein	Micro	40,00	10,48
17	6	nein	Micro	32,00	10,48
18	3	nein	Micro	25,00	10,48

Aktivierung bestehender (emulierter) Ducts in EUR

Glasfaserkabel

[1] Kabel-Identifizierer	[2] Anzahl an Fasern	[3] Mini- oder Microkabel	[4] max. durchgängige Verlegelänge	[5] Kosten pro Meter in EUR
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
1	72	Mini	5.500,00	3,75
2	36	Mini	5.500,00	3,47
3	12	Mini	5.500,00	3,29
4	12	Micro	5.500,00	3,35

Aktivierung bestehender (emulierter) Glasfasern in EUR

Glasfasermuffen und Splitter:

[1] Muffen-Identifizierer	[2] Inputports	[3] Outputports	[4] Kosten pro Stück in EUR
[1]	[2]	[3]	[4]
1	144	144	2.352,00

[1] Splitter-Identifizierer	[2] Inputports	[3] Outputports	[4] Kosten pro Stück in EUR
[1]	[2]	[3]	[4]
1	4	16	1.834,80
2	5	32	3.332,94

13 Anhang D: Ergebnisse der Netzmodellierung

Tabelle 21: Output System RTR_ACCNET

Kosten pro Anschluss [€] <i>avg(equalized;maintain objects)</i>			Datensatz	A1TA	TMA	FFG
Taskey	Anschlussbereich	Typ	Anzahl PE gesamt	FTTH/B	FTTH/B	FTTH/B
557402	Bregenz Mitte	1	7.641	2.199,14	1.047,31	902,52
31631	Graz Geidorf	1	19.518	972,10	546,67	449,37
51204	Innsbruck Pradl	1	21.998	1.232,78	552,85	450,19
46305	Klagenfurt Mitte	1	13.951	1.201,89	652,44	524,00
73204	Linz Haydnstrasse	1	12.370	969,59	493,25	383,78
66207	Salzburg Paris Lodron	1	12.624	2.079,66	712,21	524,16
22223	Wien Kagran	1	20.648	1.197,68	522,30	421,60
22252	Wien Krugerstrasse	1	5.096	3.013,71	912,18	596,24
22265	Wien Taubstummengasse	1	13.676	1.321,58	442,66	328,22
523407	Axams	2	3.656	3.553,29	1.331,50	1.245,31
624702	Grossgmain	2	1.471	3.159,06	1.776,83	1.718,72
224402	Langenzersdorf	2	5.042	1.902,97	1.118,49	874,61
73222	Linz Puchenau	2	2.124	2.170,56	1.166,65	1.131,20
557702	Lustenau	2	10.237	1.890,67	1.030,03	900,08
274208	St Poelten Ost	2	5.871	2.916,23	1.446,67	1.255,99
435202	Wolfsberg	2	8.876	5.051,25	2.345,00	2.098,74
357702	Zeltweg	2	5.183	2.928,40	1.403,17	1.315,58
268202	Eisenstadt	3	10.508	2.507,68	1.402,60	1.240,99
427602	Feldkirchen	3	7.073	3.979,57	2.306,70	2.000,72
794202	Freistadt	3	6.048	4.212,16	2.449,63	2.050,55
266202	Gloggnitz	3	5.609	4.087,93	2.199,05	1.995,86
724802	Grieskirch	3	7.516	4.444,73	2.379,18	2.319,14
295202	Hollabrunn	3	7.187	3.124,04	1.728,52	1.499,42
335202	Oberwart	3	5.989	3.443,35	1.856,37	1.605,78
775202	Ried im Innkreis	3	12.292	3.987,78	2.338,83	1.852,11
567702	Vils	3	1.233	10.255,37	4.693,42	4.057,86
423202	Voelkermarkt	3	3.812	5.783,91	2.986,14	2.814,05
317202	Weiz	3	9.905	3.536,59	2.172,35	1.785,50
643202	Bad Hofgastein	4	5.148	6.369,80	1.489,72	1.403,33
425402	Faak am See	4	4.401	3.664,74	1.804,03	1.832,18
528902	Haeusling	4	108	76.468,57	26.472,17	27.908,02
544405	Ischgl	4	1.187	21.049,66	4.802,79	5.008,16
535702	Kirchberg in Tirol	4	3.997	2.686,12	1.081,19	998,34
558302	Lech	4	1.964	24.758,79	4.892,98	4.542,92
654102	Saalbach	4	3.719	4.927,59	1.649,90	1.622,17
368702	Schladming	4	3.144	2.846,50	1.328,73	1.300,94
555602	Schruns	4	7.926	6.402,92	1.561,16	1.545,81
525408	Vent ON Soelden	4	79	7.740,01	3.194,75	2.955,81
557908	Buch	5	241	3.539,52	2.275,93	1.831,92
524502	Hinterriss	5	62	78.269,86	33.344,11	28.332,05
774302	Maria Schmolln	5	779	11.318,37	5.857,92	4.626,17

747102	Neustadtl an der Donau	5	853	14.144,41	7.665,82	6.243,77
264108	Otterthal	5	807	5.529,10	2.992,95	2.306,53
723407	Rotteneegg	5	1.259	2.566,37	1.432,39	1.144,39
524802	Steinberg Rofan	5	221	12.972,01	6.405,86	5.255,60
311608	St Stefan im Rosental	5	1.421	6.617,29	3.543,53	2.746,98
333702	Vorau	5	1.896	6.928,41	3.828,12	2.983,73
485305	Ainet	6	584	6.247,42	3.350,49	2.688,07
747402	Euratsfeld	6	990	2.734,85	1.592,68	1.210,57
361702	Gaishorn	6	736	7.199,73	3.420,02	2.723,85
641508	Goldegg	6	1.210	3.001,92	1.761,66	1.385,08
426208	Guttaring	6	657	2.770,17	1.608,41	1.279,56
551306	Hittisau	6	2.762	5.053,42	2.633,71	2.110,54
487502	Matrei	6	2.031	11.465,59	2.739,40	2.216,56
263208	Miesenbach	6	684	9.167,88	4.795,58	3.712,00
727808	Natternbach	6	1.008	5.247,47	2.753,12	2.115,80
276902	Tuernitz	6	1.027	3.940,07	2.262,84	1.749,84
217502	Apetlon	7	2.700	2.759,87	1.413,46	1.117,58
253602	Droesing	7	1.547	4.760,02	2.082,05	1.633,59
284908	Echsenbach	7	725	3.787,13	2.090,50	1.605,37
294408	Pfaffendorf	7	719	4.272,50	2.095,41	1.400,11
261602	Lockenhaus	7	1.347	6.084,96	3.060,73	2.542,17
214502	Prellenkirchen	7	1.602	6.372,47	3.063,68	2.568,04
225308	Tattendorf	7	1.578	1.491,01	990,71	714,86
263802	Winzendorf	7	1.589	4.281,17	2.285,87	1.725,77
335402	Bernstein	8	1.110	4.471,55	2.421,36	1.868,62
262708	Erlach an der Pitten	8	2.582	1.840,82	1.055,40	805,52
335207	Kemetten ON Obwart	8	816	2.764,38	1.760,26	1.310,84
226208	Leobendorf ON Korneuburg	8	1.455	3.493,36	1.512,80	1.121,33
794908	Leopoldschlag	8	532	7.437,53	3.800,59	2.924,80
526505	Nassereith	8	1.057	5.337,71	2.440,69	1.962,48
271402	Rossatz	8	701	5.738,24	3.552,76	2.730,24
552402	Satteins	8	2.945	2.099,51	1.338,53	1.013,45
332702	St Michael bei Guessing	8	2.335	5.254,34	2.810,00	2.276,93
383302	Traboch	8	690	4.829,14	2.311,34	1.898,93
428602	Weissbriach	8	738	6.071,21	2.896,64	2.336,01
423502	Bleiburg	9	3.067	5.033,35	2.614,56	2.076,96
771402	Esternberg	9	1.569	8.268,05	4.193,79	3.278,53
332902	Jennersdorf	9	3.467	4.697,32	2.565,58	1.973,30
533802	Kundl	9	3.957	2.382,78	1.171,76	897,04
333802	Lafnitz	9	3.558	3.795,15	1.983,37	1.597,82
621702	Mattsee	9	3.325	1.503,71	945,78	737,66
358402	Neumarkt in der Stmk	9	2.659	4.285,65	2.143,20	1.766,19
274502	Pyhra	9	1.944	2.917,32	1.632,75	1.260,80
282702	Schoenbach	9	595	14.098,91	7.588,44	5.939,12

14 Anhang E: Parameter der statistischen Hochrechnung

Tabelle 22: Parameter der statistischen Hochrechnung

Datensatz	AITA			TMA			FFG												
	FTH/B			FTH/B			FTH/B												
	Total Cost	Line Cost	P-Wert	Total Cost	Line Cost	P-Wert	Total Cost	Line Cost	P-Wert										
statistischer Ansatz	0,869283649	0,804438689	0,899501643	0,837134848	0,896326605	0,842285029													
Adjustiertes Bestimmtheitsmaß																			
abhängige Variable: Investwerte je Anschluß																			
Anzahl Beobachtungen: 85																			
Schnittpunkt	9,20	12,15	0,00	8,77	19,92	0,00	9,42	15,17	0,00	8,15	21,84	0,00	9,28	14,21	0,00	7,97	21,04	0,00	
GeoTyp1	0,65	2,85	0,01				0,71	3,84	0,00				0,68	3,47	0,00				
GeoTyp2	0,58	3,91	0,00	0,40	2,76	0,01	0,60	4,92	0,00	0,32	2,63	0,01	0,70	5,46	0,00	0,47	3,74	0,00	
GeoTyp3	0,30	2,03	0,05	0,26	1,92	0,06	0,53	4,37	0,00	0,34	2,98	0,00	0,59	4,64	0,00	0,42	3,62	0,00	
GeoTyp6	-0,33	-2,73	0,01	-0,35	-2,69	0,01	-0,30	-3,02	0,00	-0,36	-3,28	0,00	-0,34	-3,24	0,00	-0,39	-3,49	0,00	
Anteil % bebautes Gebiet				0,63	2,04	0,05				0,50	1,91	0,06				0,48	1,79	0,08	
Straße % Bund	2,26	2,93	0,00				1,06	1,67	0,10				0,88	1,32	0,19				
Personen mit NWS 2014 je Wohngebäu	0,19	3,64	0,00	0,21	4,56	0,00	0,10	2,30	0,02	0,09	2,29	0,02	0,12	2,65	0,01	0,11	2,72	0,01	
Personen mit HWS+NWS 2015 je Wohn	-0,03	-1,30	0,20				-0,03	-1,62	0,11				-0,04	-2,05	0,04				
ln(Siedlungspunkte 2003)	0,19	4,06	0,00	0,10	2,08	0,04	0,14	3,74	0,00	0,10	2,53	0,01	0,15	3,73	0,00	0,10	2,37	0,02	
ln(Anzahl Gebäude 2014)	0,26	1,62	0,11				0,18	1,34	0,18				0,14	1,04	0,30				
ln(Personen mit NWS 2014)				-0,19	-2,36	0,02				-0,21	-3,03	0,00				-0,20	-2,84	0,01	
ln(Herold Unternehmensstandorte 2007	0,28	2,97	0,00				0,24	3,08	0,00				0,28	3,38	0,00				
ln(Straßenlänge [km])	0,44	4,55	0,00	0,34	3,64	0,00	0,46	5,86	0,00	0,31	3,89	0,00	0,46	5,52	0,00	0,31	3,89	0,00	
ln(bebautes Gebiet [km2])	-0,21	-2,62	0,01	-0,22	-3,14	0,00	-0,16	-2,45	0,02	-0,23	-3,93	0,00	-0,15	-2,15	0,03	-0,22	-3,71	0,00	
ln(Anteil [%] des Dauersiedlungsraums)	-0,31	-3,44	0,00				-0,07	-0,91	0,36				-0,15	-1,89	0,06				
ln(Personen mit HWS 2014 je km2)				-0,27	-4,97	0,00				-0,21	-4,51	0,00				-0,23	-5,06	0,00	

Referenzdokument zum NGA-Modell 2015

Bottom-Up-Kostenrechnungsmodell für den auf der Vorleistungsebene an festen Standorten lokal bereitgestellten Zugang

Rundfunk und Telekom Regulierungs-GmbH (RTR-GmbH)

Mariahilfer Straße 77–79,
1060 Wien

Wien, 29. Mai 2015

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Regulatorisch-rechtlicher Rahmen.....	4
2.1	Definition von NGA.....	4
2.2	Anforderungen an ein Kostenrechnungsmodell.....	5
2.3	Kostenrechnungsansatz.....	6
3	Überblick zum NGA-Modell 2015	10
4	Elemente des NGA-Modells 2015.....	11
4.1	Sample Anschlussbereiche	11
4.1.1	Betrachtungsobjekt Anschlussbereich	11
4.1.2	„Scorched Node“-Ansatz und Pfadabhängigkeit von NGA	11
4.1.3	Abgrenzung Access – Core	12
4.1.4	Klassifikation des Siedlungsraums.....	14
4.1.5	Modellierte Anschlussbereiche	16
4.2	RTR_ACCNET Netzmodellierung	17
4.2.1	Die Forschungsgesellschaft der FH Kärnten mbH	17
4.2.2	Arbeitsweise des Systems RTR_ACCNET	18
4.2.3	Verwendete Daten	19
4.3	Hochrechnung.....	20
4.4	Modul zur Kostenermittlung.....	21
4.4.1	Statischer Ansatz.....	21
4.4.2	Dynamischer Ansatz.....	22
5	Anhang A: Verzeichnisse	24
5.1	Literaturverzeichnis	24
5.2	Abbildungsverzeichnis	25
5.3	Tabellenverzeichnis	25
5.4	Formeln.....	25
5.5	Abkürzungsverzeichnis	26
6	Anhang B: Anschlussbereiche der Stichprobe	27
7	Anhang C: Landnutzungsklassen.....	32

1 Einleitung

Seit dem Beginn der Deregulierung der Kommunikationsmärkte und dem Aufbrechen der Telekommunikationsmonopole Ende der 1990er Jahre in Europa und den USA spielen Kostenrechnungsmodelle eine wesentliche Rolle bei der Festsetzung von Preisen, die sich Kommunikationsnetzbetreiber untereinander verrechnen. Dies trifft insbesondere für die Leistungen der Gesprächszustellung in Festnetzen und Mobilnetzen (Terminierung) sowie der Überlassung von Leitungen zum Kunden (Teilnehmeranschlussleitungen) zu.

Seit dem Jahr 2000 setzt die RTR-GmbH ein Bottom-Up-Kostenrechnungsmodell für das Anschlussnetz ein. In ihrer Empfehlung 2013/466/EU¹ macht die Europäische Kommission diesbezüglich neue Vorgaben. Die wesentlichste Änderung besteht darin, dass die Modellierung nunmehr² nicht (nur) Anschlussnetze aus Kupferdoppeladern (CuDA) umfasst, sondern auch solche, die Glasfasertechnologie teilweise oder zur Gänze einsetzen (FTTx) und damit die Berechnung der Kosten eines „Zugangsnetzes der nächsten Generation“ („Next Generation Access“ – NGA) ermöglichen soll. Daher hat die RTR-GmbH im März 2014 die Forschungsgesellschaft der FH Kärnten mbH damit beauftragt, die ingenieurmäßige Modellierung eines solchen Netzes umzusetzen. Diese stellt ein wesentliches Element des Anschlussnetzmodells „NGA-Modell 2015“ dar und trägt die Bezeichnung „RTR_ACCNET“. Vor dem Einsatz des NGA-Modells 2015 im Rahmen des Marktanalyseverfahrens M 1/15 wird dieses im Juni 2015 mit dem Markt konsultiert.

Das vorliegende „Referenzdokument zum NGA-Modell 2015“ bietet einen Überblick über den regulatorischen Kontext, grundsätzliche Annahmen der Modellierung und die Funktionsweise des Modells und seiner Elemente. Eine tiefgehende Auseinandersetzung mit der ingenieurmäßigen Netzmodellierung liefert das Dokument „Systembeschreibung RTR_ACCNET“ der Forschungsgesellschaft der FH Kärnten mbH. Eine gesonderte Datei „Inputparameter NGA-Modell 2015“ im Format von MS-Excel gibt den Betreibern im Rahmen des Marktanalyseverfahrens M 1/15 die Möglichkeit, vorläufig verwendete Werte einzusehen und gegebenenfalls eigene Werte zu melden. Hinweise zur Anwendung von RTR_ACCNET bietet schließlich das „Benutzerhandbuch“ der Forschungsgesellschaft der FH Kärnten mbH.

Die genannten Dokumente sind auf der Website der RTR-GmbH unter https://www.rtr.at/de/tk/tasl_modell verfügbar.

¹ Empfehlung der Kommission vom 11. September 2013 über einheitliche Nichtdiskriminierungsverpflichtungen und Kostenrechnungsmethoden zur Förderung des Wettbewerbs und zur Verbesserung des Umfelds für Breitbandinvestitionen (siehe *Europäische Kommission* (2013a), S. 13 – 32).

² Für die Umsetzung sieht die Empfehlung 2013/466/EU in Nummer 60 eine Übergangsfrist bis zum 31. Dezember 2016 vor (vgl. *Europäische Kommission* (2013a), S. 29).

2 Regulatorisch-rechtlicher Rahmen

2.1 Definition von NGA

In ihrer Empfehlung 2010/572/EU³ definiert die Europäische Kommission NGA wie folgt:

„Zugangsnetze der nächsten Generation“ („NGA-Netze“) sind leitungsgebundene⁴ Zugangsnetze, die vollständig oder teilweise aus optischen Bauelementen bestehen und daher Breitbandzugangsdienste mit erweiterten Leistungsmerkmalen (z. B. mit einem höheren Durchsatz) ermöglichen, die über das hinaus gehen, was mit schon bestehenden Kupferkabelnetzen angeboten werden kann. In den meisten Fällen sind NGA-Netze das Ergebnis der Aufrüstung bereits bestehender Kupfer- oder Koaxialkabel-Zugangsnetze.⁵

Bei den optischen Bauelementen handelt es sich vor allem um Glasfaserleitungen und dazu gehörende opto-elektrische Netzknoten mit der entsprechenden technischen Ausstattung. Die Glasfaserleitungen können dabei unterschiedlich weit bis zum Teilnehmer reichen, indem sie endkundenseitig entweder bis zu einem Kabelverzweiger (FTTC), bis zu einem Hausverteiler in einem Gebäude (FTTB) oder direkt bis zum Standort (Wohnung, Büro, o.ä.) des Teilnehmers (FTTH) ausgebaut werden.

Im Fall von FTTC und FTTB werden die Kupferleitungen nur mehr auf dem Teilstück zwischen Kabelverzweiger bzw. Hausverteiler und Teilnehmer für den Transport der Daten eingesetzt, wobei breitbandige Übertragungsverfahren (ADSL2+, VDSL2 etc. gegebenenfalls in Kombination mit Vectoring o.Ä.) darauf eingesetzt werden. Der Weitertransport des Datenverkehrs vom Teilnehmer zum Kernnetz erfolgt dann ab der Schnittstelle zwischen Glasfaser und Kupferdoppelader (DSLAM) gemeinsam – eine dedizierte, teilnehmer-individuelle Verbindung besteht nur auf der verbleibenden Kupferdoppelader; ab dem DSLAM (Schnittstelle zwischen Glasfaser- und Kupferdoppelader-Infrastruktur) erfolgt der Transport der Daten auf gemeinsamer Infrastruktur (shared medium).

Im Fall von FTTH ist es von der Netzarchitektur abhängig, ob und bis zu welcher Netzebene eine dedizierte Verbindung besteht. Passive optische Netze (PON) bieten im Gegensatz zu Punkt-zu-Punkt-Netzen (P2P-Netzen) nur eine Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindung (point-to-multipoint). PON-Infrastrukturen basieren zwar zur Gänze auf Glasfaserleitungen, eine dedizierte, teilnehmer-individuelle Verbindung besteht in diesem Fall nur zwischen dem letzten passiven optischen Splitter und dem Teilnehmer.

³ Empfehlung der Europäischen Kommission vom 20. September 2010 über den regulierten Zugang zu Zugangsnetzen der nächsten Generation (NGA) (siehe *Europäische Kommission* (2010), S. 35 - 48).

⁴ Die Mitteilung 2013/C 25/01 der Europäischen Kommission schließt auch Drahtlos- und Mobilfunknetze mit ein (vgl. *Europäische Kommission* (2013b), S. 13).

⁵ siehe *Europäische Kommission* (2010), S. 40

2.2 Anforderungen an ein Kostenrechnungsmodell

In ihrer Empfehlung 2013/466/EU fordert die Europäische Kommission, dass im Falle der Auferlegung einer Kostenorientierungsverpflichtung die nationalen Regulierungsbehörden (NRB) für die Zwecke der Festlegung von Vorleistungsentgelten für den Zugang zu Kupferleitungs- und NGA-Netzen ein Kostenrechnungsmodell anwenden, das die folgenden Merkmale hat:⁶

- Bottom-Up-Modellierung: Es wird ein Kostenmodell entwickelt, das ausgehend von der erwarteten Nachfrage in Bezug auf Teilnehmer und Verkehr ein effizientes Netz modelliert, wobei die entsprechenden Kosten nach einem theoretischen Netzmodell abgeschätzt werden.⁷
- Kostenrechnungsansatz der „Bottom-Up Long-Run Incremental Costs Plus“ (BU-LRIC+)⁸
- Effizienz: Es sind jene Kosten abzuschätzen, die einem hypothetischen effizienten Betreiber beim Aufbau eines modernen effizienten NGA-Netzes entstehen würden.⁹
- (Mit-)Benutzung bestehender baulicher Anlagen: Bei der Modellierung eines NGA-Netzes sollen die bestehenden baulichen Anlagen berücksichtigt werden, die im Allgemeinen auch Komponenten eines NGA-Netzes aufnehmen können.¹⁰
- Ansatz von Wiederbeschaffungswerten¹¹
- Anpassung von Abschreibungsdauern an die tatsächlichen Nutzungsdauern. Für Kabelschächte wird ein Wert von mindestens 40 Jahren gefordert.¹²
- Flexibilität des Kostenrechnungsmodells hinsichtlich unterschiedlicher NGA-Typologien (FTTx) bis hin zu einer Versorgung ausschließlich auf Basis von Kupferleitungen.¹³

Nummer 34 der Empfehlung 2013/466/EU sieht hinsichtlich der Bewertung wiederverwendbarer baulicher Anlagen und deren „Regulatorischer Kapitalbasis“ (RAB) Folgendes vor: Wiederverwendbare bauliche Anlagen sind mit dem Restbuchwert anzusetzen und über einen Preisindex auf ein aktuelles Wiederbeschaffungswertniveau anzuheben. Es ist aktuell (Mai 2015) jedoch zu erwarten, dass die Abschreibung eines indexierten Restbuchwertes über die Restnutzungsdauer nicht von einem zu Wiederbeschaffungswerten und über die gesamte Nutzungsdauer abgeschrieben Anlagegutes abweicht. Eindeutig hingegen scheint die Forderung, dass für bereits

⁶ vgl. *Europäische Kommission* (2013a), S. 25ff

⁷ vgl. Nummer 30 in *Europäische Kommission* (2013a), S. 25 iVm Nummer 6a in *Europäische Kommission* (2013a), S. 22

⁸ siehe dazu gesondert den folgenden Abschnitt 2.3

⁹ vgl. Nummer 31 der Empfehlung 2013/466/EU in *Europäische Kommission* (2013a), S. 25

¹⁰ vgl. Nummer 32 der Empfehlung 2013/466/EU in *Europäische Kommission* (2013a), S. 25

¹¹ vgl. Nummer 33 der Empfehlung 2013/466/EU in *Europäische Kommission* (2013a), S. 26

¹² vgl. Nummer 36 der Empfehlung 2013/466/EU in *Europäische Kommission* (2013a), S. 26

¹³ vgl. Nummer 37 der Empfehlung 2013/466/EU in *Europäische Kommission* (2013a), S. 26

vollständig abgeschriebene, aber noch genutzte bestehende und wiederverwendbare bauliche Anlagen keine Kosten anzusetzen sind.¹⁴

Jedenfalls wäre eine von Wiederbeschaffungswerten abweichende Bewertung von wiederverwendbaren baulichen Anlagen durch eine geeignete Wahl der entsprechenden Kosteninputparameter zu berücksichtigen.

2.3 Kostenrechnungsansatz

Die Empfehlung 2013/466/EU sieht vor, dass die NRB im Falle der Auferlegung von kostenorientierten Vorleistungsentgelten für den Zugang zu Kupferleitungs- und NGA-Netzen gegebenenfalls den Kostenrechnungsansatz „BU-LRIC+“ anzuwenden haben. Dabei handelt es sich um einen Bottom-Up-Ansatz der langfristigen Zusatzkosten zuzüglich eines Aufschlags für die Deckung von gemeinsamen Kosten und Gemeinkosten. Diesen Ansatz sollen NRB anwenden, um damit jene Kosten abschätzen, die einem hypothetischen effizienten Betreiber beim Aufbau eines modernen effizienten NGA-Netzes entstehen würden.¹⁵

Der von der Telekom-Control-Kommission bzw. der RTR-GmbH im Rahmen des Bottom-Up-Kostenrechnungsmodells im Anschlussnetz seit dem Jahr 2000 eingesetzte Kostenrechnungsansatz der „Forward Looking Long Run Average Incremental Cost“ (FL-LRAIC)¹⁶ entspricht genau diesen Vorgaben. Dabei werden vorausschauend¹⁷ die zukünftigen langfristigen durchschnittlichen inkrementellen Kosten einer Zugangsleistung (wie der entbündelten Teilnehmeranschlussleitung) eines effizienten Betreibers unter Verwendung eines effizienten Netzes errechnet. Auch hier werden gemeinsame Kosten der Netzinfrastruktur und des Unternehmens („Overhead“) anteilig berücksichtigt. Die Durchschnittsbildung bezieht sich dabei auf die Kosten je Ausbringungsmenge (diesfalls: Teilnehmeranschlussleitung). Auch im Rahmen des NGA-Modells 2015 gelangt dieser Kostenrechnungsansatz zur Anwendung.

Der Ansatz der FL-LRAIC geht von einer langfristigen Perspektive aus. Aufgrund dieser Betrachtungsweise¹⁸ werden auch solche Kosten, die üblicherweise als Fixkosten bezeichnet werden (wie z.B. Abschreibungen von Netzbestandteilen oder Kosten des „Overhead“ [allgemeine Verwaltung]), als variabel angenommen, da diese Kapazitätskosten langfristig anpassbar sind. Es werden damit ebenfalls versunkene Kosten berücksichtigt¹⁹ und es erfolgt keine Trennung in fixe und variable Kosten, somit hat der verfolgte Ansatz

¹⁴ vgl. Nummer 34 der Empfehlung 2013/466/EU in *Europäische Kommission* (2013a), S. 26

¹⁵ vgl. *Europäische Kommission* (2013a), S. 25

¹⁶ Zum Kostenrechnungsansatz der FL-LRAIC siehe *Belfin/Lukanowicz* 1999

¹⁷ vgl. *Europäische Kommission* (2013a), S. 17

¹⁸ Dabei wird nicht auf eine konkrete (lange) Frist abgestellt, vielmehr kommt der ökonomische Begriff der Langfristigkeit zu tragen, der auf einen langfristigen Gleichgewichtszustand abstellt.

¹⁹ vgl. *Europäische Kommission* (2013a), S. 17

Vollkostencharakter, bei dem alle vom gegenständlichen Produkt (z.B. Zusammenschaltung oder Entbündelung) verursachten Kosten Berücksichtigung finden.

Daraus ergibt sich, dass auch die für die Finanzierung von Neuinvestitionen notwendigen Abschreibungen und Kapitalkosten im FL-LRAIC-Ansatz inkludiert sind.

In einem Wettbewerbsmarkt ermittelt sich der Preis für ein Produkt nicht aus den historischen Anschaffungskosten der zur Leistungserbringung notwendigen Investitionen, sondern als Marktpreis aus Angebot und Nachfrage. Der Wert einer Investition ist daher nicht von den ursprünglichen Anschaffungskosten abhängig, sondern von den zukünftigen Erträgen, die mit dieser Investition erzielt werden können. Herrscht auch auf dem Vorleistungsmarkt für Investitionsgüter vollständiger Wettbewerb, so spiegeln die Preise der Investitionsgüter auch die diskontierten zukünftigen Erträge aus diesen Investitionen wider. Dies bedeutet, dass es einem Anbieter gegebenenfalls (auf Grund des Wettbewerbsdrucks, späterer Markteinstiege mit anderen Produktionstechnologien, Innovationen etc.) unmöglich sein kann, die Anschaffungskosten über entsprechende Preisgestaltung zurückzuerzielen. Daher wird sich ein Anbieter auf einem Wettbewerbsmarkt (die Simulation der Ergebnisse eines solchen steht hier zur Diskussion) nicht an seinen historischen Kosten orientieren (können), sondern wird seine Marktpreise auf Basis jener Kosten kalkulieren, die für eine Substanzerhaltung des Unternehmens und die Befriedigung der Nachfrage erforderlich sind. Das bedeutet außerdem, dass das Unternehmen das zukünftige Angebot entsprechend der zu erwartenden Nachfrage so effizient als möglich bereitstellen will.

Für die Berechnung sind also die Kosten relevant, die durch die Erhaltung der Produktionskapazität entstehen (Going-Concern-Prinzip). Die Wiederbeschaffungswerte dieser zur Leistungserbringung notwendigen Ausstattung sind die Basis für die Berechnung der FL-LRAIC. Um der Anforderung der Substanzerhaltung gerecht werden zu können, werden die Investitionen nicht mit den historischen Anschaffungskosten, sondern mit Wiederbeschaffungskosten gemäß dem „Modern Equivalent Asset“-Ansatz (MEA) bewertet. Es sollten dabei Technologien in die Betrachtung eines Wiederbeschaffungswertansatzes (nach MEA) einbezogen werden, die funktionell (zumindest) Äquivalente zur im Einsatz befindlichen Kupfertechologie darstellen.

Eine weitere bedeutende Einflussgröße in Bezug auf die Kosten ist die Abschreibungsdauer der Investition. Grundlage für die Ermittlung der kalkulatorischen Abschreibung ist nicht die finanzbuchhalterische Abschreibungsdauer einer Investition oder die technische (möglicherweise mit großem – ökonomisch nicht mehr zu rechtfertigendem – Aufwand beliebig verlängerbare) Nutzungsdauer, sondern die ökonomisch optimale bzw. tatsächliche Nutzungsdauer.

Um eine möglichst starke Position im Wettbewerb einzunehmen, würde der Anbieter in Zukunft die ökonomisch effizienteste Technologie bzw. Netztopologie einsetzen. Diese bestimmen die Wiederbeschaffungswerte und sind schließlich die Basis für die Berechnung der FL-LRAIC. Damit wird dem regulierten Unternehmen die Substanzerhaltung ermöglicht und Effizienz sichergestellt. Gleichzeitig stellt die Wiederbeschaffungswertorientierung auch

sicher, dass die richtigen Investitionsanreize für die Nachfrager auf Vorleistungsebene bestehen. Der Ansatz der Wiederbeschaffungswertorientierung ist dafür zentral, da die Zugrundelegung der jeweils effizientesten, real am Markt im Einsatz befindlichen Technologie auch dem Nachfrager (idealerweise) die richtigen Investitionssignale und Anreize für eine „Make-or-Buy“ Entscheidung gibt.

Über den mittels FL-LRAIC simulierten Wettbewerbspreis soll somit auch das wohlfahrts-ökonomisch richtige Signal für eine (ex-ante) Investitionsentscheidung („Make-or-Buy“) gesetzt werden und somit Investitionen in (neue, alternative) effiziente Infrastruktur gefördert und Investitionen in ineffiziente Infrastruktur verhindert werden. Wird der Preis zu hoch angesetzt, werden Investitionen in ineffiziente Infrastruktur gefördert, wird der Preis hingegen zu niedrig angesetzt, bewirkt dies eine ineffizient hohe Nutzung der betreffenden Infrastruktur, und Investitionen in neue effiziente(re) Infrastruktur bleiben aus. Letzteres würde den regulatorischen Zielen eines infrastrukturbasierten und damit dauerhaft selbsttragenden Wettbewerbs zuwider laufen. Die FL-LRAIC erfüllen somit die Anforderung der Europäischen Kommission an die Kostenrechnungsmethode, ein geeignetes Signal für den Bau bzw. Kauf von Kapazitäten zu setzen und damit ein ausgewogenes Verhältnis zwischen der Gewährleistung eines effizienten Markteintritts und ausreichenden Anreizen für Investitionen in NGA-Netze, insbesondere für deren Ausbau zu schaffen.²⁰

Unter bestimmten Bedingungen kann ein Endkundenpreisniveau jedoch unter den FL-LRAIC zu liegen kommen. Beispielsweise kann dies dann der Fall sein, wenn versunkene Investitionen für eine Preisuntergrenze nicht entscheidungsrelevant sind. Dies könnte insbesondere dann gegeben sein, wenn von einer Reinvestition abgesehen wird. In solchen und anderen Fällen wäre zusätzlich zu prüfen, ob eine Preis-Kosten-Schere (Margin Squeeze) vorliegt.

Der Kostenrechnungsansatz der FL-LRAIC erfüllt somit insgesamt die Vorgaben der Europäischen Kommission hinsichtlich sämtlicher Anforderungen:²¹

- Die Kostenrechnungsmethode führt zu Entgelten, die auf einem Markt zu erwarten sind, auf dem echter Wettbewerb herrscht.
- Die Kostenrechnungsmethode entspricht dem wesentlichen Grundsatz der Kostendeckung und ermöglicht eine angemessene Rendite auf das investierte Kapital.
- Die Kostenrechnungsmethode setzt ein geeignetes Signal für den Bau bzw. Kauf von Kapazitäten und schafft damit ein ausgewogenes Verhältnis zwischen der Gewährleistung eines effizienten Markteintritts und ausreichenden Anreizen für Investitionen in NGA-Netze, insbesondere in deren Ausbau.
- Die Kostenrechnungsmethode modelliert das zusätzliche Kapital (einschließlich versunkener Kosten) und die von einem hypothetischen effizienten Betreiber bei der

²⁰ vgl. *Europäische Kommission* (2013a), S. 17

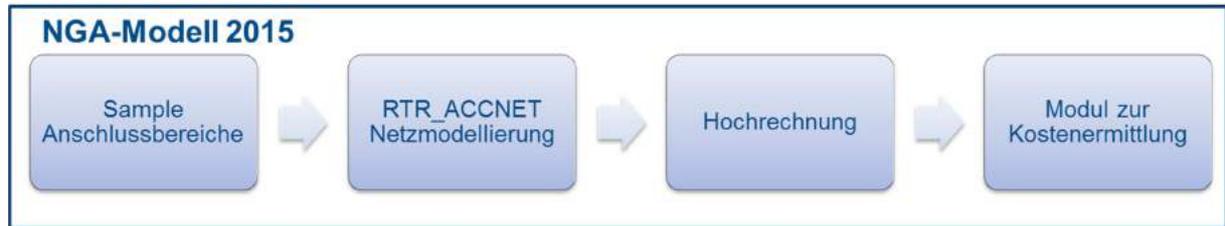
²¹ vgl. *Europäische Kommission* (2013a), S. 16f

Bereitstellung aller Zugangsdienste zu tragenden Betriebskosten zuzüglich eines Aufschlags zur Deckung der gemeinsamen Kosten und Gemeinkosten.

- Die Kostenrechnungsmethode berechnet vorausschauend die aktuellen Kosten, die einem effizienten Netzbetreiber beim Aufbau eines modernen und effizienten Netzes heute entstehen (Wiederbeschaffungswerte).

3 Überblick zum NGA-Modell 2015

Der Ablauf des NGA-Modells 2015 ist in der folgenden Abbildung dargestellt.



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 1: Elemente des NGA-Modells 2015

Die einzelnen Elemente des NGA-Modells 2015 sind entsprechend ihrer sequentiellen Abfolge als einzelne Tätigkeitsschritte dargestellt:

1. In einem ersten Schritt erfolgt die Auswahl jener Anschlussbereiche, die in Folge modelliert werden. Die Auswahl erfolgt als repräsentative Stichprobe, der die Klassifikation des österreichischen Siedlungsraums zu Grunde liegt. (Im Detail siehe dazu Abschnitt 4.1.)
2. Im nächsten Schritt werden die erforderlichen Investitionen je Teilnehmeranschluss für ein NGA-Netz für die 85 Anschlussbereiche des Stichprobensamples errechnet. Für die ingenieurmäßige Netzmodellierung kommt als zentrales Element des Modells das System RTR_ACCNET der Forschungsgesellschaft der FH Kärnten mbH zum Einsatz. (Einen Überblick dazu liefert Abschnitt 4.2, im Detail siehe dazu die Systembeschreibung *FH Kärnten 2015a*.)
3. Die Investitionswerte je Teilnehmeranschluss im Sample werden sodann auf ganz Österreich hochgerechnet. (Im Detail siehe dazu Abschnitt 4.3.)
4. Im letzten Schritt werden aus den Investitionswerten je Teilnehmeranschluss monatliche Kosten ermittelt. (Im Detail siehe dazu Abschnitt 4.4.)

Zu den einzelnen Elementen des NGA-Modell 2015 wird in Folge ausgeführt.

4 Elemente des NGA-Modells 2015

4.1 Sample Anschlussbereiche

4.1.1 Betrachtungsobjekt Anschlussbereich

Die erforderlichen Investitionen in ein Anschlussnetz in der Ausgestaltung eines NGA-Netzes werden auf der Ebene von einzelnen Anschlussbereichen ermittelt.

Die ingenieurmäßige Netzmodellierung erfolgt dabei nicht für die gesamte Fläche Österreichs, sondern zur Begrenzung der zu lösenden Optimierungsprobleme jeweils für ein Teilgebiet. Als Abgrenzung dieser Teilgebiete werden die bestehenden Anschlussbereichsgrenzen im Festnetz der A1 Telekom Austria herangezogen („Scorched Node“-Ansatz.²²). Die ingenieurmäßige Bottom-Up-Berechnung der dafür erforderlichen Trassen und Netzkomponenten sowie der erforderlichen Investitionen erfolgt somit jeweils für die geographische Ausdehnung eines Anschlussbereiches. Dabei wird zunächst nicht von einer tatsächlich bestehenden Leitungsführung ausgegangen, sondern eine fiktive kostenoptimale Trassierung unter Berücksichtigung vorhandener geographischer Umstände ermittelt.

Die Berechnung erfolgt dabei jedoch nicht für alle Anschlussbereiche über die gesamte Fläche Österreichs, sondern beschränkt sich auf eine repräsentative Stichprobe, um sowohl die Rechenzeiten als auch die Kosten für die Beschaffung und Aufbereitung der geographischen Daten in vertretbaren Rahmen zu halten. Über die statistische Hochrechnung werden die Ergebnisse der Stichprobe auf die Gesamtheit aller Anschlussbereiche umgelegt.²³

4.1.2 „Scorched Node“-Ansatz und Pfadabhängigkeit von NGA

Das Modell geht von einem „Scorched Node“-Ansatz aus, modelliert somit die Anschlussbereichsgrenzen und die Standorte der Hauptverteiler (als Grenze zwischen Access-Net und Core-Net) nicht neu, sondern nimmt diese als exogen gegeben an. Innerhalb dieser Grenzen wird zunächst unabhängig von bestehender Netzinfrastruktur ein abstraktes Zugangsnetz mit effizienter Struktur aufgebaut, das dem Stand der Kupferanschlussnetztechnologie entspricht. Ziel ist dabei die effiziente Bedienung der vorhandenen Anzahl von Kunden, welche als exogener Faktor in das Rechenmodell eingeht und mit dem bestehenden Teilnehmervolumen unter Berücksichtigung der geographischen Verteilung gleichgestellt wird. Das so konstruierte Netz wird mit Wiederbeschaffungswerten bewertet. Dieser „Scorched Node“-Ansatz wurde auch in der Vergangenheit beim Bottom-Up-Kostenrechnungsmodell für den Zugang zur Teilnehmeranschlussleitung angewendet.

²² Zum „Scorched Node“-Ansatz siehe Abschnitt 4.1.2

²³ Zur Hochrechnung siehe Abschnitt 4.3

Das NGA-Netz der A1 Telekom Austria baut auf dem bestehenden Kupferanschlussnetz auf. Insbesondere gelangen vorhandene Kupferleitungen (teilweise) weiter zum Einsatz. Dieser Umstand wird von der Modellierung berücksichtigt, indem hier auf bereits vorhandenen Infrastrukturen eines herkömmlichen Anschlussnetzes aufgesetzt wird. Neben Kupferleitungen betrifft dies allenfalls vorhandene und mitbenutzbare Kabelkanäle und ähnliche Infrastrukturen sowie bereits vorhandene Glasfaserleitungen, die nach der Empfehlung 2013/466/EU in der Kostenrechnungsmethode zu berücksichtigen sind.²⁴

Bei der Modellierung eines NGA-Netzes besteht somit insofern eine Pfadabhängigkeit, als auf einem (fiktiv optimalen) Kupfernetz aufgesetzt wird und dieses um Glasfaserleitungen und entsprechende Komponenten erweitert und damit zu einem NGA-Netz ausgebaut bzw. aufgerüstet wird. Das System RTR_ACCNET wurde dementsprechend gestaltet.²⁵

4.1.3 Abgrenzung Access – Core

In der Vergangenheit stellte bei herkömmlichen Kupferanschlussnetzen der Hauptverteilerstandort als erster Punkt der Konzentration des Verkehrs die Grenze zwischen dem Zugangsnetz (Access) und dem Kernnetz (Core) dar. Diese Betrachtungsweise wird nun auch im Fall der Modellierung eines NGA-Netzes in Übereinstimmung mit den Modellannahmen des Bottom-Up-Kostenrechnungsmodells für die Zusammenschaltung im Festnetz²⁶ beibehalten. In diesem Abschnitt folgen weitere Überlegungen zur Abgrenzung Access – Core.

Ausgangspunkt der Modellierung beim Bottom-Up-Kostenrechnungsmodell für die Zusammenschaltung sind die bestehenden Knotenstandorte des Zugangsnetzes, in denen aller Verkehr von den Teilnehmern zusammenläuft und in den Systemen des Verbindungsnetzes erstmals konzentriert wird. Diese Standorte sind bei klassischen festnetzgebundenen Sprachtelefonnetzen aus Kupferanschlussnetzen und POTS/ISDN-Vermittlungssystemen des PSTN als Hauptverteilerstandorte (HVt) bekannt. Die Abgrenzung zum Anschlussnetz ist bei NGN-Netzen nicht mehr so eindeutig beschreibbar wie bei dem klassischen PSTN, sondern kann vielmehr von den implementierten FTTx-Zugangsarchitekturen abhängen.²⁷

Schematisch lässt sich das Telekommunikationsnetz entsprechend der nachfolgenden Abbildung 2 darstellen. Die ganz rechts skizzierte Wolke stilisiert dabei das eigentliche Dienste erbringende IP-Kernnetz, wobei die mittlere Wolke eine reine Verkehrskonzentration zur Aufgabe hat und die Wolke ganz links die Teilnehmeranschlusstechnologie eines NGA-Netzes kennzeichnet. Die Schnittstelle zwischen Zugangsnetz und Konzentrationsnetz bildet der MPoP (Metropolitan Point of Presence) entsprechend der EU-Nomenklatur.²⁸ Diese

²⁴ Nummer 32 der Empfehlung 2013/466/EU in *Europäische Kommission* (2013a), S. 25

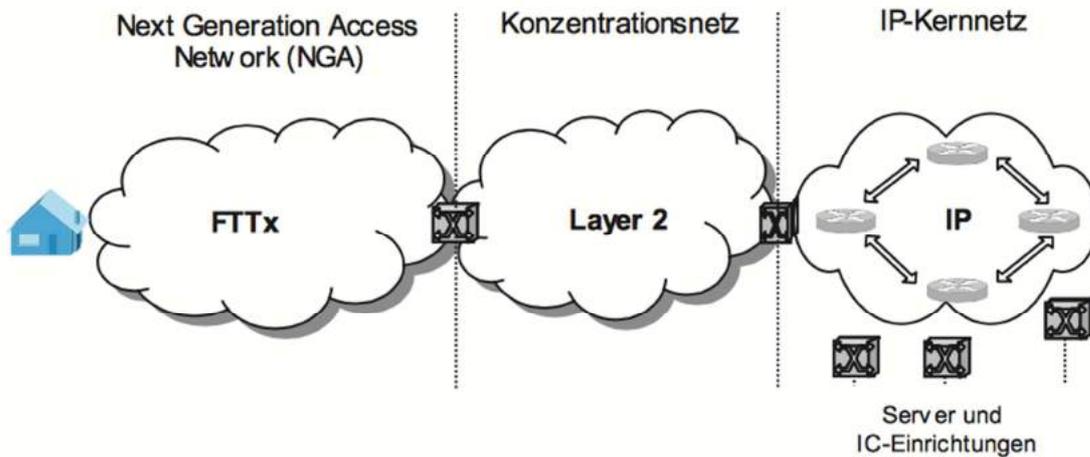
²⁵ Zur Arbeitsweise des Systems RTR_ACCNET siehe Abschnitt 4.2.2

²⁶ vgl. *WIK-Consult* (2011), S. 5

²⁷ vgl. *WIK-Consult* (2011), S. 1

²⁸ Vgl. *Europäische Kommission* (2010), S. 40

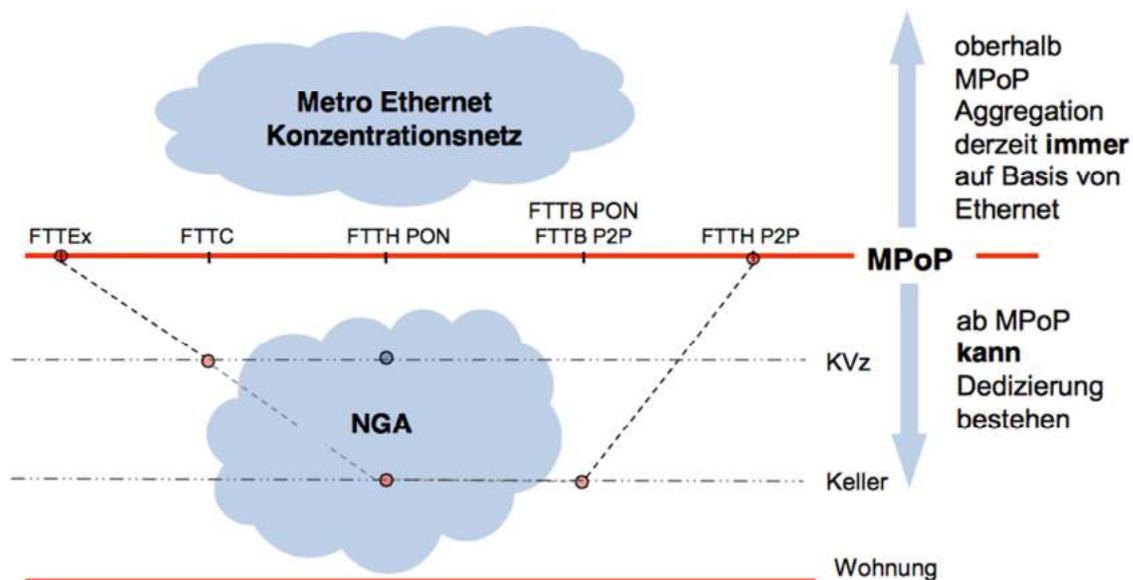
Standorte gelten wegen ihrer Abhängigkeit vom Zugangnetz als modellexogen gesetzt und bilden die unterste Ebene der Netzknotenstandorte des Bottom-Up-Kostenrechnungsmodells für die Zusammenschaltung.²⁹



Quelle: WIK-Consult 2011, S. 5

Abbildung 2: Netzsegmente im Festnetz

Die folgende Abbildung 3 vermittelt einen Eindruck davon, inwiefern die Demarkationspunkte (im Sinne des Endes einer dedizierten Anschlussverbindung) auf Grund der Heterogenität der NGA-Architekturen unterschiedlich positioniert sein können. Nur bei FTTEX und FTTH P2P fällt der Demarkationspunkt mit dem MPoP (Metropolitan Point of Presence) zusammen. Ansonsten liegt der Demarkationspunkt innerhalb des Access Netzes (NGA), d.h. teilnehmerseitig vom MPoP.



Quelle: WIK-Consult 2014, S. 18

Abbildung 3: MPoP als Standort der untersten Netzebene im Konzentrationsnetz

²⁹ vgl. WIK-Consult (2011), S. 5

Für die Zwecke der Kostenmodellierung wird in Übereinstimmung mit der entsprechenden EU-Nomenklatur³⁰ und mit der Abgrenzung des Kostenrechnungsmodells für die Zusammenschaltung im Festnetz der MPoP und damit der Hauptverteilerstandort als modellexogene Grenze zwischen dem Kern- und dem Zugangsnetz herangezogen.

4.1.4 Klassifikation des Siedlungsraums

Die Auswahl der repräsentativen Stichprobe von Anschlussbereichen erfolgt an Hand einer Klassifikation des österreichischen Siedlungsraums, die wesentlich durch die Siedlungsstruktur bestimmt wird, da die Kosten der Anschlussnetzinfrastruktur wesentlich von den Grabungskosten bestimmt sind, die ihrerseits wieder von der Siedlungsdichte abhängen. Die Klassifikation des österreichischen Siedlungsraumes wurde im Rahmen einer Studie durch das Institut für Stadt- und Regionalforschung an der Technischen Universität Wien vorgenommen.³¹

Die Analyse erfolgte in einem zweistufigen Verfahren:

- Grobklassifikation der Anschlussbereiche
- Clusteranalyse zur Typisierung des ländlichen Raumes

Bei der Grobklassifizierung handelt es sich um ein normativ hierarchisches Verfahren zur groben Festlegung von Dichteklassen, in dem über die Bevölkerungsdichte (Einwohner bezogen auf den Dauersiedlungsraum) folgende Klassen unterschieden wurden:

- Urban hohe Dichte; geschlossene, verdichtete Bebauung
- Suburban mittlere Dichte; überwiegend geschlossenen Bebauung; ursprünglich ländliche Siedlungsformen
- Kleinstädtisch mittlere bis geringere Dichte, städtisch klassifizierte Ortschaftsbestandteile; kleine und mittlerer Bezirksstädte sowie historisch gewachsene wenig überformte Kleinzentren
- Touristisch verdichtet grundsätzlich vergleichbar mit suburbanem Typ; stark vom Tourismus geprägt, daher hohe Anschlussdichte bei geringerer Bevölkerungsdichte
- Rural Residualkategorie

Für die weitere Klassifizierung des ländlichen Raumes (Kategorie: Rural) wurde eine Clusteranalyse mit folgenden Eingangsvariablen durchgeführt:

³⁰ vgl. *Europäische Kommission* (2010), S. 40

³¹ siehe *Feilmayr/Kalasek* (2000)

- Bevölkerungsdichte (bezogen auf die Gesamtfläche und Dauersiedlungsraum)
- Anteil der Bevölkerung in Ortschaftsbestandteiltypen:
 - Stadt/Stadtteil
 - Markt/Dorf/Siedlung
 - Weiler/Rotte
 - Streusiedlung
- Zugehörigkeit (Anteilswerte) zu bestimmten historischen Siedlungsformen:
 - Märkte und Dörfer
 - Weiler/Streusiedlungen ohne größeres Siedlungszentrum
 - Weiler/Streusiedlungen mit größerem Siedlungszentrum
- Anzahl der Ortschaftsbestandteile
- Bevölkerungs- und Gebäudeanteile in den drei größten Ortschaftsbestandteilen
- Bevölkerungsdynamik
- Anzahl der Übernachtungen

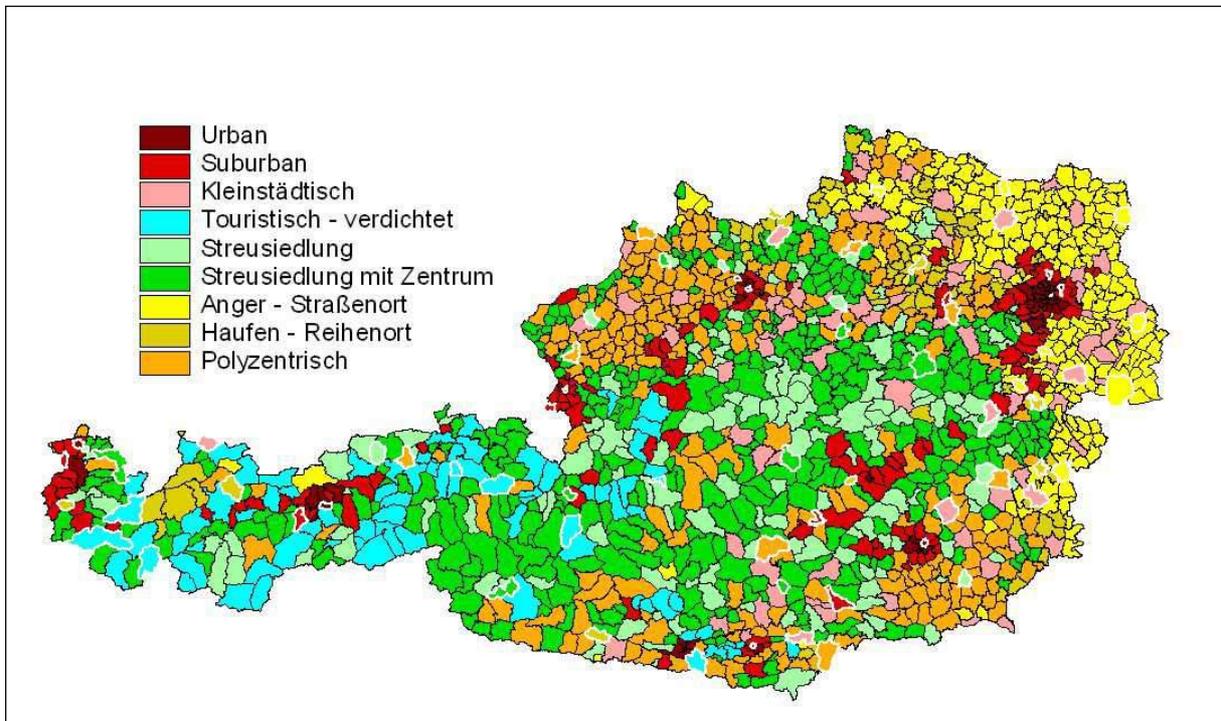
Ergebnis der Analyse sind fünf Typen:

- **Streulage**
 charakterisiert durch den Typus einer Streusiedlung mit disperser Bevölkerungsverteilung.
 Hauptverbreitungsgebiet: gesamter alpiner Raum.
- **Streusiedlung mit Zentrum**
 im Gegensatz zur Streulage weist dieser Typ ein Zentrum oder einige (wenige) kleine Zentren (Kirchort) auf.
 Hauptverbreitungsgebiete: alpiner Raum, Bucklige Welt, östliches Mühlviertel.
- **Anger- bzw. Straßendorf**
 Bevölkerungskonzentration im Hauptort; unterdurchschnittliche Anzahl von Ortschaftsbestandteilen.
 Hauptverbreitungsgebiete: fast ausschließlich Weinviertel und Burgenland.
- **Reihen- und Haufenorte**
 im Gegensatz zu Anger- und Straßendorf geringere Ausprägung der räumlichen Konzentration.
 Hauptverbreitungsgebiete: Umgebung von Krems und St. Pölten, nördliches Wald- und Mühlviertel (Grenze zur Tschechischen Republik; hier vor allem als Reihenort), Tiroler Lechtal (Sonderform: Massendorf).
- **Polyzentrische Siedlungsstruktur**
 größere Zahl von eher kleinen Dörfern und Märkten je Anschlussbereich (durchschnittlich

44).

Hauptverbreitungsgebiete: Hügelländer des Inn- und Hausruckviertels, Südoststeiermark.

Eine nachfolgende Analyse der Verteilung von Teilnehmeranschlüssen, Grundstückspreisen und Wanderungszahlen über die abgegrenzten Typen zeigte, dass die einzelnen Gruppen äußerst homogen sind und sich statistisch signifikant voneinander unterscheiden.



Quelle: vgl. *Feilmayr/Kalasek* 2000, S. 15

Abbildung 4: Typisierung der österreichischen Siedlungsstruktur

4.1.5 Modellierete Anschlussbereiche

Bei der Auswahl einer repräsentativen Stichprobe von Anschlussbereichen wurde nach folgenden Kriterien vorgegangen:

1. Die verwendeten Anschlussbereiche sind "robust" (gleich bleibende Definition in unterschiedlichen Gebietsständen; keine offensichtlichen Fehler in einzelnen Variablen; daher waren keine "händischen" Korrekturen notwendig)
2. Zugehörigkeit zu vergleichbaren Typen in beiden Analysen³²
3. Entfernung zum Clusterzentrum (Auswahl besonders typischer Anschlussbereiche)
4. Ähnliche statistische Werte (Mittelwert, Standardabweichung) der einzelnen Typen in der Stichprobe und der Grundgesamtheit
5. Regionale Streuung

³² Zur näheren Vorgangsweise vgl. *Feilmayr/Kalasek* (2000).

Insgesamt wurden 85 Anschlussbereiche in die repräsentative Stichprobe aufgenommen.³³ Darin ist die folgende Anzahl an Anschlussbereichen je Geotyp enthalten:

- Urban (C1) : 9 ASB
- Suburban (C2): 8 ASB
- Kleinstädtisch (C3): 11 ASB
- Touristisch Verdichtet (C4): 10 ASB
- Streusiedlung (C5): 9 ASB
- Streusiedlung mit Zentrum (C6): 10 ASB
- Anger-Straßenort (C7): 8 ASB
- Haufen-Reihenort (C8): 11 ASB
- Polyzentrisch (C9): 9 ASB

4.2 RTR_ACCNET Netzmodellierung

4.2.1 Die Forschungsgesellschaft der FH Kärnten mbH

Die Forschungsgesellschaft der FH Kärnten mbH stellt als Tochterunternehmen der Fachhochschule Kärnten, gemeinnützige Privatstiftung, die Transferplattform für Dienstleistungen aus dem hochschulischen Bereich dar. Das Kernkompetenzzentrum Netzwerksimulation und -optimierung bildet einen der fünf Geschäftsbereiche der Forschungs-GmbH. Das Zentrum verfügt über die folgenden Kernkompetenzen:

- Entwicklung und softwaremäßige Implementierung von Optimierungsmodellen für den Ausbau von Hybridnetzen im Zugangsnetzbereich. Die Modelle unterstützen dabei einerseits die Minimierung von Investitionskosten und andererseits die Maximierung des Grenznutzens von Erlösen und Investitionskosten.
- Transfer von Simulationsergebnissen (Studien) für spezielle Fragen im Zusammenhang mit Netzausbauvorhaben im Zugangsnetzbereich (Synergiepotentiale unterschiedlicher Geschäftsfelder, Attraktivitätsgrad von Ausbaubereichen etc.).
- Bereitstellung bzw. Aufbereitung von Geoinformations-Basisdaten (räumliche Topologie, Populationscharakteristika etc.) für den Betrieb der Optimierungsmodelle.

Im letzten Jahrzehnt wurden dahingehend für insgesamt fünf renommierte Netzwerkerrichter und -betreiber im Europäischen Raum und für die RTR-GmbH Dienstleistungen erbracht.

Die Basis entsprechender Dienstleistungen bilden die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten der zum Kompetenzzentrum assoziierten hochschulischen Mitarbeiter. Diese Personengruppe umfasst Senior-Researcher (Post-doc, fach einschlägig in

³³ Eine Auflistung der konkreten Anschlussbereiche ist zu finden in Anhang B: Anschlussbereiche der Stichprobe.

den Bereichen mathematische Modellbildung und Optimierung und Netzwerktechnik) und Key-Researcher (Post-graduate, facheseinschlägig in den Bereichen Kommunikations-, Netzwerktechnik und Expertensysteme).

4.2.2 Arbeitsweise des Systems RTR_ACCNET

Die einzelnen Komponenten des Systems RTR_ACCNET sind in der unten stehenden Abbildung 5 dargestellt und deren Funktionen werden in der Folge kurz beschrieben.³⁴



Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an *FH Kärnten* 2015a, S. 2

Abbildung 5: Komponenten des Systems RTR_ACCNET

Ausgangspunkt der Modellierung eines NGA-Netzausbaus stellt eine fiktiv bestehende effiziente Kupferanschlussnetzinfrastruktur dar,³⁵ die in der Geographie eines Anschlussbereiches verteilte Anschlussobjekte mit einem vorzugebenden Versorgungsgrad in optimaler Weise an den vorgegebenen Hauptverteilerstandort anbindet. Diese Berechnung wird in der Komponente des „Cu-Generators“ vorgenommen.

Ein Element der Anforderungen an eine Bottom-Up-Modellierung stellt die (Mit-)Benutzung von bestehenden baulichen Anlagen dar.³⁶ Dabei wird es sich im Fall einer leitungsgebundenen Anschlussnetzinfrastruktur vor allem um Kabelkanäle, Kabelkanalanlagen, Rohrverbünde etc. sowie um unbeschaltete Glasfasern handeln. Da dazu seitens der RTR-GmbH keine Daten von A1 Telekom Austria vorliegen,³⁷ solche in der Vergangenheit auch nicht beschafft werden konnten und dessen ungeachtet ein fiktives effizientes Netz modelliert werden soll, wird auch diese Infrastruktur im Rahmen eines „Leerrohr-Generators“ sowie eines „Fiber-Generators“ emuliert. Das Ausmaß und die Kapazität der fiktiv bestehenden und durch einen NGA-Ausbau (mit-)nutzbaren Infrastrukturen kann im System RTR_ACCNET durch entsprechende Inputparameter beeinflusst werden.

³⁴ Für eine tiefergehende Beschreibung siehe *FH Kärnten* (2015a).

³⁵ Zur Pfadabhängigkeit eines NGA-Ausbaus vgl. Abschnitt 4.1.2

³⁶ Vgl. Abschnitt 2.2 sowie Nummer 32 der Empfehlung 2013/466/EU in *Europäische Kommission* (2013a), S. 25

³⁷ Sofern zukünftig solche Daten vorliegen sollten, besteht die Möglichkeit, Echtdaten von Betreibern zu bestehender Infrastruktur einzuspielen und im NGA-Modell 2015 zu berücksichtigen.

Sodann wird auf Basis einer solcherart modellierten (bestehenden) Infrastruktur aus Kupferkabeln, Leerverrohrungen und unbeschaltete Glasfasern eine kostenoptimale NGA-Netzinfrastruktur errichtet, wobei Mindestversorgungsgrade und Bandbreiten vorgegeben werden können. Das System RTR_ACCNET ermittelt Investitionswerte (CAPEX) für die NGA-Netzinfrastruktur für die Anschlussbereiche der repräsentativen Stichprobe.

4.2.3 Verwendete Daten

Die Netzwerkgraphen werden auf Basis der Digitalen Katastralmappe (DKM) erzeugt. Die darin enthaltenen Polygone stellen die Grenzen von Landnutzungen dar und werden nach Bereinigung von möglichen Datenfehlern (z.B. offene oder sich selbst schneidende Polygone) als Ausgangsbasis für die Konstruktion der Netzwerkgraphen verwendet.

Für alle als Gebäude klassifizierten Polygone (mit einer Fläche von mind. 60m²) wird das geometrische Zentrum bestimmt und als potentielles Anschlussobjekt (Kabelausslässe) in den Graphen übernommen. Liegt das geometrische Zentrum außerhalb des Polygons, so wird dieser auf den nächstgelegenen (Euklidische Distanz) bestehenden Knoten des Polygons verschoben. Die so erzeugten Anschlussobjekte werden mit Hilfe von orthogonalen Projektionen an den Netzwerkgraphen angebunden.³⁸

Die folgenden Daten werden im Rahmen des System RTR_ACCNET herangezogen:

1. Geographische Grunddaten

- Regionalstatistischer 100m-Raster der Statistik Austria (Stand Juli 2014) mit folgenden Attributen:
 - Wohnbevölkerung (Anzahl der Personen mit Hauptwohnsitz)
 - Anzahl der Personen mit Nebenwohnsitz
 - Anzahl der Gebäude
 - Anzahl der Wohngebäude
 - Anzahl der Wohnungen
- Digitale Katastral-Mappe des Bundesamts für Eich- und Vermessungswesen
 - Stichtagsdaten des Grundstücksverzeichnisses
- Anschlussbereichsgrenzen und Hauptverteilerstandorte von A1 Telekom Austria

2. Nachfragedaten

- Verteilung und Art der Nachfrage im Anschlussnetz von A1 Telekom Austria (abzufragen)

³⁸ vgl. *FH Kärnten* (2015a), S. 5

3. Investitions- und Preisparameter für Infrastruktur und technische Systeme

- Grabungskosten unterschieden nach Nutzungsklassen und Geotypen (werden im Rahmen der Konsultation erhoben)
- Kosten für Cu-Kabel und Glasfaserkabel sowie Kabelkanäle für Glasfaser (werden im Rahmen der Konsultation erhoben)
- Kosten für Cu-Knoten-Infrastruktur wie Abzweig- und Verbindungsmuffen, Kabelverzweiger, Kabelauslässe etc. sowie Kosten für Glasfaserknoten-Infrastruktur wie Muffen und Splitter (werden im Rahmen der Konsultation erhoben)
- Sonstige Inputkostenparameter (werden im Rahmen der Konsultation erhoben)

4. Struktur- und Modellparameter

- Dienen der Netzoptimierung und einer laufzeitstabilen Berechnung und werden im Rahmen der Rechendurchläufe festgelegt.

Prinzipiell sei darauf hingewiesen, dass je Anschlussbereich (ASB) ein eigener Datensatz erstellt und auch unter einem separaten Namen abgespeichert werden kann. Somit könnte bei den Grabungskosten (auch wenn diese je Landnutzungsklasse zur Anwendung gelangen) zusätzlich zwischen den verschiedenen Typen der Siedlungsstruktur unterschieden werden. Damit könnte beispielsweise berücksichtigt werden, dass Grabungskosten auf Bauland im urbanen Raum teurer sind, als etwa im ruralen Raum mit polyzentrischer Siedlungsstruktur. Es wird daher beabsichtigt, Grabungskosten nach den Siedlungstypen unterschieden zu erheben.

4.3 Hochrechnung

Das System RTR_ACCNET berechnet Investitionswerte für die repräsentative Stichprobe der Anschlussbereiche.³⁹ Um Investitionswerte für ganz Österreich zu erhalten, ist eine Hochrechnung der Stichprobenergebnisse auf die Grundgesamtheit aller Anschlussbereiche erforderlich.

Für die Hochrechnung wird eine multivariate Regressionsanalyse⁴⁰ als Erklärungsmodell zur Berechnung der Investitionskosten je Teilnehmeranschlussleitung herangezogen werden, die basierend auf den neuen Daten und ermittelten Investitionswerten parametrisiert werden wird.

Multivariate Regressionsmodelle haben sich in einer Reihe von betriebswirtschaftlichen Anwendungen, insbesondere bei Prognoseproblemen, als robustes und effizientes Werkzeug herausgestellt.

³⁹ vgl. Abschnitt 4.1

⁴⁰ Ähnlich der Vorgehensweise in *Hartl/Kopp/Lukanowicz/Pahs (2005)*, S. 46 - 48

Aus den Prognosewerten sollen durchschnittliche Kosten je Anschlusseinheit bzw. (TASL) berechnet werden. Für die Parameter ist beabsichtigt – wie zuletzt – 95%-Konfidenzintervalle anzugeben. Für die Schätzung steht neben einer Batterie soziodemografischer Variablen wiederum die Typisierung der Anschlussbereiche in Form von neun Clustern⁴¹ zur Verfügung. Letztlich soll in Bezug auf die statistische Hochrechnung der Investitionswerte je Teilnehmeranschlusseinheit methodisch anlog zum bisherigen Modell vorgegangen werden.

4.4 Modul zur Kostenermittlung

Das System RTR_ACCNET sowie die darauffolgende Hochrechnung liefert die Werte für Einmalinvestitionen zur Errichtung der Anschlussnetzinfrastruktur (CAPEX). Diese einmaligen Investitionswerte werden in der weiteren Folge der Berechnungen im Modul zur Kostenermittlung auf monatliche Werte umgelegt (Annuisierung der CAPEX) und um weitere Kostenbestandteile wie Zinskosten und Betriebskosten sowie Overhead (OPEX) ergänzt. Dabei können einerseits ein statischer Ansatz (unter Vernachlässigung von Zinseszinsseffekten) oder ein dynamischer Ansatz verfolgt werden. Diese werden im vorliegenden Abschnitt erläutert.

4.4.1 Statischer Ansatz

Die zeitliche Abgrenzung von Investitionswerten kann im Rahmen eines herkömmlichen statischen Ansatzes mittels der Methode der linearen Abschreibung erfolgen, indem die Investitionswerte auf die Nutzungsdauer des Anlagegutes verteilt werden. Für die Opportunitätskosten des gebundenen Kapitals wird das durchschnittlich gebundene Kapital mit dem Kapitalkostenzinssatz gemäß dem Ansatz der durchschnittlich gewichteten Kapitalkosten (WACC) angesetzt. Als weitere Kostenbestandteile fließen jährliche Zusatzkosten je Anschlusseinheit (z.B. für die Verwaltung der Anschlussnetzinfrastruktur wie Planung und Evidenzhaltung), ein Betriebskostenaufschlag (für Personal, Wartung, etc, der in Abhängigkeit von der Abschreibung ermittelt wird) sowie ein Markup für die Deckung der Unternehmensgemeinkosten (Overhead) ein.

Die folgende Formel stellt diese Berechnungsmethodik für die monatlichen Mietkosten m dar.

$$m = \left(\frac{Invest * WACC}{2} \right) * \frac{1}{12} + \left(\frac{Invest}{ND} + Zusatzkosten + \frac{Invest}{ND} * Bka \right) * (1 + MU) * \frac{1}{12}$$

Formel 1: Berechnung der monatlichen Mietkosten – statischer Ansatz

Der erste Term ermittelt die Kosten des durchschnittlich eingesetzten Kapitals.

Anschließend werden, versehen mit einem Markup-Aufschlag, die Kosten für

⁴¹ vgl. Feilmayr/Kalasek (2000) bzw. Abschnitt 4.1.4

- den Wertverzehr der Investition (AfA)
 - die zusätzlichen jährlichen Kosten für Evidenthaltung und Planzeug und
 - die jährlichen operativen Kosten
- veranschlagt.

4.4.2 Dynamischer Ansatz

Wendet man einen dynamischen Ansatz an, so fließen als weitere Parameter die Preisänderungsrate sowie die Produktivitätssteigerungsrate ein, die in einem gemeinsamen Faktor *RPIX* dargestellt werden.

Folgende Formeln stellen die Berechnungsmethodik für die monatlichen Mietkosten *m* nach dem dynamischen Ansatz dar.

$$\text{jährliche Mietkosten} = \text{Invest} * RI_{ann} + \text{Zusatzkosten} + \text{Markup} + Bka$$

$$\text{wobei } RI_{ann} = \frac{WACC}{WACC - RPIX} * \frac{WACC (1 + WACC)^T}{(1 + WACC)^T - 1}$$

Formel 2: Berechnung der jährlichen Mietkosten – dynamischer Ansatz⁴²

$$m = \text{jährliche Mietkosten} * \frac{(1 + WACC_{mon})^{12} WACC_{mon}}{(1 + WACC_{mon})^{12} - 1}$$

$$\text{wobei } WACC_{mon} = \sqrt[12]{1 + WACC} - 1$$

Formel 3: Überführung der jährlichen zu monatlichen Mietkosten – dynamischer Ansatz⁴³

Die solcherart nach diesem dynamischen Ansatz ermittelten monatlichen Mietkosten kommen dann über jenen des statischen Ansatzes zu liegen, wenn eine jährliche Preissteigerung (z.B. bei Grabungskosten) angenommen wird.

Im Rahmen des Bottom-Up-Kostenrechnungsmodells für die Zusammenschaltung im Festnetz wird die folgende Formel zur Annuisierung der CAPEX herangezogen:

$$RI_{ann} = \frac{1}{q} * \frac{(1 - q)}{(1 - q^n)}$$

$$\text{wobei } q = \frac{(1 + g) * (1 + \Delta p)}{1 + WACC}$$

Formel 4: Berechnung der jährlichen Mietkosten bei Zusammenschaltung⁴⁴

⁴² Vgl. Hartl, B./Kopp, M./Lukanowicz M./Pahs M. (2005), S 57.

⁴³ Diese Formel ist nur für die Überführung von vorschüssigen und nicht für nachschüssige Jahresbeträge anzuwenden.

wobei

g = prognostizierte durchschnittliche Wachstumsrate des Leistungsvolumens der Anlage während der wirtschaftlichen Lebensdauer der Anlage und

Δp = durchschnittliche erwartete Veränderungsrate im Preis der Anlage (als Modern Equivalent Asset) während der wirtschaftlichen Lebensdauer der Anlage darstellen.

Beide oben dargestellten Berechnungsmethoden könnten im Rahmen eines dynamischen Ansatzes zur Anwendung gelangen.

Das Modul zur Kostenermittlung führt letztlich zu einem Endergebnis des NGA-Modells 2015, das kostenorientierte monatliche Überlassungsentgelte ausweist. Inwiefern solche kostenorientierten Entgelte dann auch tatsächlich zur Anwendung gelangen oder andere Preisbildungsmethoden herangezogen werden, ist Gegenstand und Ergebnis von entsprechenden Marktanalyseverfahren vor der Telekom-Control-Kommission.

⁴⁴ vgl. *WIK-Consult* (2011), S 97f

5 Anhang A: Verzeichnisse

5.1 Literaturverzeichnis

- Belfin R./ Lukanowicz M (1999): Ansatz der Forward Looking Long Run Incremental Costs zur Berechnung von kostenorientierten Zusammenschaltungsentgelten, Positionspapier der Telekom-Control Österreichische Gesellschaft für Telekommunikationsregulierung mbH, Wien 1999,
(<http://www.rtr.at/web.nsf/deutsch/Telekommunikation~Netzzugang~Zusammenschaltung~ZusammenschaltungEinleitung~Kostenrechnungsmodelle>)
- Europäische Kommission (2010): Empfehlung 2010/572/EU der Europäischen Kommission vom 20. September 2010 über den regulierten Zugang zu Zugangsnetzen der nächsten Generation (NGA), ABI L 124 vom 25.9. 2010, S. 35
(https://www.rtr.at/de/tk/Empfehlungen/1441_Empfehlung_572_2010_EU.pdf)
- Europäische Kommission (2013a): Empfehlung 2013/466/EU der Europäischen Kommission vom 11. September 2013 über einheitliche Nichtdiskriminierungsverpflichtungen und Kostenrechnungsmethoden zur Förderung des Wettbewerbs und zur Verbesserung des Umfelds für Breitbandinvestitionen, ABI. L 251 vom 21.9.2013, S. 13
(https://www.rtr.at/de/tk/Empfehlungen/1441_Empfehlung_466_2013_EU.pdf)
- Europäische Kommission (2013b): Mitteilung 2013/C 25/01 der Europäischen Kommission über Leitlinien der EU für die Anwendung der Vorschriften über staatliche Beihilfen im Zusammenhang mit dem schnellen Breitbandausbau, ABI. C 25 vom 26.01.2013, S. 1 (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2013:025:0001:0026:DE:PDF>)
- Feilmayr, W./Kalasek, R. (2000): Klassifikation des österreichischen Siedlungsraums, Bericht für Telekom Control GmbH; 2000
- FH Kärnten (2015a): Systembeschreibung RTR_ACCNET, Methoden- und User-Referenzen, Version 1.2 vom 6.5.2015, Spital/Drau (https://www.rtr.at/de/tk/tasl_modell)
- FH Kärnten (2015b): Benutzerhandbuch RTR_ACCNET, Installation und Betrieb, Version 1.2 vom 7.5.2015, Spital/Drau (https://www.rtr.at/de/tk/tasl_modell)
- Hartl, B./Kopp, M./Lukanowicz M./Pahs M. (2005): Wirtschaftliches Gutachten für die Telekom-Control-Kommission in dem Verfahren Z 7/04
- WIK-Consult (2011): Referenzdokument – Erstellung von Bottom-up Kostenrechnungsmodellen zur Ermittlung der Kosten der Zusammenschaltung in Festnetzen und Mobilnetzen, Referenzdokument Festnetz, 21. Jänner 2011, Bad Honneff
(https://www.rtr.at/de/tk/fn_modell/Referenzdokument_Festnetz_V2.pdf)

WIK-Consult (2014): Referenzdokument – Analytisches Kostenmodell für das Breitbandnetz, Version 2.2, 22. Dezember 2014, Bad Honneff
(http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Marktregulierung/Massstaebe_Methoden/Kostenmodelle/Breitbandnetz2x/Refdok_NGN_v2_2_201412.pdf?__blob=publicationFile&v=6)

5.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Elemente des NGA-Modells 2015	10
Abbildung 2: Netzsegmente im Festnetz	13
Abbildung 3: MPoP als Standort der untersten Netzebene im Konzentrationsnetz	13
Abbildung 4: Typisierung der österreichischen Siedlungsstruktur	16
Abbildung 5: Komponenten des Systems RTR_ACCNET	18

5.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Urban (C1)	27
Tabelle 2: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Suburban (C2)	27
Tabelle 3: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Kleinstädtisch (C3)	28
Tabelle 4: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Touristisch Verdichtet (C4)	28
Tabelle 5: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Streusiedlung (C5)	29
Tabelle 6: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Streusiedlung mit Zentrum (C6)	29
Tabelle 7: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Anger-Straßenort (C7)	29
Tabelle 8: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Haufen-Reihenort (C8)	30
Tabelle 9: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Polyzentrisch (C9)	30
Tabelle 10: Landnutzungsklassen im System RTR_ACCNET	32

5.4 Formeln

Formel 1: Berechnung der monatlichen Mietkosten – statischer Ansatz	21
Formel 2: Berechnung der jährlichen Mietkosten – dynamischer Ansatz	22
Formel 3: Überführung der jährlichen zu monatlichen Mietkosten – dynamischer Ansatz	22
Formel 4: Berechnung der jährlichen Mietkosten bei Zusammenschaltung	22

5.5 Abkürzungsverzeichnis

AfA	Abschreibung für Anschaffung
ARU	Access Remote Unit (DSLAM außerhalb des Hauptverteilerstandorts)
ASB	Anschlussbereich
BU-LRIC+	Bottom-Up Long-run Incremental Costs Plus
CAPEX	Capital Expenditures (Investitionskosten)
Cu-	Kupfer-
CuDA	Kupferdoppelader
DKM	Digitale Katastralmappe
DSLAM	Digital-Subscriber-Line-Access-Multiplexer
FL-LRAIC	Forward Looking Long Run Average Incremental Cost
FTTB	Fibre to the building (CuDA bis zum Hausverteiler)
FTTC	Fibre to the cabinet/curb (CuDA bis zum KVz)
FTTEx	Fibre to the exchange (CuDA bis zum HVt bzw. MPoP)
FTTH	Fibre to the home
FTTx	Fibre to the x (curb/building/home etc.)
HVt	Hauptverteiler
ISDN	Integrated Services Digital Network
KVz	Kabelverzweiger
MEA	Modern Equivalent Asset
MPoP	Metropolitan Point of Presence
NGA	Next-Generation-Access
NRB	Nationale Regulierungsbehörde
OPEX	Operational expenditure (Betriebskosten)
P2P	Point to Point Netz
PON	Passive Optical Network
POTS	Plain Old Telephony Service
PSTN	Public Switched Telephone Network
RAB	Regulatory Asset Base
TASL	Teilnehmer-Anschlussleitung
WACC	Weighted Average Cost of Capital (Kapitalkostenzinssatz)

6 Anhang B: Anschlussbereiche der Stichprobe

Die in den folgenden Tabellen aufgelisteten Anschlussbereiche werden im Rahmen des NGA-Modells 2015 mit dem System RTR_ACCNET modelliert.

Tabelle 1: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Urban (C1)

Nr	Taskey	Name
1	222 23	Wien Kagran, W
2	222 52	Wien Krugerstraße, W
3	222 65	Wien Taubstummengasse, W
4	316 31	Graz Geidorf, Stmk
5	463 05	Klagenfurt Mitte, Ktn
6	512 04	Innsbruck Pradl, T
7	557402	Bregenz Mitte, Vbg
8	662 07	Salzburg Paris Lodron, Sbg
9	732 04	Linz Haydnstraße, OÖ

Tabelle 2: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Suburban (C2)

Nr	Taskey	Name
1	224402	Langenzersdorf, NÖ
2	274208	St. Pölten – Ost, NÖ
3	357702	Zeltweg, Stmk
4	435202	Wolfsberg, Ktn
5	523407	Axams, T
6	557702	Lustenau, Vbg
7	624702	Großgmain, Sbg
8	732 22	Linz – Puchenau, OÖ

Tabelle 3: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Kleinstädtisch (C3)

Nr	Taskey	Name
1	266202	Gloggnitz, NÖ
2	268202	Eisenstadt, Bgld
3	295202	Hollabrunn, NÖ
4	317202	Weiz, Stmk
5	335202	Oberwart, Bgld
6	423202	Völkermarkt, Ktn
7	427602	Feldkirchen in Kärnten, Ktn
8	567702	Vils, T
9	724802	Grieskirchen, OÖ
10	775202	Ried im Innkreis, OÖ
11	794202	Freistadt, OÖ

Tabelle 4: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Touristisch Verdichtet (C4)

Nr	Taskey	Name
1	368702	Schladming, Stmk
2	425402	Faak am See, Ktn
3	525408	Vent, T
4	528902	Hausling, T
5	535702	Kirchberg in Tirol, T
6	544405	Ischgl, T
7	555602	Schruns, Vbg
8	558302	Lech, Vbg
9	643202	Bad Hofgastein, Sbg
10	654102	Saalbach, Sbg

Tabelle 5: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Streusiedlung (C5)

Nr	Taskey	Name
1	264108	Otterthal, NÖ
2	311608	St. Stefan im Rosental, Ktn
3	333702	Vorau, Stmk
4	524502	Hinterriß, T
5	524802	Steinberg am Rofan, T
6	557908	Buch, Vbg
7	723407	Rottenegg, OÖ
8	747102	Neustadl an der Donau, NÖ
9	774302	Maria Schmolln, OÖ

Tabelle 6: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Streusiedlung mit Zentrum (C6)

Nr	Taskey	Name
1	263208	Miesenbach, NÖ
2	276902	Türnitz, NÖ
3	361702	Gaishorn, Stmk
4	426208	Guttaring, Ktn
5	485305	Ainet, T
6	487502	Matrei, T
7	551306	Hittisau, Vbg
8	641508	Goldegg, Sbg
9	727808	Natternbach, OÖ
10	747402	Euratsfeld, NÖ

Tabelle 7: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Anger-Straßenort (C7)

Nr	Taskey	Name
1	214502	Prellenkirchen, NÖ
2	217502	Apetlon, Bgld

3	225308	Tattendorf, NÖ
4	253602	Drösing, NÖ
5	261602	Lockenhaus, Bgld
6	263802	Winzendorf, NÖ
7	284908	Echsenbach, NÖ
8	294408	Pfaffendorf, NÖ

Tabelle 8: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Haufen-Reihenort (C8)

Nr	Taskey	Name
1	226208	Leobendorf, NÖ
2	262708	Erlach an der Pitten, NÖ
3	271402	Rossatz, NÖ
4	332702	St. Michael bei Güssing, Bgld
5	335207	Kemeten, Bgld
6	335402	Bernstein, Bgld
7	383302	Traboch, Stmk
8	428602	Weißbriach, Ktn
9	526505	Nassereith, T
10	552402	Satteins, Vbg
11	794908	Leopoldschlag, OÖ

Tabelle 9: Anschlussbereiche der Stichprobe vom Typ Polyzentrisch (C9)

Nr	Taskey	Name
1	274502	Pyhra, NÖ
2	282702	Schönbach, NÖ
3	332902	Jennersdorf, Bgld
4	333802	Lafnitz, Stmk
5	358402	Neumarkt in der Stmk
6	423502	Bleiburg, Ktn

7	533802	Kundl, T
8	621702	Mattsee, Sbg
9	771402	Esternberg, OÖ

7 Anhang C: Landnutzungsklassen

Die folgenden Landnutzungsklassen werden für die Berücksichtigung verschiedener Grabungskosten im System RTR_ACCNET unterschieden:

Tabelle 10: Landnutzungsklassen im System RTR_ACCNET

Waldweide
Keller_unter_fremden_Grund
Dauerkulturanlagen_oder_Erwerbsgaerten
Gebaueude
Parkplaetze
Streuwiese
Brachland
Bergmahd
Weide
Aecker_Wiesen_oder>Weiden
Acker
Wiese
Hutweide
Gaerten
Weingarten
Alpen
Krummholzflaechen
Waelder
Verbuschte_Flaechen
Forststrassen
Fliessende_Gewaesser
Stehende_Gewaesser
Feuchtgebiete
Vegetationsarme_Flaechen
Betriebsflaechen
Gewaesserrandflaechen
Verkehrsrundflaechen
Tempel_Synagoge
Friedhoefe
Rechtlich_nicht_Wald
Rechtlich_Wald
Rechtlich>Weingarten
Rechtlich_kein>Weingarten
Gebaueudeebenflaechen
Abbauflaechen_Halden_und_Deponien
Deponie
Sonstige
Fels_und_Geroellflaechen
Gletscher
Streuobstwiese

Flugverkehrsanlage
Hafenanlage
Schienenverkehrsanlagen
Techn_Ver_und_Entsorgungsanlage
Strassenanlage
Freizeitflaechen
Lagerplatz
Werksgelaende
Querung_Waldweide
Querung_Keller_unter_fremden_Grund
Querung_Dauerkulturanlagen_oder_Erwerbsgaerten
Querung_Gebaeude
Querung_Parkplaetze
Querung_Streuwiese
Querung_Brachland
Querung_Bergmahd
Querung_Weide
Querung_Aecker_Wiesen_oder>Weiden
Querung_Acker
Querung_Wiese
Querung_Hutweide
Querung_Gaerten
Querung>Weingarten
Querung_Alpen
Querung_Krummholzflaechen
Querung_Waelder
Querung_Verbuschte_Flaechen
Querung_Forststrassen
Querung_Fliessende_Gewaesser
Querung_Stehende_Gewaesser
Querung_Feuchtgebiete
Querung_Vegetationsarme_Flaechen
Querung_Betriebsflaechen
Querung_Gewaesserrandflaechen
Querung_Verkehrsrandflaechen
Querung_Tempel_Synagoge
Querung_Friedhoeft
Querung_Rechtlich_nicht_Wald
Querung_Rechtlich_Wald
Querung_Rechtlich>Weingarten
Querung_Rechtlich_kein>Weingarten
Querung_Gebaeudeebenflaechen
Querung_Abbauflaechen_Halden_und_Deponien
Querung_Deponie
Querung_Sonstige
Querung_Fels_und_Geroellflaechen
Querung_Gletscher

Querung_Streuobstwiese
Querung_Flugverkehrsanlage
Querung_Hafenanlage
Querung_Schienenverkehrsanlagen
Querung_Techn_Ver_und_Entsorgungsanlage
Querung_Strassenanlage
Querung_Freizeitflaechen
Querung_Lagerplatz
Querung_Werksgelaende
Landwirtschaftlich_genutzte_Grundflaechen_LN
Sumpf
Bauflaechen_begrueent
Wald
Unbekannt
Querung_Landwirtschaftlich_genutzte_Grundflaechen_LN
Querung_Sumpf
Querung_Bauflaechen_begrueent
Querung_Wald
Querung_Unbekannt
Erholungsflaechen
Bauflaechen_befestigt
Projektion
Gewaesser_Ge_fliessend
Gewaesser_Ge_stehend
Weingaerten_Wgt
Querung_Erholungsflaechen
Querung_Bauflaechen_befestigt
Querung_Projektion
Querung_Gewaesser_Ge_fliessend
Querung_Gewaesser_Ge_stehend
Querung_Weingaerten_Wgt
Gaerten_Gt
Querung_Gaerten_Gt

Systembeschreibung

RTR_ACCNET

Methoden- und User-Referenzen

Das System RTR_ACCNET unterstützt die Simulation von Festnetz-Infrastrukturen im Zugangsbereich. Dabei kann einerseits eine existierende Infrastruktur (Cu-Netzwerk, Leerrohr-Infrastruktur, existierende Glasfaser-Infrastruktur) emuliert werden und andererseits ein NGA-Netzwerkausbau auf Basis der existierenden Infrastruktur simuliert werden. Das vorliegende Dokument beschreibt die dazu entwickelten Systemkomponenten, die dahinterliegenden Modelle, deren Input-Output-Daten sowie die entsprechenden Parametrierung. Dieses Dokument dient dem User als methodische Referenz.

Im Auftrag von:

*Österreichische Rundfunk und Telekom Regulierungsgesellschaft mbH
Mariahilfer-Straße 77-79
A-1060 Wien*

*FH-Prof. Dr. Peter Bachhiesl, Dipl.-Ing.(FH)Markus Prosegger
13.6.2015, Version 1.3*

Inhalt

1	Systemspezifikation und -komponenten.....	1
2	Input-/Output-Daten – Netzwerkgraphen	2
2.1	Knoten- Kanten Modelle	2
2.2	Konstruktion von Netzwerkgraphen – Geo-Basisdaten	5
3	Der Infrastruktur-Emulator	6
3.1	Der Cu-Generator	6
3.1.1	Spezifikation, Workflow, Modelle und Parameter	6
3.1.2	Pre-Processing	7
3.1.3	Cluster-Modell	12
3.1.4	Trassierungs-Modell	17
3.1.5	Hardware-Modell	19
3.2	Der Leerrohr-Generator	33
3.2.1	Spezifikation, Workflow und Steuerung.....	33
3.2.2	Das Modell <code>GrowFromHV</code>	34
3.2.3	Das Modell <code>TakeNrTwinWires</code>	36
3.3	Der Fiber-Generator	36
3.4	Betriebsmodi des Infrastruktur-Emulator	37
4	Der NGA-Solver.....	38
4.1	Spezifikation, Daten und Steuerung.....	38
4.1.1	Spezifikation Workflow, Input- und Output-Daten	38
4.1.2	Parameter.....	38
4.1.3	Workflow	39
4.2	Sub-Modelle	40
4.2.1	Das ARU-Positionierungsmodell.....	40
4.2.2	Das Trassierungs-und Hardwaremodell	43
5	Output-Daten – Reportfiles.....	45
5.1	Allgemeines zum Reporting.....	45
5.2	Cu-Generator-Report	45
5.2.1	Input-Daten, Netzwerkgraph.....	45
5.2.2	Pre-Processing	46
5.2.3	Cluster-Modell	46
5.2.4	Trassierungs-Modell	47
5.2.5	Hardware-Modell	50

5.3	Leerrohr-Generator	51
5.4	Fiber-Generator	53
5.5	NGA-Solver	53
5.5.1	Gesamtergebnis.....	53
5.5.2	Trassierungsmodell	54
5.5.3	Hardware-Modell, ARU-Positionierungen.....	55
6	Literaturverzeichnis.....	59
7	Index	60
8	Abkürzungsverzeichnis	62

1 Systemspezifikation und -komponenten

Das System RTR_ACCNET erlaubt die Simulation eines Kosten-optimierten Festnetzausbaus in einem Wählamtsbereich (Versorgungsbereich bzw. Zugangsnetzbereich eines bestehenden Wählamts oder Hauptverteilers). Wählamtsbereiche werden des weiteren auch als Anschlussbereiche (ASB) bezeichnet. Die räumliche Topologie eines Anschlussbereichs (Landnutzungen, Kabelauslässe, Position des Hauptverteilers usw.) wird dem System in Form von Input-Daten bereitgestellt (siehe dazu Abschnitt 2).

Diese Simulation erfolgt in zwei sequentiellen Schritten:

1. Simulation einer bestehenden Netzwerk-Infrastruktur. Mit Hilfe eines Infrastruktur-Emulators (siehe Abschnitt 3) werden die folgenden Infrastrukturen errechnet: Cu-Netzwerk, nutzbare Leer-Verrohrungen sowie nutzbare Glasfaser-Infrastruktur (dark fiber).
2. Simulation des Festnetzausbaus. Mit Hilfe eines NGA-Solver wird ein Kosten-optimiertes Hybridnetz für die Versorgung unterschiedlicher Objekte ausgehend vom Hauptverteiler-Standort errechnet. Der Netzwerkausbau erfolgt dabei unter Berücksichtigung der im ersten Schritt errechneten Infrastruktur (siehe Abschnitt 4).

Das System RTR_ACCNET besteht aus den folgenden Sub-Systemen bzw. Daten- und Parametergruppen:

- Input-/Output-Daten. Zu dieser Gruppe gehören:
 - Netzwerkgraph (beschreibt die räumliche Topologie sowie die existierende, nutzbare oder neu berechnete Netzwerkinfrastruktur eines Anschlussbereichs)
 - Lösungsfile (Simulationsergebnisse von Modellen)
 - Reportfile (Simulationsergebnisse in Form von Excel-Tabellen)
- Modelle zur Simulation der bestehenden Netzwerkinfrastruktur (Infrastruktur-Emulator)
- NGA-Solver zur Simulation einer kosten-optimierten Festnetzerweiterung
- Modell-Parameter. Zu dieser Gruppe gehören:
 - Strategische- oder Kontroll-Parameter (steuern einerseits methodische Ansätze als auch allgemeine Parameter von Modellen)
 - Kosten-Parameter (Kostenfaktoren, die mit den Entscheidungsvariablen der Modelle gekoppelt sind)
 - Hardware-Parameter (Typendefinitionen von Komponenten, die mit den Entscheidungsvariablen der Modelle gekoppelt sind)

Der prinzipielle Workflow des Systems RTR_ACCNET ist in Abbildung 1 dargestellt.

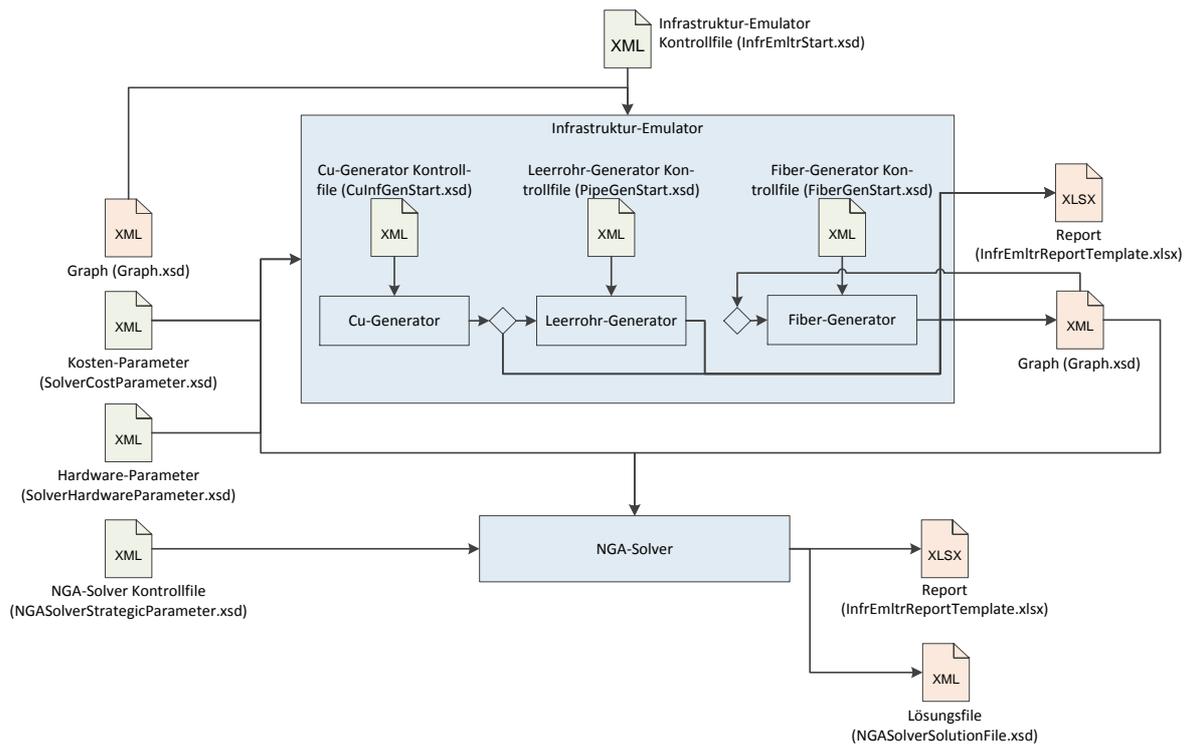


Abbildung 1. Zusammenwirken der Komponenten des Systems RTR_ACCNET. Blau, rot und grün hinterlegte Symbole stellen Modelle, Input-/Output-Daten und Modell-Parameter dar.

2 Input-/Output-Daten – Netzwerkgraphen

2.1 Knoten- Kanten Modelle

Netzwerkgraphen sind Knoten-Kanten-Modelle, wobei einer Kante immer zwei inzidente Knoten zugewiesen werden. Die Kante stellt damit eine Beziehung zwischen den beiden inzidenten Knoten dar. Im System RTR_ACCNET entsprechen Knoten immer geographischen Positionen (sind geometrisch verortet) und Kanten immer einer räumlichen Verbindung zwischen den beiden Knoten. Die Bedeutung der Knoten und der verbindenden Kanten werden durch entsprechende Knoten- und Kantenattribute erweitert. Ein detaillierter Überblick zu Netzwerkgraphen und ihrer Behandlung wird beispielsweise in (Bachhiesl, Modeling of Passive Optical- and Hybrid Network Infrastructure within the City-Net Domain, 2008), (Jungnickel, 1999) oder in (Koster & Munoz, 2010) gegeben. Derartige Graphen stellen geeignete Datenstrukturen dar, um die räumliche Topologie sowie die Netzwerkinfrastruktur eines Wähleramtsbereichs abzubilden. Siehe Abbildung 2 und Abbildung 3 für ein entsprechendes Beispiel.

Wir stellen nachfolgend die wichtigsten Attribute von Netzwerkgraphen, bzw. deren Knoten und Kanten dar, soweit dies für das Verständnis der nachfolgenden Sektionen notwendig erscheint.

Attribut	Bedeutung
HashvalueASB	Hash-Wert (eindeutig für jeden ASB)
v	Bezeichner für Knoten (eindeutig für jeden Knoten)
x (v)	x-Position des Knoten (Rechtswert in Meter bezogen auf einen geographischen Referenzpunkt)

$y(v)$	y-Position des Knoten (Rechtswert in Meter bezogen auf einen geographischen Referenzpunkt)
$I(v)$	Netzwerk-Infrastruktur, die dem Knoten zugeordnet wird (z.B. Kabelauslässe, Gehäuse, Outdoor-DSLAM etc.
e	Bezeichner für Kante (eindeutig für jede Kante)
$\gamma(e)$	Bezeichner der beiden zur Kante inzidenten Knoten
$l(e)$	Euklidische Länge der Kante; entspricht der räumlichen Distanz zwischen den beiden inzidenten Knoten (in Meter)
$\Omega(e)$	Landnutzungsklassen, die der Kanten zugeordnet werden; pro Klasse wird unterschieden ob ein Wegerecht auf der Kante besteht oder nicht.
$I(e)$	Netzwerk-Infrastruktur, die der Kante zugeordnet wird; unterstützt wird: <ul style="list-style-type: none"> • Cu-Kabel (Kabel-Bezeichner, Cu-Querschnitt pro Ader im Millimeter, Anzahl der Adern im Kabel) • Glasfaser-Kabel (Kable-Bezeichner, Anzahl aller Fasern im Kabel, Anzahl der ungenutzten Fasern im Kabel) • Leerrohr (Restrohr-Kapazität in Millimeter – siehe Abschnitt 3.3.2)
v_{HV}	Bezeichner des Knoten, dem der Hauptverteiler zugeordnet wird
a	Bezeichner des Anschlussobjekts (eindeutig für jedes Objekt)
$v(a)$	Bezeichner des Knoten, dem das Objekt zugeordnet wird
$t(a)$	Typ des Objekts; unterstützt werden: <ul style="list-style-type: none"> • Kabelauslass (siehe Abschnitt 3.3.1) • B2B-Kunde (siehe Abschnitt 4) • BTS-Standort (siehe Abschnitt 4)
$\pi(a)$	Potentielle Einheiten (PE) für Kabelauslass (siehe Abschnitt 3.3.1) oder Anzahl an Versorgungsfasern für B2B-Kunde oder BTS-Standort (siehe Abschnitt 4)

Tabelle 1. Auflistung der wichtigsten Attribute von Netzwerkgraphen.

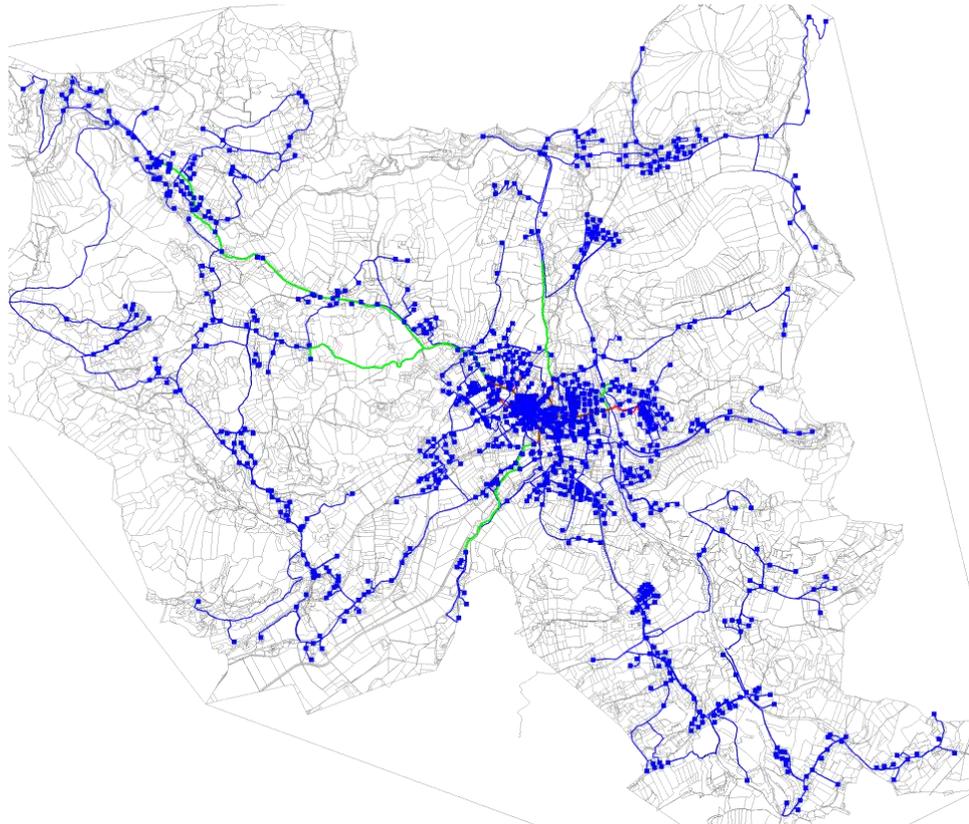


Abbildung 2. Netzwerkgraph für den Wählerbereich 04276-02 (Feldkirchen/Kärnten) mit emulierter Cu-Netzwerk (blau) zur Versorgung von gegebenen Kabelauslässen (blaue Quadrate), emulierter Leerrohr-Infrastruktur (grün) und emulierter Glasfaserinfrastruktur (rot). Die Ausdehnung des Wählerbereichs in y-Koordinatenrichtung beträgt ca. 11 km. Der Graph besitzt ca. 260.000 Knoten und 580.000 Kanten.

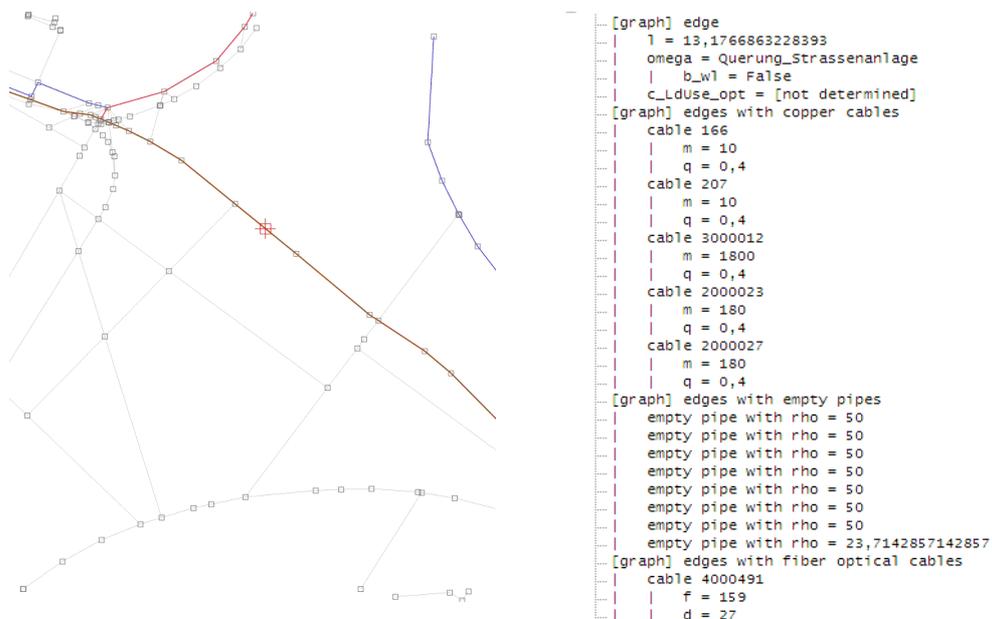


Abbildung 3. Gezoomter Bereich aus Abbildung 2 (Kreuzungsbereich mit einer Straßenanlage). Die Knoten sind mit grauen Quadraten gekennzeichnet. Exemplarisch werden die Attribute einer Kante (durch rotes Kreuz gekennzeichnet) angegeben: die Kante hat eine Länge von ca. 13 m, der Kante wurde die Landnutzung „Querung_Strassenanlage“ zugeordnet, entlang der Kante laufen 5 Cu-Kabel (m... Anzahl der Doppeladern, q... Cu-Querschnitt in mm) sowie 8 Rohre wovon 7 einen Restrohr-Durchmesser von 50 mm und eines von ca. 23 mm. Zudem führen entlang der Kante 159 Glasfasern, wovon 27 nicht beschalten sind.

2.2 Konstruktion von Netzwerkgraphen – Geo-Basisdaten

Die Netzwerkgraphen werden auf Basis der Digitalen Katastralmappe (DKM) erzeugt. Die darin enthaltenen Polygone stellen die Grenzen von Landnutzungen dar und werden nach Bereinigung von möglichen Datenfehlern (z.B. offene oder sich selbst schneidende Polygone) als Ausgangsbasis für die Konstruktion der Netzwerkgraphen verwendet.

Für alle als Gebäude klassifizierten Polygone (mit einer Fläche von mind. 60m²) wird das geometrische Zentrum bestimmt und als potentielles Anschlussobjekt (Kabelausslässe) in den Graphen übernommen. Liegt das geometrische Zentrum außerhalb des Polygons, so wird dieser auf den nächstgelegenen (Euklidische Distanz) bestehenden Knoten des Polygons verschoben. Die so erzeugten Anschlussobjekte werden mit Hilfe von orthogonalen Projektionen an den Netzwerkgraphen angebunden.

Zur Verbesserung der Qualität des erzeugten Netzwerkgraphs sowie zur Sicherstellung der Konnektivität werden zusätzliche Querungen von Polygonen (z.B. von Straßen oder fließenden Gewässern) eingeführt.

Zur Bestimmung der potentiellen Einheiten (i.e. Demand) eines Anschlussobjekts werden die Attribute der Mikrozellendaten genutzt (siehe Abbildung 4). Das verfügbare Potential innerhalb des 100m x 100m Rasters wird aus der Summe der enthaltenen Gebäude (ohne Wohngebäude) und Wohnungen gebildet und wird anteilmäßig auf die im Raster enthaltenen Anschlussobjekte verteilt. Ein Anschlussobjekt außerhalb des Rasters wird mit einem Defaultwert von 1 belegt.

Für eine detaillierte Beschreibung der Graphenkonstruktion verweisen wir auf (Prosegger, 2014).

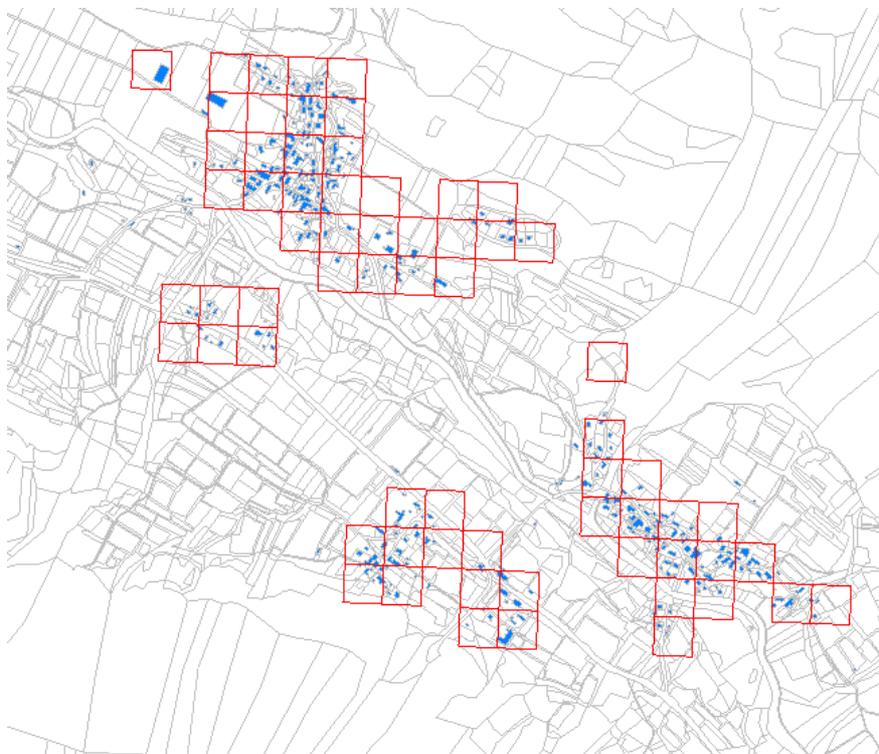


Abbildung 4. Konstruierter Netzwerkgraph mit den generierten Anschlussobjekten (blau) und den Mikrozellendaten als Overlay (rot).

3 Der Infrastruktur-Emulator

3.1 Der Cu-Generator

3.1.1 Spezifikation, Workflow, Modelle und Parameter

Wir gehen von einem Netzwerkgraphen gemäß Abschnitt 2 aus. Es sind weder Knoten noch Kanten existierende Netzwerk-Infrastruktur zugeordnet. Die Anschlussobjekte sind vorgegebene Kabelauslässe (KA) mit entsprechenden potentiellen Einheiten (PE); die PE entsprechen der Anzahl der Teilnehmeranschlusseinrichtungen (TAE), die über den jeweiligen Kabelauslass versorgt werden (siehe Abschnitt 2.2.2). Auf Basis dieser Daten errechnet der Cu-Generator eine kosten-optimierte physikalische Struktur eines Cu-Netzwerkes (POTS-ISDN-Netzwerk) zur Versorgung aller KA ausgehend vom Hauptverteiler-Standort (HV). Danach wird der Netzwerkgraph um die emulierte Cu-Infrastruktur erweitert bzw. ein entsprechender Report erstellt (siehe Abschnitt 5).

Der Cu-Generator wird über drei Parameterdatensätze gesteuert – wir beschreiben nachfolgend für jeden dieser Datensätze die für das methodische Verständnis notwendigen Parameter:

- Cu-Generator Kontrollfile (steuert die Sub-Modelle des Generators).

<i>Parametersatz</i>	<i>Bedeutung</i>
PreProcessing	Steuert die Pre-Processing Submodelle des Generators; siehe Abschnitt 3.3.1 und 3.1.2.
NetworkDomains	Steuert das Cluster-Modell des Generators; siehe Abschnitt 3.3.1 und 3.1.3.
Solver	Steuert das Trassierungs- und das Hardware-Modell des Generators; siehe Abschnitt 3.3.1 und 3.1.4 sowie 3.3.1 und 3.1.5.

Tabelle 2. Einträge im Cu-Generator Kontrollfile.

- Kosten-Parameterfile (bestimmt die Errichtungskosten von Cu-Infrastruktur bezogen auf räumliche Gegebenheiten).

<i>X-Path Verweis</i>	<i>Bedeutung</i>
Landuse	Verlegekosten (Tiefbaukosten) in EUR, die bei der Errichtung neuer Infrastruktur pro Landnutzungsklasse und Laufmeter anfallen
TrenchOffset	Penalty-Kosten in EUR, die bei der Überschreitung der Standard-Künettenbreite pro Meter anfallen

Tabelle 3. Einträge im Cu-Generator Kosten-Parameterfile.

- Hardware-Parameterfile (bestimmt physikalische Struktur und Stückkosten von Cu-Netzwerkelementen).

<i>X-Path Verweis</i>	<i>Bedeutung</i>
CuCable	Typen von Cu-Kabeln; pro Typ sind die folgenden Attribute gegeben: <ul style="list-style-type: none"> • Bezeichner des Typs • Anzahl der enthaltenen Adernpaare • Cu-Querschnitt einer Ader in Millimeter • Benötigte Künettenbreite in Meter • Maximale durchgängige Verlegelänge in Meter

CuNdCmp	<ul style="list-style-type: none"> • Kosten pro Stück (Solver- und Reportkosten) in EUR Typen von Cu-Hardwarekomponenten; pro Typ sind die folgenden Attribute gegeben: <ul style="list-style-type: none"> • Bezeichner des Typs • Anzahl der Cu-Input- und Cu-Outputports • Bauart des Typs; unterstützt werden die folgenden Bauarten: Kabelauslass (KA), Kabelverteiler (KV), Abzweigmuffe (AM) und Verbindungsmuffe (VM) • Maximale Anzahl an Komponenten pro Knoten • Maximale Anzahl an (Upstream-seitigen) Versorgungskabeln pro Komponente; ACHTUNG: bei Kabelauslässen sollte dieser Parameter gleich Eins gewählt werden (der NGA-Solver geht von einer eindeutigen Kabel-Versorgung eines Kabelauslasses aus)! • Kosten pro Stück (Solver- und Reportkosten) in EUR
MaxTrenchWidth	Maximale Künettenbreite in Meter
DefTrenchWidth	Standard-Künettenbreite in Meter
MaxCbl	Maximale Anzahl an (Upstream-seitigen) Versorgungskabel pro Knoten
MaxComp	Maximale Anzahl an Cu-Komponenten pro Knoten

Tabelle 4. Einträge im Cu-Generator Hardware-Parameterfile.

Die Abbildung 5 zeigt den prinzipiellen Workflow des Cu-Generators.

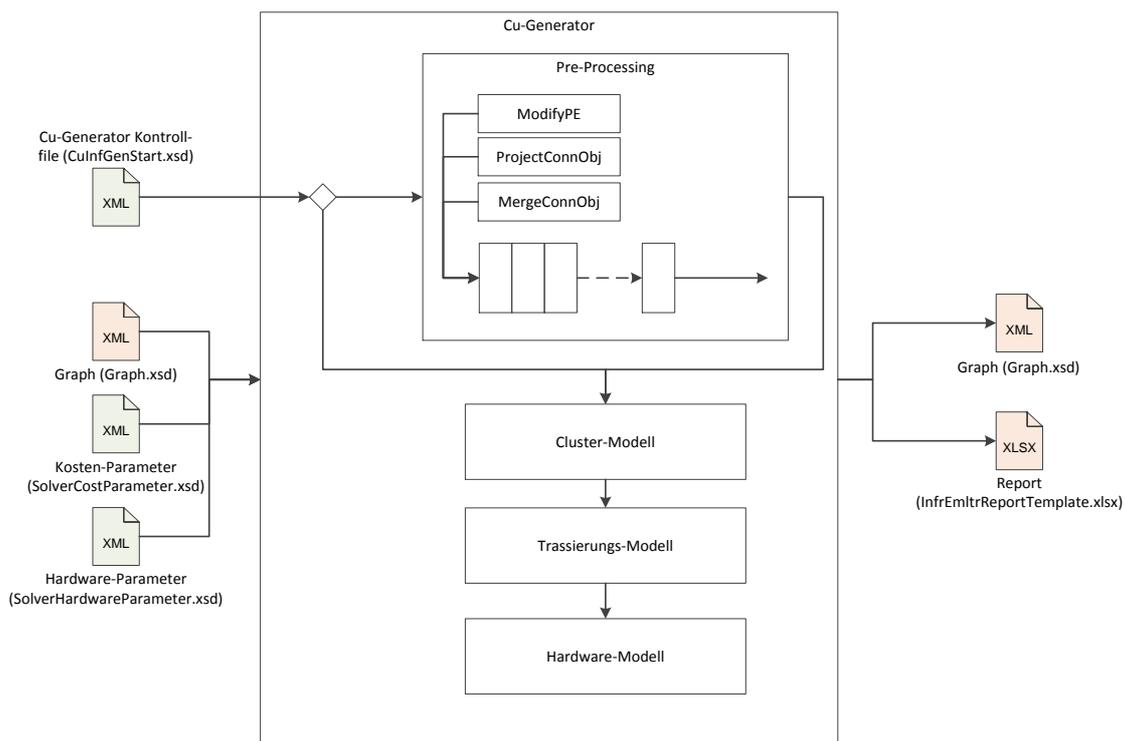


Abbildung 5. Workflow und Modelle des Cu-Generators.

3.1.2 Preprocessing

Es werden drei Preprocessing-Modelle bereitgestellt, in beliebiger Reihenfolge sukzessive angewendet werden können; sukzessive bedeutet, dass jedes Modell auf Basis des Ergebnisses des davor-geschalteten Modells arbeitet. Der User entscheidet im Kontrollfile ob und wie die entsprechende Modell-Queue aufgebaut wird. Wir beschreiben nachfolgend die drei Modelle.

3.1.2.1 Das Modell `ModifyPE`.

Das Modell modifiziert die potentiellen Einheiten der Kabelauslässe einer Graph-Instanz. Wir bezeichnen mit A die Menge der Kabelauslässe im Graphen; mit $\pi(a)$ seien die potentiellen Einheiten eines Kabelauslasses $a \in A$ gegeben. Es gilt die potentiellen Einheiten derart zu modifizieren, so dass die Zielsumme $\pi^* = \left\lceil \frac{r}{100} \sum_{a \in A} \pi(a) \right\rceil$ erreicht wird. r ist dabei ein Modell-Parameter, der im Cu-Generator Kontrollfile bestimmt wird.

Die Manipulation erfolgt optional mit zwei Methoden, die über das Cu-Generator Kontrollfile angesteuert werden können. Beide Methoden sortieren zunächst die Kabelauslässe absteigend nach potentiellen Einheiten.

- Die Methode `MaintainObjects` durchläuft die Kabelauslässe und reduziert die potentiellen Einheiten jeweils um Eins, sofern dadurch nicht alle potentiellen Einheiten eines Auslasses verschwinden. Diese Prozedur wird solange wiederholt, bis die Zielgröße erreicht wird. Damit folgt aber, dass die Zielgröße nicht kleiner als die Anzahl der gegebenen Kabelauslässe sein darf. Diese Methode „erhält“ alle Kabelauslässe und führt tendenziell zu einem Ausgleich der potentiellen Einheiten.
- Die Methode `Equalized` durchläuft alle Kabelauslässe und reduziert die potentiellen Einheiten in jedem Fall um Eins. Ergibt sich dabei der Wert Null, so wird der Kabelauslass aus dem Graphen entfernt. Diese Prozedur wird solange wiederholt, bis die Zielgröße erreicht wird. Bei dieser Methode gehen im Allgemeinen Kabelauslässe verloren, es wird jedoch das Größen-Verhältnis der potentiellen Einheiten zwischen den restlichen Kabelauslässen erhalten.

Siehe Abbildung 6 bis Abbildung 8 für einen exemplarischen Vergleich der beiden Reduktionsmethoden.

Bemerkung: Der Parameter r ist dabei nicht auf 100 beschränkt – Werte über 100 führen zu einer erhöhten Zielgröße und damit die potentiellen gemäß der oben genannten Methoden jeweils um Eins erhöht.

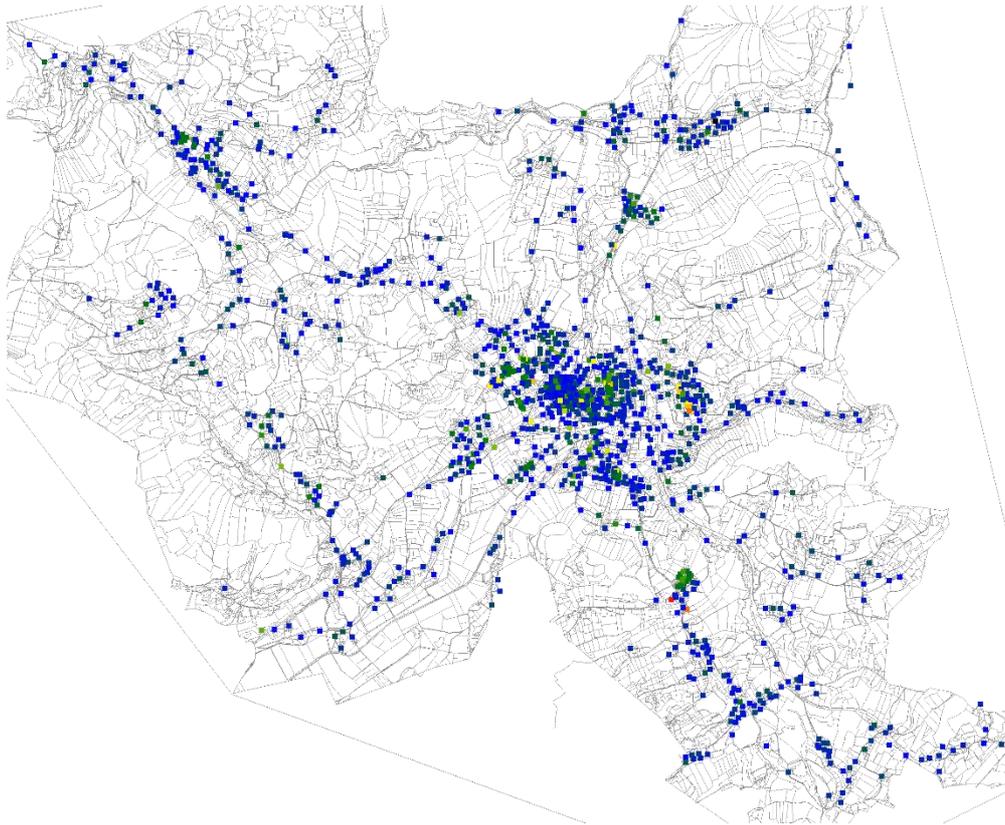


Abbildung 6. 1331 Kabelauslässe des Netzwerkgraphen 04276-02 (Feldkirchen/Kärnten) mit einer Gesamtsumme von 6322 potentiellen Einheiten. Je nach Anzahl der potentiellen Einheiten sind die Kabelauslässe von blau (eine PE) bis rot (36 PE und mehr) eingefärbt.

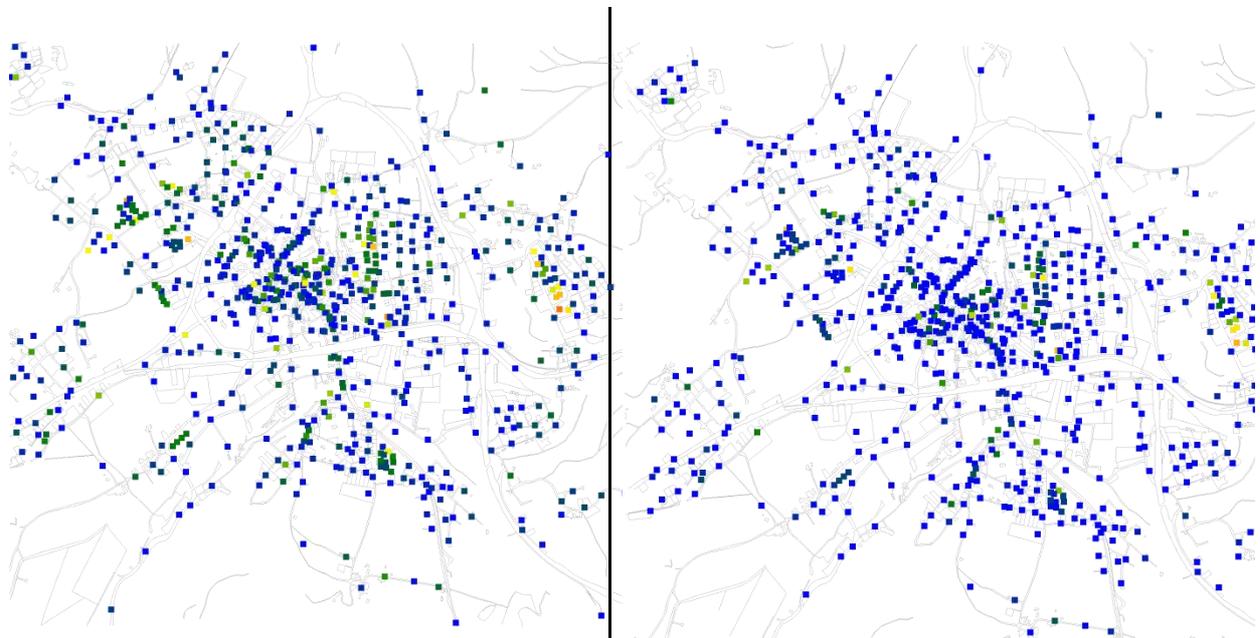


Abbildung 7. Manipulierte potentielle Einheiten des Netzwerkgraphen 04276-02 (Feldkirchen/Kärnten). Das linke Bild zeigt die Ausgangssituation für einen gezoomten Bereich der Abbildung 6. Die Zielsumme beträgt 3161 (50%) und die Manipulationsmethode ist `MaintainObjects`. Das rechte Bild zeigt das entsprechende Ergebnis: alle Kabelauslässe bleiben erhalten, die Ihnen zugeordneten potentiellen Einheiten werden verringert.

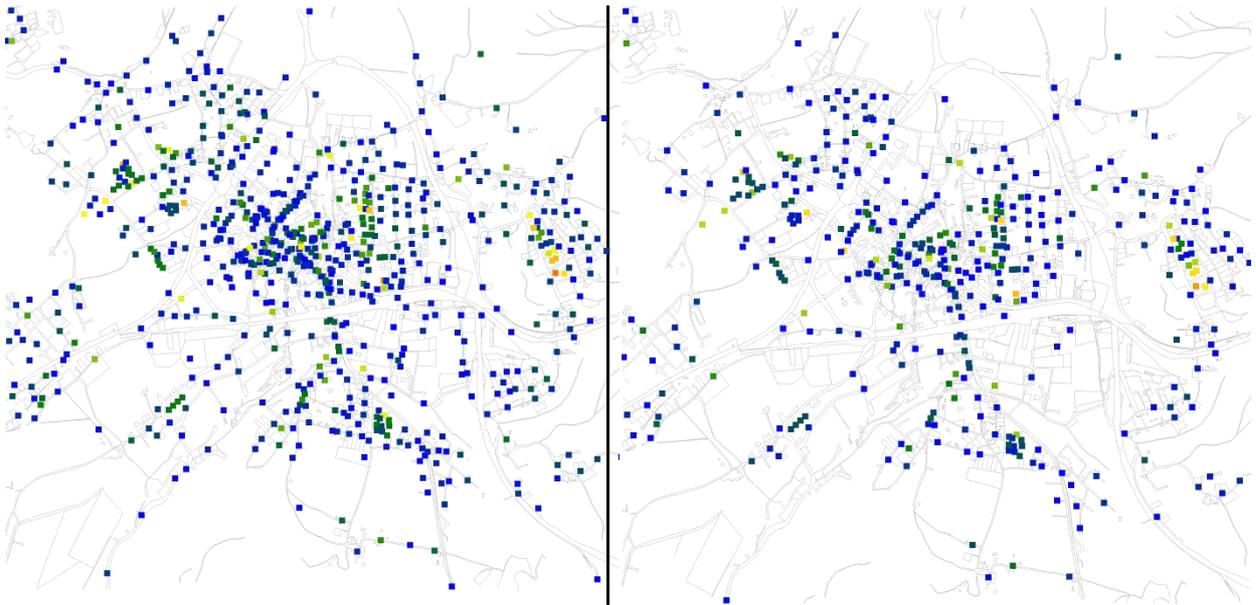
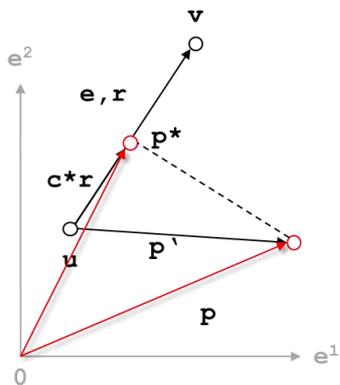


Abbildung 8. Manipulierte potentielle Einheiten des Netzwerkgraphen 04276-02 (Feldkirchen/Kärnten). Das linke Bild zeigt die Ausgangssituation für einen gezoomten Bereich der Abbildung 6. Die Zielsumme beträgt 3161 (50%) und die Manipulationsmethode ist *Equalized*. Das rechte Bild zeigt das entsprechende Ergebnis: die potentiellen Einheiten der Kabelauslässe werden verringert und es werden dabei Kabelauslässe gelöscht.

3.1.2.2 Das Modell ProjectConnObj.

Dieses Modell unterstützt die orthogonale Projektion von Kabelauslässen auf Kanten, denen vom User ausgewählte Landnutzungsklassen zugeordnet sind. Wir verstehen dabei die räumliche Position eines Knotens, dem ein Kabelauslass zugewiesen wird, als Ortsvektor p ; ebenso sind die Positionen der beiden inzidenten Knoten einer Kante e , die über zumindest eine der ausgewählten Nutzungsklassen verfügt, als Ortsvektoren u und v zu verstehen. Die orthogonale Projektion konstruiert nunmehr einen neuen Kandidaten-Knoten mit Position



$$p^*(e) = u + \frac{\langle p'|r \rangle}{\langle r|r \rangle} r \text{ wobei } p' = p - u.$$

Die nebenstehende Abbildung veranschaulicht dies symbolisch. Unter allen berechneten Kandidaten-Knoten (bzgl. aller entsprechenden Kanten) weisen wir den Kabelauslass jenem zu, der die geringste Euklidische Distanz besitzt; siehe auch (Klein, 2005). Die Abbildung 9 zeigt ein exemplarisches Beispiel.

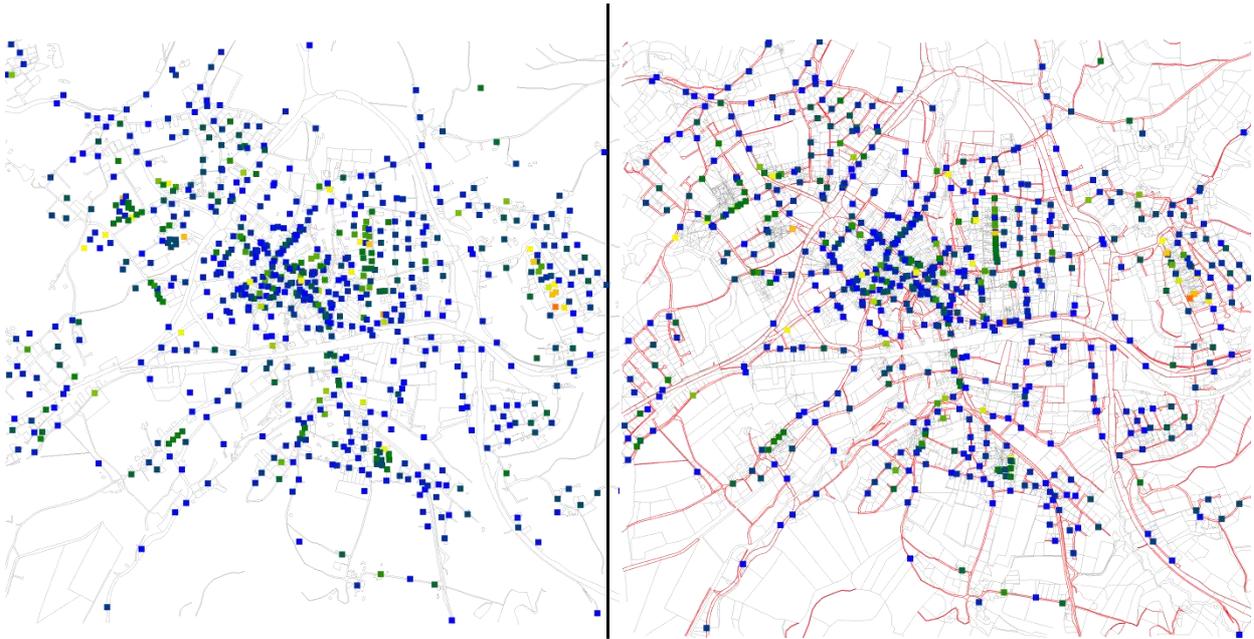


Abbildung 9. Das linke Bild zeigt die Ausgangssituation für einen zoomten Bereich der Abbildung 6. Die Kabelauslässe wurden auf die Landnutzungsklasse „Strassenanlage“ projiziert. Das rechte Bild zeigt das entsprechende Ergebnis; die Kanten mit dieser Nutzung sind rot dargestellt.

3.1.2.3 Das Modell MergeConnObj

Dieses Modell erlaubt die „Zusammenführung“ von Kabelauslässen, die „hinreichend räumlich benachbart“ sind. Dazu betrachten wir zunächst alle Terminal-Knoten; dies sind Knoten des Netzwerkgraphen, denen zumindest ein Kabelauslass zugewiesen wurde. Auf Basis des Modells TerminalCluster (siehe Abschnitt 3.1.3.4) werden diese Knoten zu räumlichen Clustern zusammengefaßt. Jedes Cluster-Zentrum entspricht einem repräsentativen Terminal-Knoten, auf dem alle Kabelauslässe aller Terminal-Knoten des Clusters in einem neuen Kabelauslass zusammengefaßt werden. Die den Kabelauslässen zugeordneten potentiellen Einheiten bleiben davon unberührt.

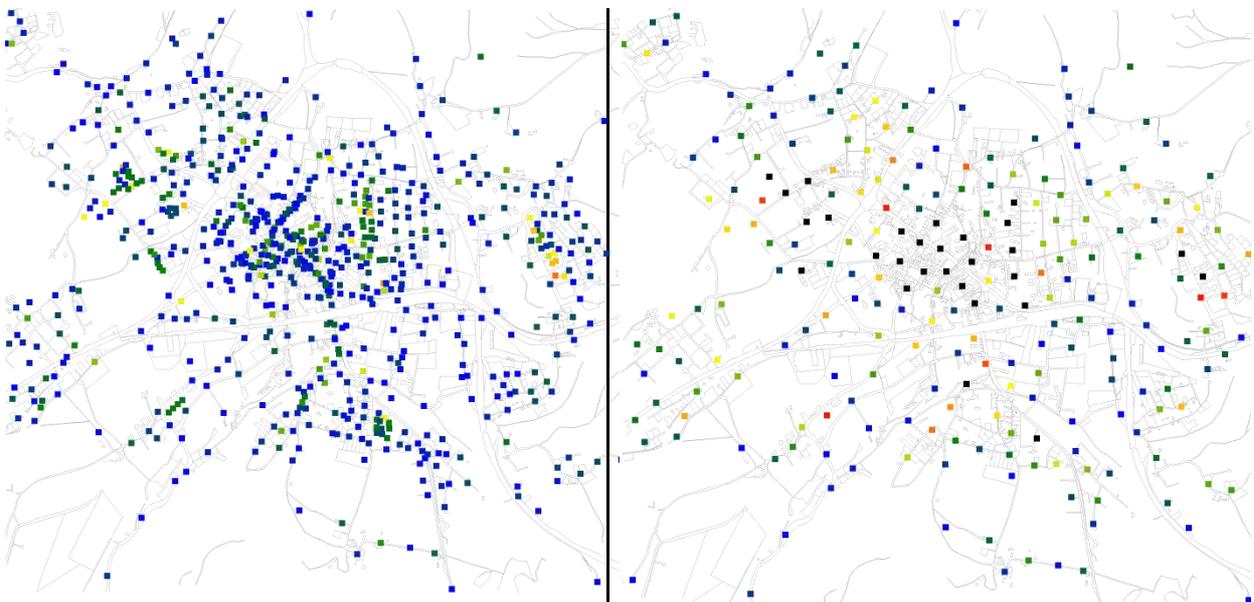


Abbildung 10. Das linke Bild zeigt die Ausgangssituation für einen gezoomten Bereich der Abbildung 6. Die ursprünglich 1331 Kabelauslässe wurden auf 591 reduziert; die Gesamtsumme der potentiellen Einheiten bleibt unverändert. Das Modell wurde mit Euklidischen Punkt-zu-Punkt Distanz betrieben; Terminalknoten mit einer Distanz bis zu 100 Metern werden als hinreichend räumlich benachbart betrachtet; die Obergrenze an potentiellen Einheiten pro Cluster beträgt 200.

3.1.3 Cluster-Modell

3.1.3.1 Cu-Netzwerkhierarchien

Wir definieren drei Hierarchien für das Cu-Netzwerk eines Anschlussbereichs im bottom-up Modus (in Upstream-Richtung):

- Das End-Verteilkabelnetz (EVNt) stellt die Versorgungstrecken der Kabelauslässe bis zu den jeweils ersten Kabelverteilknoten (Kabelverteiler) dar.
- Das Zwischen-Verteilkabelnetz (ZVNt) stellt die Versorgungstrecken der ersten Kabelverteilknoten bis zu den jeweils letzten Kabelverteilknoten (Kabelverteiler) dar.
- Das Amtskabelnetz (AKNt) stellt die Versorgungstrecken der letzten Kabelverteilknoten bis zum Hauptverteiler dar.
- Der Hauptverteilerkreis (HV-Kreis) stellt die Versorgungstrecken jener Kabelauslässe dar, die direkt (ohne Rangierung auf der Versorgungstrecke) an den Hauptverteiler angeschlossen werden.

In den einzelnen Netzwerkhierarchien können Versorgungskabel an Abzweigpunkten (Abzweigmuffen) in Downstream-Richtung verteilt werden. Die Abbildung 11 zeigt diese Hierarchisierung schematisch.

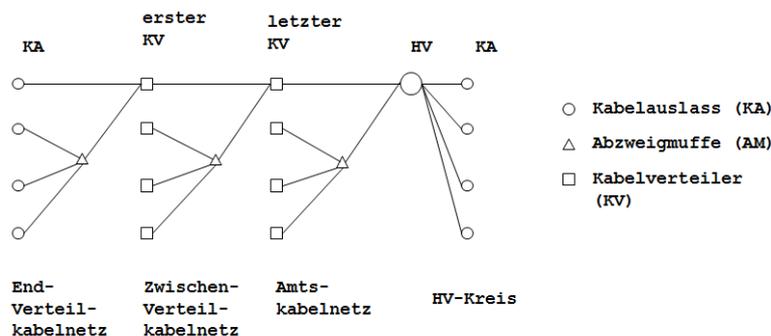


Abbildung 11. Schematische Darstellung der Hierarchien in einem Cu-Netzwerk.

3.1.3.2 Generierung der Netzwerkhierarchien – das Cluster-Modell

Die Generierung der Netzwerk-Hierarchien erfolgt im bottom-up Modus:

1. Wir betrachten zunächst alle Knoten des Graphen, denen Kabelauslässe zugewiesen sind – wir bezeichnen diese als Terminalknoten; vergleiche Abschnitt 3.1.3.4. Der Bedarf eines Terminalknoten ist gleich der Summe der potentiellen Einheiten über alle Kabelauslässe, die dem Knoten zugewiesen wurden. Alle Terminalknoten, die eine Maximaldistanz zum Hauptverteiler-Standort nicht überschreiten werden der Hierarchie HV-Kreis zugeordnet. Es werden in Analogie zu Abschnitt 3.1.3.4 die beiden Distanz-Definitionen Euklidische Punkt-zu-Punkt Distanz und Shortest-Path-Distanz unterstützt. Die verbleibenden Terminalknoten werden mit Hilfe des Modells `TerminalCluster` (siehe Abschnitt 3.1.3.4) in Clustern angeordnet –

die entsprechenden Modellparameter sind im Cu-Kontrollfile definiert. Jeder Cluster entspricht dabei einem End-Verteilkabelnetz und das Cluster-Zentrum dem entsprechenden Kabelverteilpunkt zur Versorgung des Clusters.

2. Wir betrachten alle Cluster-Zentren des ersten Schritts und bezeichnen diese nunmehr als Terminalknoten. Diese werden wiederum mit Hilfe des Modells `TerminalCluster` zu Clustern gruppiert, die nunmehr den Zwischen-Verteilkabelnetzen entsprechen; jedes Cluster-Zentrum ist dabei wiederum ein Kabelverteilpunkt zur Versorgung des Clusters bzw. der darunterliegenden End-Verteilkabelnetze (letzter Kabelverteilpunkt). Das Distanz-Maß entspricht dabei dem des Schrittes Eins, die Modellparameter für das Modell `TerminalCluster` werden aus dem Cu-Kontrollfile übernommen.
3. Die Cluster Zentren des zweiten Schrittes bilden gemeinsam mit dem Hauptverteiler-Standort das Amtskabelnetz.

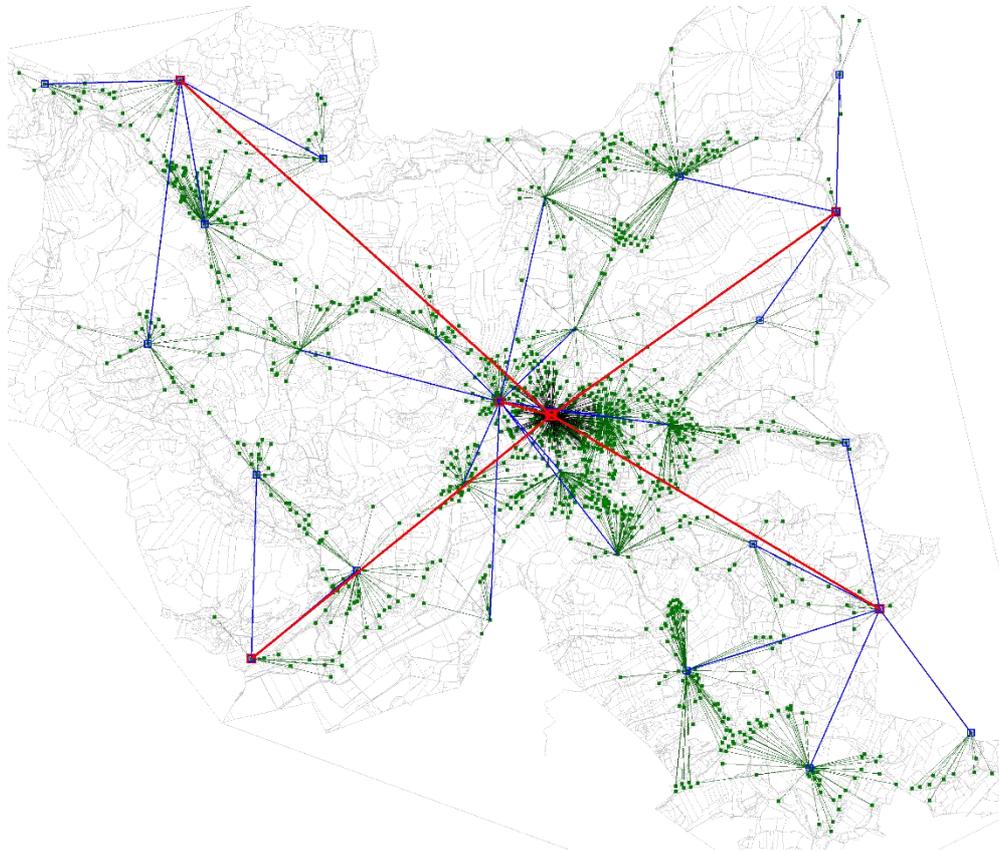


Abbildung 12. Ergebnis des Cluster-Modells für den Netzwerkgraphen 04276-02 (Feldkirchen/Kärnten); siehe Abbildung 6. Die jeweiligen Cluster-Zuordnungen werden durch die vom jeweiligen Cluster-Zentrum ausgehenden Strahlen dargestellt. Es wurden Euklidische Punkt-zu-Punkt Distanzen verwendet. Die Maximaldistanz für den HV-Kreis (schwarz) beträgt 600 Meter. Die Maximaldistanz und die maximale Summe an potentiellen Einheiten für den End-Verteilkabelnetzbereich (grün) und den Zwischen-Verteilkabelnetzbereich (blau) sind mit 1.500 Meter und 500 PE bzw. mit 4.000 Meter und unbeschränkter Anzahl an PE gegeben. Das entsprechende Amtskabelnetz ist in Rot dargestellt.

3.1.3.3 Versorgungslängen-Optimierung

Das in Abschnitt 3.1.3.4 beschriebene Cluster-Modell führt in der Regel zu räumlichen Rückversorgungen und damit zu erhöhten Gesamt-Versorgungslängen von Kabelauslässen

ausgehend vom Hauptverteiler-Standort. Zur Reduktion der Gesamtversorgungslänge wird das Ergebnis des Cluster-Modelles in einem top-down Prozeß nachbearbeitet.

Dazu betrachten wir das folgende Grundmodell: S und B seien zwei Cluster; T^S und T^B sind die entsprechenden Mengen der Terminalknoten. Weiters bezeichnen wir mit $t^S \in T^S$ und $t^B \in T^B$ die Cluster-Zentren. Wir setzen zu dem voraus, dass S super-adjazent zu B ist; d.h. entweder ist S und B ein End-Verteilkabel- und ein Zwischenverteilkabelnetz oder ein Zwischen-Verteilkabel- und das Amtskabelnetz und es gibt einen Terminalknoten $s \in T^S$, derart dass $s = t^B$ gilt. Dann gehen wir wie folgt vor:

1. Bestimme jenen Terminalknoten b^* in B der die geringste Distanz zum Versorgungszentrum t^S von S hat. Das Distanz-Maß ist dabei durch das Cluster-Modell bestimmt.
2. Korrigiere den Terminalknoten in S , der dem Knoten $t^B \in T^B$ entspricht, auf b^* .
3. Korrigiere das Versorgungszentrum $t^B \in T^B$ auf b^* .

Wir fassen diese Prozedur unter der Bezeichnung $ClstrPrResetCenter(S, B)$ zusammen. Auf Basis dieses Grundmodells formulieren wir nunmehr die folgende top-down Vorgehensweise:

1. Es sei A das Amtskabelnetz.
2. Für alle Cluster V der Zwischen-Verteilnetzebene führe die Prozedur $ClstrPrResetCenter(A, V)$ durch.
3. Für alle Cluster E der Zwischen-Verteilnetzebene führe aus:
 - a. Bestimme den entsprechend super-adjazenten Cluster V der Zwischen-Verteilnetzebene.
 - b. Führe die Prozedur $ClstrPrResetCenter(V, E)$ durch.

Die Durchführung dieser Versorgungslängen-Optimierung ist optional und wird über einen Parameter im Cu-Kontrollfile gesteuert. Man beachte in diesem Zusammenhang, dass durch dieses Post-Processing die Forderung der maximalen Distanz von Terminalknoten eines Clusters zum entsprechenden Cluster-Zentrum im Allgemeinen verletzt wird.

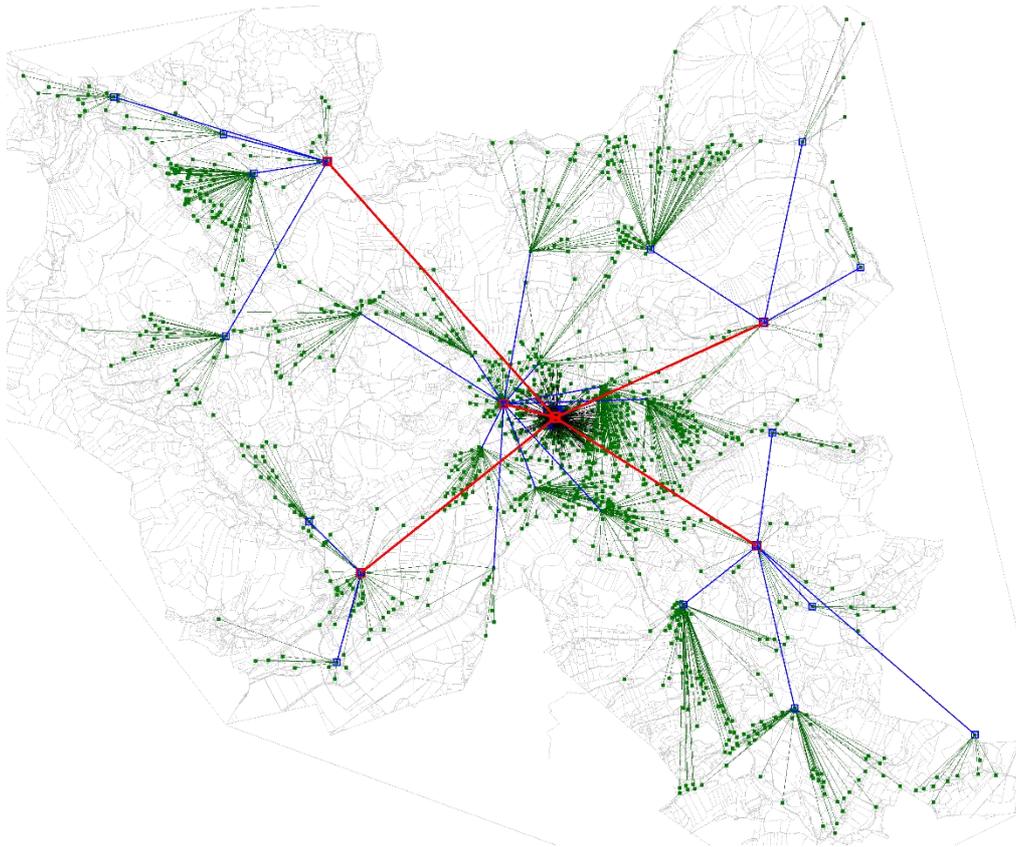


Abbildung 13. Ergebnis des Cluster-Modells wie in Abbildung 12 beschrieben; jedoch nunmehr mit nachfolgender Versorgungslängen Optimierung.

3.1.3.4 Das Modell *TerminalCluster*

Das Modell unterstützt das Clustering von Terminalknoten eines Graphen. Terminalknoten sind Knoten, denen zumindest ein Kabelauslass zugewiesen wird. Ein Cluster von Terminalknoten erfüllt die folgenden Forderungen:

- Die Distanz aller Knoten in einem Cluster ist höchstens gleich einer vorgegebenen Maximaldistanz. Wir sprechen dabei von einer hinreichenden räumlichen Nachbarschaft. Dabei werden zwei Distanz-Definitionen für Knotenpaare unterstützt: einerseits die Euklidische Punkt-zu-Punkt Distanz oder eine Distanz am Netzwerkgraphen bestimmt durch das Shortest-Path-Problem mit Längen-gewichteten Kanten – siehe z.B. (Jungnickel, 1999).
- Die Summe der potentiellen Einheiten aller Kabelauslässe, die den Knoten eines Cluster zugewiesen werden, ist höchstens gleich einer vorgegebenen Maximalanzahl.
- Ein Terminalknoten des Clusters wird als Cluster-Zentrum betrachtet, also jener Knoten von dem aus die restlichen Knoten des Clusters versorgt werden.

Das Clustering erfolgt gemäß den folgenden Schritten:

1. Sortiere die Terminalknoten aufsteigend nach ihren Distanzen zum Hauptverteiler-Knoten.
2. Solange es einen Terminalknoten gibt, der keinem Cluster zugewiesen wurde, führe aus:
 - a. Wähle den ersten noch nicht zugewiesene Terminalknoten und weise ihn als Cluster-Zentrum einem neuen Cluster zu.

- b. Generiere eine Liste von noch nicht zugewiesenen Terminalknoten, deren Distanz zum Cluster-Zentrum des aktuellen Clusters höchstens gleich der vorgegebenen Maximaldistanz ist; sortiere diese Liste ansteigend nach diesen Distanzen.
 - c. Füge solange Knoten dieser Liste zum aktuellen Cluster hinzu, solange dadurch die Maximalanzahl an potentiellen Einheiten pro Cluster nicht überschritten wird.
3. Für alle Terminalknoten führe aus:
- a. Für alle Cluster führe aus:
 - i. Wenn die Distanz des Terminalknoten zum Cluster-Zentrum des Clusters kleiner ist als die Distanz zum Cluster-Zentrum des ihn beinhaltenden Clusters, dann weise den Knoten dem Cluster zu.

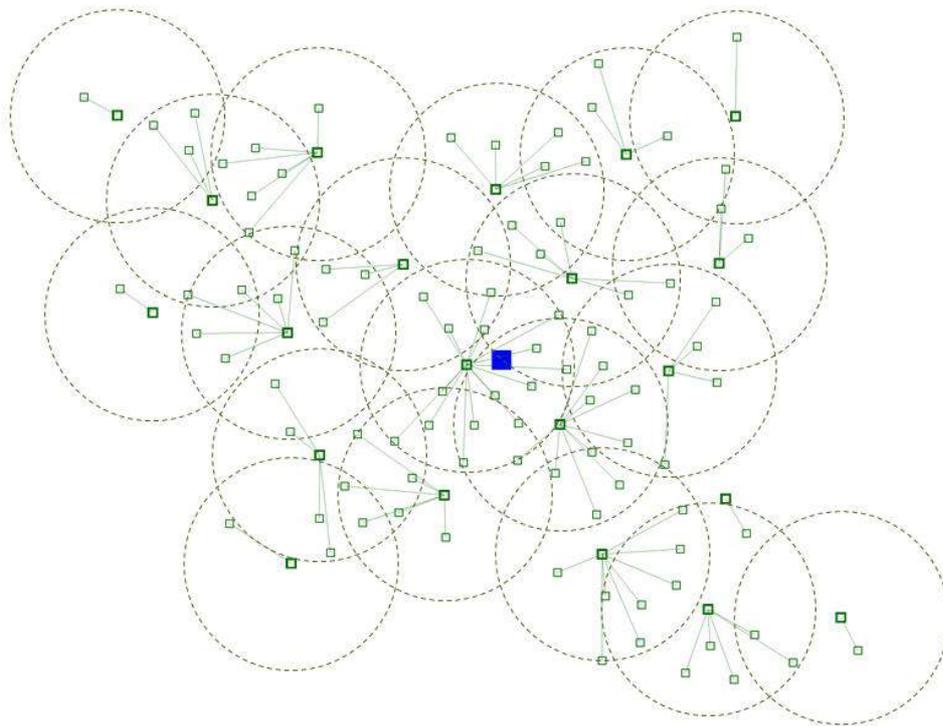


Abbildung 14. Ergebnis der Schritte 1 und 2 des Modells *TerminalCluster* für 115 Terminalknoten (grüne Quadrate) in Bezug auf den gegebenen Hauptverteiler-Standort (blaues Quadrat). Wir betrachten Euklidische Punkt-zu-Punkt Distanzen. Die Cluster-Zentren sind mit dicken Rahmenlinien hervorgehoben; Cluster-Zuordnungen von Terminalknoten sind durch ausgehende Strahlen von den jeweiligen Zentren skizziert; die Maximaldistanz wird durch die Kreise um die Zentren dargestellt. Die maximale Anzahl an potentiellen Einheiten pro Cluster ist unbeschränkt.

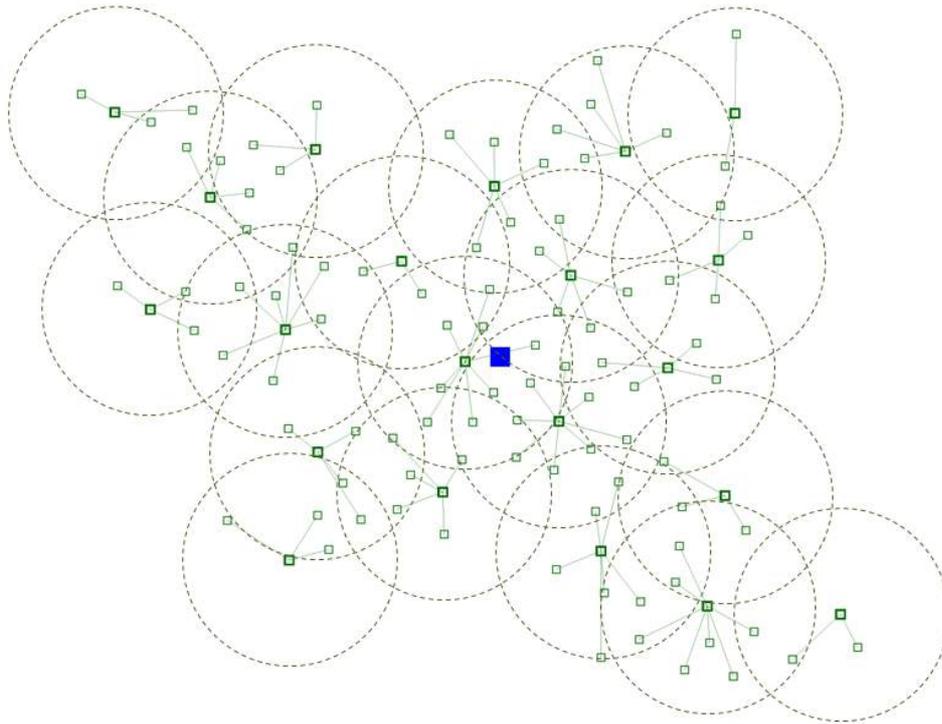


Abbildung 15. Ergebnis des Schrittes 3 des Modells *TerminalCluster* in Bezug auf das in Abbildung 14 dargestellte Beispiel.

3.1.4 Trassierungs-Modell

3.1.4.1 Trassierungskosten einer Kante

Wir betrachten eine Kante des Netzwerkglyphen. Auf Basis der in Abschnitt 2.1 beschriebenen Kanten-Attribute und der in Abschnitt 3.1.1 definierten Kosten-Parameter gehen wir wie folgt vor: Ω sei die Menge der Landnutzungsklassen die der Kante zugeordnet sind. Für ein $\omega \in \Omega$ seien mit $c_\omega \in \mathbb{R}_+$ und $b_\omega \in \{0,1\}$ die spezifischen Verlegekosten pro Meter für die entsprechende Landnutzung definiert und bestimmt ob auf der entsprechenden Landnutzung ein Wegerecht besteht oder nicht. Der Kostenparameter $f_{wl} \in \mathbb{R}_+$ bestimmt die Kostenveränderung bei bestehendem Wegerecht. Die Länge der Kante sei mit $l \in \mathbb{R}_+$ gegeben. Dann errechnen sich die Trassierungskosten der Kante gemäß

$$c = l \min_{\omega \in \Omega} c_\omega (1 - b_\omega (1 - f_{wl}))$$

3.1.4.2 Bottom-up Trassierungs-Modell

Wir lösen zunächst im HV-Kreis und in allen Instanzen der End-Verteilkabelnetzebene ein Steiner-Baum Problem. Die Terminalknoten und das Cluster-Zentrum jeder Instanz bilden dabei die entsprechenden Steiner-Terminalknoten. Die Kantengewichte werden gemäß den Trassierungskosten des Abschnitts 3.1.4.1 gewählt.

Es werden zwei Approximations-Heuristiken zur Lösung des Problems unterstützt: ein shortest-path-tree- und ein minimum-spanning-tree-Ansatz. Für methodische Details verweisen wir an dieser Stelle auf die entsprechende Fachliteratur (Jungnickel, 1999). Die Kanten der entsprechenden Lösungsbäume entsprechen den räumlichen Terrassierungen der Netzwerke dieser Hierarchieebene.

Ebenso wird mit den Instanzen der höheren Hierarchieebenen (Zwischen-Verteilkabelnetze und Amtskabelnetz) verfahren.

Ein Modellparameter steuert die Nutzung von Synergie-Potentialen im Bereich der Trassierungskosten. In diesem Fall drehen wir die Simulationsrichtung auf top-down um; i.e. wir berechnen zunächst die Trassierung des Amtskabelnetzes, dann die der Zwischen-Verteilkabelnetze und letztlich die der End-Verteilkabelnetze und des HV-Kreises. Dabei werden die Gewichte jener Kanten, die bereits in der Trassierung von super-adjazenten Instanzen enthalten sind, bei der Lösung des Steiner-Baum Modelles einer Instanz mit Null (anstelle der oben beschriebenen Trassierungskosten) veranschlagt.

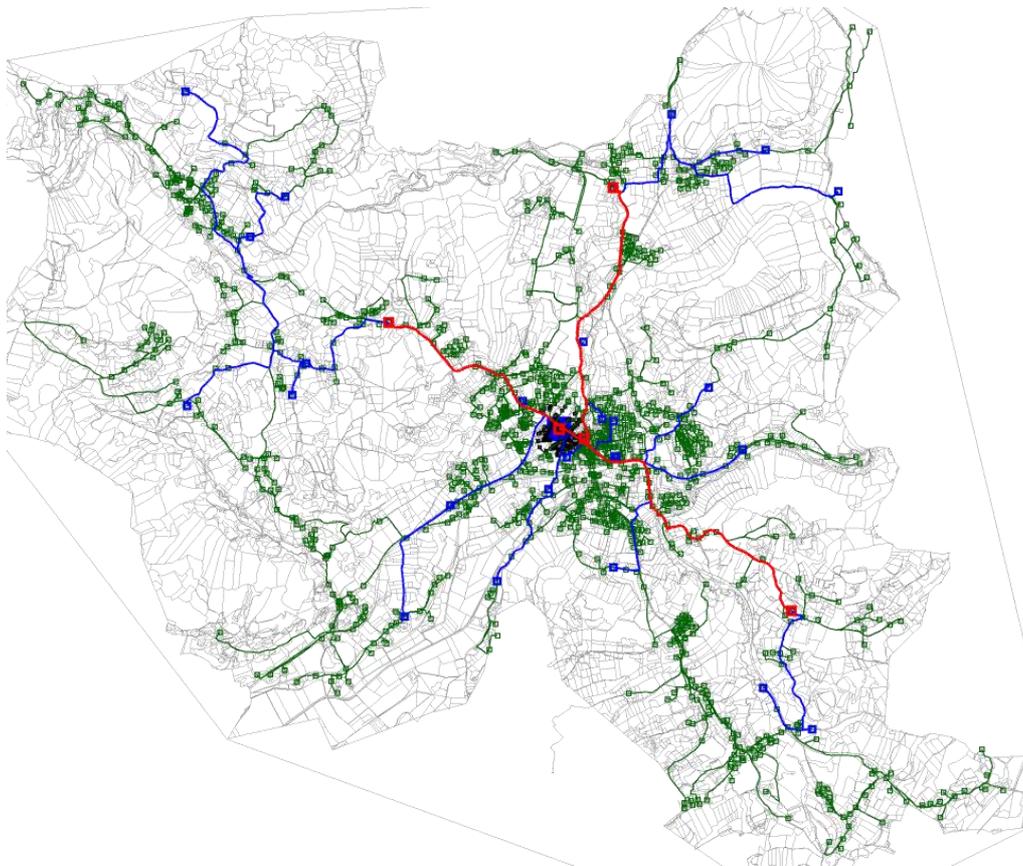


Abbildung 16. Ergebnis des Trassierungs-Modells für den Netzwerkgraphen 04276-02 (Feldkirchen/Kärnten) auf Basis des Ergebnisses des Cluster-Modells gemäß Abbildung 13 mit Nutzung der Synergiepotentiale für Trassierungskosten. Die Netzwerkhierarchien sind farblich unterschieden: rot = Amtskabelnetz, blau = Zwischen-Verteilkabelnetze, grün = End-Verteilkabelnetze, schwarz = HV-Kreis. Die spezifischen Verlegekosten sind für alle Landnutzungen ident gewählt, mit Ausnahme der Landnutzung „Strassenanlage“ – diese wurden mit dem Faktor 1/10 (gegenüber den restlichen Nutzungen) multipliziert.

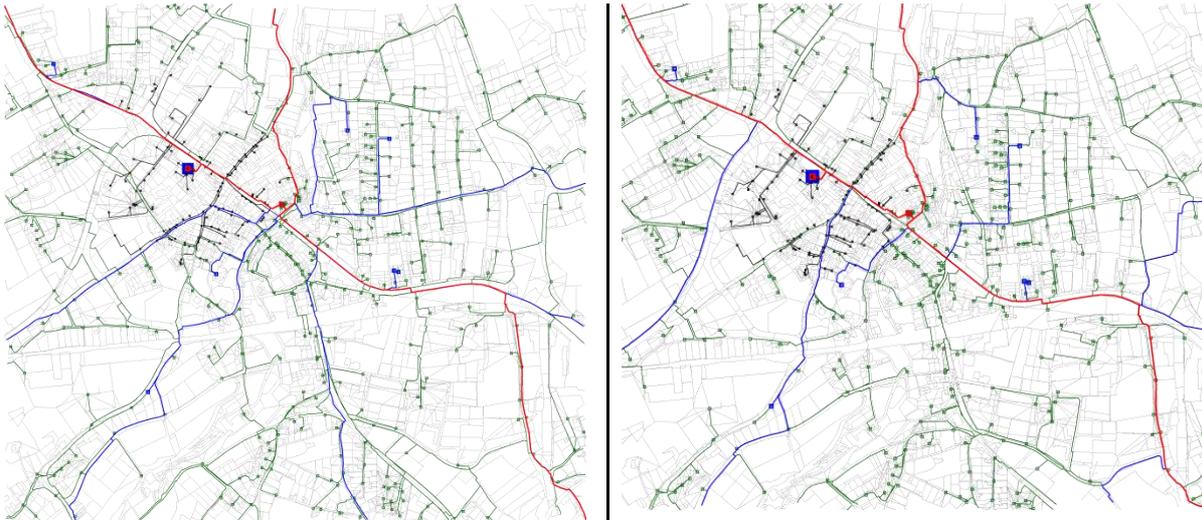
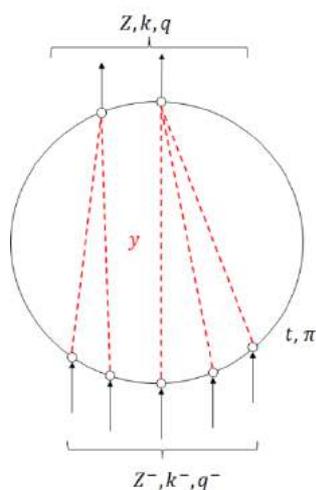


Abbildung 17. Ergebnisunterschied bei Nutzung der Synergiepotentiale für Trassierungskosten. Die linke Abbildung zeigt einen Ausschnitt der Instanz aus Abbildung 16. Die rechte Abbildung zeigt das Trassierungsergebnis der gleichen Instanz, jedoch nunmehr ohne Nutzung der Trassierungssynergie.

3.1.5 Hardware-Modell

3.1.5.1 Das Modell $[Z, k, q, y] = \text{Cb1OnTerminal}[t, \pi, Z^-, k^-, q^-, \text{Type}]$

Wir betrachten einen beliebigen Knoten t , der im Trassierungsbaum einer beliebigen Instanz in einer beliebigen Netzwerkhierarchie enthalten ist. Die Größe π beschreibt den Bedarf (an Doppeladern zur Versorgung von zugewiesenen Kabelauslässen) des Knotens; wenn t ein Terminalknoten ist, so ist sein Bedarf größer Null; andernfalls gleich Null. Gegeben ist die



Menge Z^- , die alle aus Downstream-Richtung in den Knoten einmündenden Cu-Kabel beinhaltet. Wir kennen für jedes Kabel den Typ k^- (vergl. Abschnitt 3.1.1) und die Anzahl q^- der darin beschalteten Adern.

Wir treffen für das Modell die Annahme, dass (in späterer Folge) auf den Knoten eine oder eine Kombination von Cu-Hardwarekomponenten eines bestimmten Typs Type installiert werden.

Das Modell errechnet nunmehr eine Kosten-optimale Menge Z , die alle Cu-Kabel beinhaltet, die den Knoten t aus in Upstream-Richtung versorgen. Es werden von allen Kabeln deren Typ k und deren Anzahl q an beschaltenden Adern berechnet. Weiters wird mittels der Entscheidungsvariablen y die „Überführung“ der Kabel der Menge Z^- in die der Menge Z^+ bestimmt. Dabei sind die folgenden Nebenbedingungen zu beachten:

- Jedes Kabel der Menge Z besitzt einen eindeutig bestimmten Kabeltyp.
- Es dürfen in einem Kabel der Menge Z nicht mehr Doppeladern beschalten werden, als dies der entsprechende Kabeltyp ermöglicht.
- Die Summe der beschalteten Doppeladern über alle in der Z enthaltenen Kabel muss mindestens gleich groß sein wie die Summe der beschalteten Doppeladern über alle in Z^- enthaltenen Kabel plus dem Bedarf des Knoten.
- Jedes Kabel in Z^- muss eindeutig in ein Kabel aus der Menge Z übergeführt werden.

- Die Summe der beschalteten Adernpaare über alle Kabel der Menge Z^- die in ein bestimmtes Kabel der Menge Z übergeführt werden, darf nicht größer sein als die Anzahl der im Kabel beschalteten Adern.
- Die Summe der Adernpaare über alle Kabel der Menge Z^- darf höchstens so groß sein wie die maximale Anzahl der Output-Ports über alle Hardware-Komponenten eines bestimmten Typs.

Die formal mathematische Modellierung lautet:

Spezifikation. $[Z, k, q, y] = \text{CblOnTerminal}[t, \pi, Z^-, k^-, q^-, Type]$.

- $t \in T$... Terminalknoten einer Netzebeneninstanz.
- $\pi \in \mathbb{N}$... Anzahl der Drop-Wires, die von t aus zu versorgen sind. Für Instanzen der Ebenen HV-Kreis oder End-Verteilkabelnetz gilt stets $\pi > 0$; für höhere Netzebenen hingegen $\pi = 0$.
- Z^- ... Menge der aus dem Downstream in t einmündenden Kabel.
- $q^- : Z^- \rightarrow \mathbb{N}$... ordnet jedem aus dem Downstream einmündenden Kabel eine Anzahl an beschalteten Doppeladern zu.
- $k^- : Z^- \rightarrow C_{Cu}$... ordnet jedem aus dem Downstream einmündenden Kabel einen Kabeltyp zu.
- Z ... Menge an Kabeln die zur Versorgung von t verwendet werden.
- $k : Z \rightarrow C_{Cu}$... ordnet jedem Versorgungskabel einen Kabeltyp zu.
- $q : Z \rightarrow \mathbb{N}$... ordnet jedem Versorgungskabel eine Anzahl von beschalteten Adernpaaren zu.
- $y : Z^- \rightarrow Z$... ordnet jedem aus dem Downstream einmündenden Kabel ein Versorgungskabel zu.
- $Type$... Element der Menge $\{KA, KV, AM\}$, legt fest in welchen Cu-Komponenten Versorgungskabel aufzuführen sind.

Modellannahmen. Z sei die Menge der möglichen Kabel, die zur Versorgung von t eingesetzt werden können. Diese Menge wird bei der Modellinitialisierung generiert. Es gilt $|Z| = \rho_{Cbl, \max}$. Die Bezeichner $z \in Z$ sind stets eindeutig; die Elemente von Z werden Zeit-gestempelt erstellt. Der Parameter $t_{\max} = \max_{i \in K_{Cu}: t(i)=Type} \omega(i)$ bestimmt die größt-mögliche Anzahl an Doppeladern, die eine Komponenten vom Typ $Type$ an ihren Output-Ports aufnehmen kann.

Entscheidungsvariablen. $x(z, k) \in \{0, 1\}$ bestimmt ob das Kabel $z \in Z$ vom Typ $k \in C_{Cu}$ zur Versorgung von t verwendet wird; $q(z) \in \mathbb{N}$ bestimmt die Anzahl der aktivierten Doppeladern im Kabel $z \in Z$. $y(z', z) \in \{0, 1\}$ bestimmt ob ein Kabel $z' \in Z^-$ in ein Kabel $z \in Z$ übergeführt wird.

Modell.

$$\min_{x(z,k)} \sum_{z \in Z} \sum_{k \in C_{Cu}} x(z,k) c(k) \quad (2)$$

$$\sum_{k \in C_{Cu}} x(z,k) \leq 1 \quad \text{für alle } z \in Z \quad (3)$$

$$q(z) - \sum_{k \in C_{Cu}} x(z,k) t(k) \leq 0 \quad \text{für alle } z \in Z \quad (4)$$

$$\sum_{z \in Z} q(z) = \pi + \sum_{z' \in Z^-} q^-(z') \quad (5)$$

$$\sum_{z \in Z} y(z',z) = 1 \quad \text{für alle } z' \in Z^- \quad (6)$$

$$\sum_{z' \in Z^-} y(z',z) q^-(z') \leq q(z) \quad \text{für alle } z \in Z \quad (7)$$

$$\sum_{z' \in Z^-} y(z',z) t(k^-(z')) \leq t_{\max} \quad \text{für alle } z \in Z \quad (8)$$

(2) minimiert die Kabelkosten. (3) fordert, dass jedem Kabel höchstens ein Kabeltyp zugewiesen wird; (3) und (4) fordern: wenn in einem Kabel Adernpaare beschalten werden, dann muss der entsprechend zugewiesene Kabeltyp ausreichend Adernpaare verfügen; (5) fordert, dass die Gesamtanzahl an beschalteten Adernpaaren gleich der Summe der zu versorgenden Drop-Wires und aller aus dem Downstream einmündenden beschalteten Doppeladern entspricht; (6) fordert, dass jedes aus dem Downstream einmündende Kabel eindeutig in ein Versorgungskabel übergeführt wird; (7) fordert, dass die Summe der beschalteten Adernpaare über alle Kabel, die aus dem Downstream kommend in ein Versorgungskabel übergeführt werden, höchstens gleich der Anzahl der beschalteten Adernpaare im Versorgungskabel ist; beachte: (8) fordert, dass die Summe der Adernpaare über alle Kabel, die aus dem Downstream kommend in ein Versorgungskabel übergeführt werden, durch die Output-Ports der größt-möglichen Komponente aufgenommen werden kann.

Generierung der Outputvariablen. Auf Basis der Belegung der Entscheidungsvariablen gilt:

Output	Entscheidungsvariablen
Menge Z	$\left\{ z \in Z : \sum_{k \in C_{Cu}} x(z,k) > 0 \right\}$
$k : Z \rightarrow C_{Cu}$	einem $z \in Z$ mit $\sum_{k \in C_{Cu}} x(z,k) > 0$ ordne das eindeutig bestimmte $k \in C_{Cu}$ mit $x(z,k) > 0$ zu
$q : Z \rightarrow \mathbb{N}$	einem $z \in Z$ mit $\sum_{k \in C_{Cu}} x(z,k) > 0$ ordne $q(z)$ zu
$y : Z^- \rightarrow Z$	einem $z' \in Z^-$ ordne das eindeutig bestimmte $z \in Z$ mit $y(z',z) > 0$ zu

Wir beschreiben nachfolgend ein Beispiel-Ergebnis dieses Modells. Dazu betrachten wir die Kabeltypen gemäß der nachfolgenden Tabelle:

[1] Anzahl der Cu-Doppeladern	[2] Cu-Querschnitt einer Ader in Millimeter
[3] benötigte Künettenbreite in Meter	[4] maximale durchgängige Verlegelänge
[5] Kosten in EUR pro Meter (Solver)	[6] Kosten in EUR pro Meter
[7] Verlegelänge	[8] Verlegekosten in EUR

Id	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	10,00	0,40	0,10	500,00	0,40	0,40
2	50,00	0,40	0,10	500,00	1,00	1,60
3	180,00	0,40	0,10	500,00	2,00	7,30
4	680,00	0,40	0,10	500,00	5,00	20,90
5	1.800,00	0,40	0,10	500,00	10,00	66,50

Wir nehmen weiters an, dass fünf Kabel aus Downstream-Richtung kommend in einen Knoten einmünden. Der Knoten ist kein Terminal-Knoten (sein Demand ist Null). Die fünf Kabel sind im unten stehenden Protokoll mit D1 bis D5 bezeichnet bzw. unter `type id` und `nr. act. twin wires` erkennen wir die entsprechenden Kabeltypen und ihre Anzahl an beschalteten Doppeladern.

Local model CblOnTerminal on an arbitrary node w.r.t user defined input.

[IDlg_RunModelCblOnTerminal]

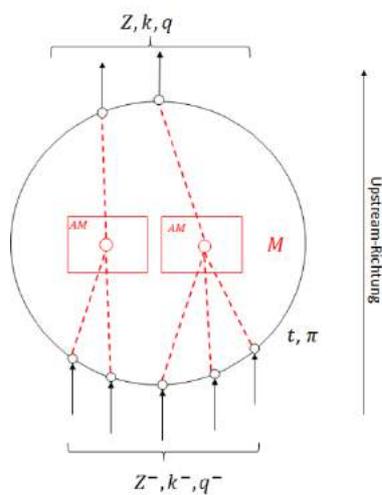
```
-----
[IDlg_pi]          demand of node                : 0
[IDlg_Z_minus]    downstr. inc. cable (id, type id, nr. act. twin pairs) : D1, 1, 3
[IDlg_Z_minus]    downstr. inc. cable (id, type id, nr. act. twin pairs) : D2, 1, 2
[IDlg_Z_minus]    downstr. inc. cable (id, type id, nr. act. twin pairs) : D3, 1, 2
[IDlg_Z_minus]    downstr. inc. cable (id, type id, nr. act. twin pairs) : D4, 2, 15
[IDlg_Z_minus]    downstr. inc. cable (id, type id, nr. act. twin pairs) : D5, 2, 30
[IDlg_Type]       type of copper node components (KA,KV,AM)             : AM
[IDlg_Solver]     MILP solver (lpsolve, cplex)                          : lpsolve
[IDlg_SolverTimeout] MILP solver timeout                               : 1
[IDlg_Export]     export models to lp files                             : false
-----
```

* in order to create additional downstream incident cables copy the according input line;
 * if no downstream cables exist, simply delete all according lines;
 * press Ctrl+Shift+S to start the computation

```
-----
initialize and solve model ...
done; elapsed cpu milliseconds = 16
display model messages ...
initialize instance of model CblOnTerminal for t = 0 ...
solve instance ...
  MILP solver = LPSOLVE
  MILP solver timeout = 1
report model ...
write report ...
CblOnTerminal on node 0 (pi = 0):
input:
  downstream incident cables:
    cable D1, type identifier = 1, nr. activated twin wires = 3
    cable D2, type identifier = 1, nr. activated twin wires = 2
    cable D3, type identifier = 1, nr. activated twin wires = 2
    cable D4, type identifier = 2, nr. activated twin wires = 15
    cable D5, type identifier = 2, nr. activated twin wires = 30
  type = KV
theoretical number of upstream incident cables = 10
output:
  best objective value = 1,4
  supplying cables:
    cable Cbl_N_000_00000, type identifier = 2, nr. activated twin wires = 48, | | |
sum of discharged twin wires = 110
    cable Cbl_N_000_00001, type identifier = 1, nr. activated twin wires = 4, | | |
sum of discharged twin wires = 20
  handover of downstream incident cables:
    cable D1 carried to supply cable Cbl_N_000_00000
    cable D2 carried to supply cable Cbl_N_000_00001
    cable D3 carried to supply cable Cbl_N_000_00001
    cable D4 carried to supply cable Cbl_N_000_00000
    cable D5 carried to supply cable Cbl_N_000_00000
done.
-----
```

Wir erkennen im Protokoll, dass zwei Kabel zur Versorgung des Knoten installiert werden, ihre technischen Bezeichnungen sind `Cbl_N_000_00000` (Cu-Kabel vom Typ 2 mit 48 beschalteten Adern) und `Cbl_N_000_00001` (Cu-Kabel vom Typ 1 mit 4 beschalteten Adern). Wir erkennen auch, dass die Kabel D1, D4 und D5 in das Kabel `Cbl_N_000_00000` und die Kabel D2 und D3 in das Kabel `Cbl_N_000_00001` übergeführt werden.

3.1.5.2 Das Modell $[M, i, \alpha, \omega] = \text{HrdWrOnTerminal}[t, \pi, Z^-, k^-, Z, k, q, \text{Type}]$



Die Input- und Outputvariablen des Modells `CblOnTerminal` bilden die Inputvariablen dieses Modells. Es bestimmt eine kosten-optimale Menge M von Cu-Komponenten am Knoten t , so dass eine physikalisch korrekte Überführung der Kabel aus dem Downstream in die des Upstream ermöglicht wird; Type beschreibt dabei wiederum die Komponentenart (KA, KV oder AM), i beschreibt dabei den Typ der Komponente, α und ω ordnen jedem Kabel eine jeweilige Upstream- und Downstream-Komponente zu.

Das Modell wird in zwei Modi betrieben. Modus A fordert, dass $\pi = 0, Z^- \neq 0$ gilt und Modus B, dass vice versa $\pi \neq 0, Z^- = 0$ gilt.

Die Bestimmung der Menge von Komponenten erfolgt unter den folgenden Nebenbedingungen, die abhängig vom jeweiligen Modus aktiviert werden:

- Jeder Komponente wird höchstens ein Typ zugewiesen; beachte in diesem Zusammenhang, dass M auch gleich der leeren Menge sein kann, wenn alle Downstream-seitigen Kabel unverändert Upstream-seitig weitergeführt werden.
- Die Maximalanzahl an Komponenten pro Typ darf nicht überschritten werden.
- Jedes Upstream-seitige Kabel muß in genau einer Komponente aufgeführt werden.
- Jedes Upstream-seitige Kabel, in das mindestens zwei Downstream-seitige Kabel einmünden, wird in genau einer Komponente aufgeführt.
- Jedes Upstream-seitige Kabel, in das höchstens ein Downstream-seitiges Kabel einmündet, wird in höchstens einer Komponente aufgeführt.
- Die Summe der Doppeladern aller Upstream-seitigen Kabel, die in einer Komponente aufgeführt werden, übersteigt nicht die Anzahl der Inputports der Komponente.
- Alle am Knoten existierenden Drop-Wires (Demand des Knoten) müssen in einer Komponente aufgeführt werden.
- Die Summe der Doppeladern aller aus dem Downstream in eine Komponente einmündenden Kabel darf höchstens gleich der Anzahl der Outputports der Komponente sein.

Die formal mathematische Modellierung lautet:

Spezifikation. $[M, i, \alpha, \omega] = \text{HrdWrOnTerminal}[t, \pi, Z^-, k^-, Z, k, y, Type]$.

- $t \in T$... Terminalknoten einer Netzebeneninstanz.
- $\pi \in \mathbb{N}$... Anzahl der Drop-Wires, die von t aus zu versorgen sind. Für Instanzen der Ebenen HV-Kreis oder End-Verteilkabelnetz gilt stets $\pi > 0$; für höhere Netzebenen hingegen $\pi = 0$.
- Z^- ... Menge der aus dem Downstream in t einmündenden Kabel.
- $k^- : Z^- \rightarrow C_{Cu}$... ordnet jedem aus dem Downstream einmündenden Kabel einen Kabeltyp zu.
- Z ... Menge an Kabeln die zur Versorgung von t verwendet werden.
- $k : Z \rightarrow C_{Cu}$... ordnet jedem Versorgungskabel einen Kabeltyp zu.
- $y : Z^- \rightarrow Z$... ordnet jedem aus dem Downstream einmündenden Kabel ein Versorgungskabel zu.
- $Type$... Element der Menge $\{KA, KV, AM\}$, legt fest in welchen Cu-Komponenten Versorgungskabel aufzuführen sind.
- M ... Menger der installierten Cu-Komponenten.
- $i : M \rightarrow K_{Cu}$... ordnet jeder installierten Cu-Komponente eine Typ zu.
- $\alpha : Z^- \cup Z \rightarrow M \cup Z^- \cup Z \cup \{\text{Null}\}$... ordnet jedem Kabel ein Downstream-inzidentes Objekt (Cu-Komponente oder Cu-Kabel zu), aus dem es hervorgeht.
- $\omega : Z^- \cup Z \rightarrow M \cup Z^- \cup Z \cup \{\text{Null}\}$... ordnet jedem Kabel ein Upstream-inzidentes Objekt (Cu-Komponente oder Cu-Kabel zu), in das es einmündet.

Modellannahmen. M sei die Menge der Cu-Komponenten, die in t installiert werden können. Diese Menge wird bei der Modellinitialisierung generiert. Dazu sei $x(i)$ die Anzahl der Komponenten vom Typ $i \in K_{Cu}$ mit $t(i) = Type$ und wir lösen

$$|M| = \max_x \sum_i x(i) \quad \text{unter} \quad \sum_i x(i) \leq \rho_{Cu, \max} \quad \text{und} \quad 0 \leq x(i) \leq \rho_{\max}(i) \quad \text{für alle } i.$$

Die Bezeichner $m \in M$ sind stets eindeutig; die Elemente von M werden Zeit-gestempelt erstellt.

Entscheidungsvariablen. $w(m, i) \in \{0, 1\}$ bestimmt ob die Komponente $m \in M$ vom Typ $i \in K_{Cu}$ mit $t(i) = Type$ auf dem Knoten t installiert wird. $u(m, z) \in \{0, 1\}$ bestimmt, ob das Versorgungskabel $z \in Z$ in der Komponente m aufgeführt wird.

Modell.

$$\min_m \sum_{m \in M} \sum_i w(m, i) c(i) \tag{9}$$

$$\sum_i w(m, i) \leq 1 \quad \text{für alle } m \in M \tag{10}$$

$$\sum_{m \in M} w(m, i) \leq \rho_{\max}(i) \quad \text{für alle } i \quad (11)$$

$$\sum_{m \in M} u(m, z) = 1 \quad \text{für alle } z \in Z \quad (12)$$

$$\sum_{m \in M} u(m, z) = 1 \quad \text{für alle } z \in Z : \sum_{z' \in Z^- : y(z')=z} 1 > 1 \quad (13)$$

$$\sum_{m \in M} u(m, z) \leq 1 \quad \text{für alle } z \in Z : \sum_{z' \in Z^- : y(z')=z} 1 \leq 1 \quad (14)$$

$$\sum_{z \in Z} u(m, z) - \sum_i w(m, i) k_{\max}(i) \leq 0 \quad \text{für alle } m \in M \quad (15)$$

$$\sum_{z \in Z} u(m, z) t(k(z)) - \sum_i w(m, i) \alpha(i) \leq 0 \quad \text{für alle } m \in M \quad (16)$$

$$\sum_{m \in M} \sum_i w(m, i) \omega(i) \geq \pi \quad (17)$$

$$\sum_{z' \in Z^-} u(m, y(z')) t(k^-(z')) - \sum_i w(m, i) \omega(i) \leq 0 \quad \text{für alle } m \in M \quad (18)$$

(9) minimiert die Komponentenkosten.

(10) fordert, dass jeder Cu-Komponente höchstens ein Typ zugewiesen wird.

(11) fordert, dass die erlaubte Maximalanzahl an Cu-Komponenten pro Typ nicht überschritten werden darf.

(12) fordert, dass jedes Versorgungskabel in genau einer Cu-Komponente aufgeführt wird.

(13) fordert, dass jedes Versorgungskabel, in das mindestens zwei Kabel aus dem Downstream einmünden, in genau einer Cu-Komponente aufgeführt wird.

(14) fordert, dass jedes Versorgungskabel, in das höchstens ein Kabel aus dem Downstream einmündet, in höchstens einer Cu-Komponente aufgeführt wird.

(15) fordert gemeinsam mit (10): wenn in einer Cu-Komponente Versorgungskabel aufgeführt werden, so ist eine Komponente jenes Typs zu installieren, dessen Maximalanzahl an aufgeführten Kabeln ausreichend ist.

(16) fordert gemeinsam mit (10), dass die Summe der Doppeladern aller Versorgungskabel, die in einer Cu-Komponente aufgeführt werden, höchstens so groß ist wie die Anzahl der Input-Ports der Komponente.

(17) fordert, dass alle Drop-Wires in Cu-Komponenten aufgeführt werden können.

Für (18) beachte man: wenn das Versorgungskabel z an den Inputports der Komponente m aufgeführt wird, i.e. $u(m, z) > 0$, dann setzen wir voraus, dass alle Downstream-Kabel, die in z übergeführt werden, i.e. alle $z' \in Z^-$ mit $y(z') = z$, ebenso an den Outputports von m aufgeführt werden. Damit kennen wir alle $z' \in Z^-$ die an den Outputports von m aufgeführt werden; i.e. $\{z' \in Z^- : u(m, y(z')) > 0\}$. Damit fordert die Bedingung gemeinsam mit (10), dass die Summe der Doppeladern über alle Kabel, die aus dem Downstream in einer Komponente einmünden, höchstens gleich groß ist als die Anzahl der Output-Ports der Komponente.

Wir wenden dieses Modell exemplarisch auf das oben stehende Modellergebnis (siehe Abschnitt 3.1.5.1) an; wir wenden also den Modus A an: fünf aus dem Downstream kommende Kabel werden in zwei Upstream-seitige Kabel übergeführt und wir berechnen Kosten-optimale Abzweigmuffen um dies entsprechende physikalisch zu realisieren. Mit den Typen von Muffen zur Verfügung stehenden Typen

Cu-Komponenten:

	[1] Anzahl Input-Ports	[2] Anzahl Output-Ports	[3] Typ der Komponente					
	[4] maximale Anzahl pro Knoten	[5] maximale Anzahl an Versorgungskabel	[6] Kosten pro Stück (Solver)					
	[7] Kosten pro Stück	[8] Anzahl der installierten Stück	[9] Kosten in EUR					

id	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
6	10	10	AM	5	5	10,00	650,00
7	50	50	AM	5	5	20,00	1.100,00
8	180	180	AM	5	5	30,00	1.700,00
9	680	680	AM	5	5	40,00	2.200,00
10	1.800	1.800	AM	5	5	100,00	4.000,00

erhalten wir das Ergebnis gemäß dem folgenden Protokoll:

```
Local model HrdwronTerminal on an arbitrary node w.r.SARUSolverCall. specified user input.
[IDlg_RunModelHrdwronTerminal]
-----
[IDlg_pi]          demand of node                               : 0
[IDlg_Z_minus]    downstream incident cable (id, type id, nr. act. twin pairs) : D1, 1, 3
[IDlg_Z_minus]    downstream incident cable (id, type id, nr. act. twin pairs) : D2, 1, 2
[IDlg_Z_minus]    downstream incident cable (id, type id, nr. act. twin pairs) : D3, 1, 2
[IDlg_Z_minus]    downstream incident cable (id, type id, nr. act. twin pairs) : D4, 2, 15
[IDlg_Z_minus]    downstream incident cable (id, type id, nr. act. twin pairs) : D5, 2, 30
[IDlg_Z]          upstream supply cable (id, type id, nr. act. twin pairs)      : Cb1_N_000_00000, 2, 48
[IDlg_Z]          upstream supply cable (id, type id, nr. act. twin pairs)      : Cb1_N_000_00001, 1, 4
[IDlg_y]          cable handover (id downstream cable, id upstream cable)       : D1, Cb1_N_000_00000
[IDlg_y]          cable handover (id downstream cable, id upstream cable)       : D2, Cb1_N_000_00001
[IDlg_y]          cable handover (id downstream cable, id upstream cable)       : D3, Cb1_N_000_00001
[IDlg_y]          cable handover (id downstream cable, id upstream cable)       : D4, Cb1_N_000_00000
[IDlg_y]          cable handover (id downstream cable, id upstream cable)       : D5, Cb1_N_000_00000
[IDlg_Type]       type of copper node components (KA,KV,AM)                    : AM
[IDlg_Solver]     MILP solver (lpsolve, cplex)                                : lpsolve
[IDlg_Solver]     MILP solver timeout                                         : 1
[IDlg_Export]     export models to lp files                                    : false
-----
* in order to create additional downstream- or upsteam incident cables copy the according input line;
  if no downstream cables exist, simply delete all accoring lines;
* in order to create additional handover pairs, simply copy the according input line
* press Ctrl+Shift+S to start computation
-----
initialize and solve model ...
done; elapsed cpu milliseconds = 62
display model messages ...
  initialize instance of model HrdwronTerminal for t = 00000 ...
  solve instance ...
    MILP solver = LPSOLVE
    MILP solver timeout = 1
  graph solution from solver; solver status = OPTIMAL
report model ...
write report ...
model HrdwronTerminal on terminal node 0, demand = 0
input:
  upstream incident cables:
    cable Cb1_N_000_00000, type identifier = 2, nr. acrivated twin wires = 48
    cable Cb1_N_000_00001, type identifier = 1, nr. acrivated twin wires = 4
  downstream incident cables:
    cable D1, type identifier = 1, nr. acrivated twin wires = 3
    cable D2, type identifier = 1, nr. acrivated twin wires = 2
    cable D3, type identifier = 1, nr. acrivated twin wires = 2
    cable D4, type identifier = 2, nr. acrivated twin wires = 15
    cable D5, type identifier = 2, nr. acrivated twin wires = 30
  handover of downstream incident cables:
    cable D1 carried to cable Cb1_N_000_00000
    cable D2 carried to cable Cb1_N_000_00001
    cable D3 carried to cable Cb1_N_000_00001
    cable D4 carried to cable Cb1_N_000_00000
    cable D5 carried to cable Cb1_N_000_00000
  Type = AM
  theoretical number of copper components = 5
output:
  best objective value = 30
  installed copper node components:
    component Cmp_N_000_00001, type identifier = 8, type = AM, I/O ports = 180/180
    discharged upstream incident cables:
      cable Cb1_N_000_00000
      cable Cb1_N_000_00001
    discharged downstream incident cables:
      cable D1
      cable D4
      cable D5
      cable D2
      cable D3
  upstream information for downstream incident cables:
    cable D1 ends at cable/component Cmp_N_000_00001
    cable D2 ends at cable/component Cmp_N_000_00001
    cable D3 ends at cable/component Cmp_N_000_00001
    cable D4 ends at cable/component Cmp_N_000_00001
    cable D5 ends at cable/component Cmp_N_000_00001
  downstream information for upstream incident cables:
    Cb1_N_000_00000 starts from cable/component Cmp_N_000_00001
    Cb1_N_000_00001 starts from cable/component Cmp_N_000_00001
done.
```

Es wird eine Abzweigmuffe $Cmp_N_000_00001$ installiert, in der alle entsprechenden Kabel aufgeführt werden.

3.1.5.3 Hardware-Modell für eine Instanz einer Netzebene; das Modell *HrdWrOnSubNetw*

Das Modell bestimmt die physikalische Struktur des Cu-Netzwerkes in einer der Netzebenen-Hierarchien auf Basis einer gegebenen Trassierung (Ergebnis des Trassierungsmodells gemäß Abschnitt 3.1.4). Diese Trassierung entspricht einem Wurzelbaum B , wobei das Versorgungszentrum (Cluster-Zentrum) der Instanz die Wurzel definiert.

Bei der Bestückung von Knoten mit Cu-Komponenten gelten die folgenden Regeln:

- Auf jedem Knoten, dessen Grad im Wurzelbaum größer oder gleich drei ist, kann optional mit Abzweigmuffen bestückt werden. Die Entscheidung, ob mehrere Kabel aus dem Downstream in ein Upstream-seitiges Kabel zusammengefaßt werden sollen, ist Kosten-abhängig: wir vergleichen die Kosten der Weiterführung der Downstream-seitig einmündenden Kabel vom Knoten bis zum Versorgungszentrum der Instanz mit jenen des zusammenfassenden Kabels plus den entsprechenden Komponentenkosten.
- Auf Terminalknoten werden je Netzwerkhierarchie unterschiedliche Arten von Komponenten installiert. Für Instanzen der Ebenen HV-Kreis und End-Verteilkabelnetz werden Kabelauslässe, für Instanzen der Ebenen Zwischen-Verteilkabelnetz und Amtskabelnetz werden Kabelverteiler installiert. Wir bezeichnen die für das Modell jeweilig relevante Art mit *Type*.

Wir gehen anhand der folgenden Prozedur vor:

1. Initialisiere die Menge T_C ; diese beinhaltet alle Terminalknoten der Instanz sowie alle Knoten der Grad im Wurzelbaum größer oder gleich drei ist.
2. Initialisiere den Knotengrad für alle Knoten in T_C .
3. Solange ein Knoten t mit Grad eins in T_C existiert, führe aus:
 - a. Bestimme seinen Vorgängerknoten p im Wurzelbaum.
 - b. Wenn t ein Terminalknoten ist, dann führe aus:
 - i. Wenn $Type = KA$ gilt (Kabelauslässe auf Terminalknoten), dann führe aus:
 Löse $[Z, k, q, 0] = CblOnTerminal[t, \pi, 0, 0, 0, KA]$ (bestimme Versorgungskabel um den Demand des Knoten zu decken).
 Löse $[M, i, \alpha, 0] = HrdWrOnTerminal[t, \pi, 0, 0, Z, k, 0, KA]$ (Bestimme Kabelauslässe um Kabel aufzuführen).
 Speichere die Versorgungskabel Z als Downstream-seitig eingehende Kabel des Knoten p .
 - ii. Wenn $Type = KV$ gilt (Kabelverteiler auf Terminalknoten), dann führe aus:
 Löse $[Z, k, q, y] = CblOnTerminal[t, \pi, 0, Z^-, q^-, KV]$ (bestimme Versorgungskabel um den Demand des Knoten und beschaltene Adern aller Downstream-seitigen Kabel zu decken).
 Löse $[M, i, \alpha, 0] = HrdWrOnTerminal[t, \pi, Z^-, q^-, Z, k, y, KV]$ (Bestimme Kabelverteiler um Down- und Upstream-seitige Kabel aufzuführen sowie die entsprechende Kabelrangierung).
 Speichere die Versorgungskabel Z als Downstream-seitig eingehende Kabel des Knoten p .
 - c. Initialisiere mit Z^- alle Downstream-seitigen Kabel des Knoten t , die noch nicht in einer Komponente aufgeführt wurden.
 - d. Wenn $Z^- \neq 0$ gilt, dann führe aus:

- i. Löse $[Z, k, q, y] = \text{CblOnTerminal}[t, \pi, 0, Z^-, q^-, AM]$ (fasse die Downstream-seitigen Kabel in Upstream-seitigen Versorgungskabeln zusammen).
 - ii. Löse $[M, i, \alpha, 0] = \text{HrdWrOnTerminal}[t, \pi, Z^-, q^-, Z, k, y, AM]$ (Bestimme Abzweigmuffen um Down- und Upstream-seitige Kabel aufzuführen sowie die entsprechende Kabelrangierung).
 - iii. Wenn die Kosten der Kabelzusammenführung plus den Kosten der dafür notwendigen Abzweigmuffen geringer sind als die Weiterführung der Downstream-seitigen Kabel, dann akzeptiere Z und M ; speichere die entsprechenden Versorgungskabel als Downstream-seitige Kabel des Knoten p .
4. Setze den Knotengrad von t auf Null und reduziere den Grad von p um Eins.

Nachfolgend zeigen wir exemplarisch das Ergebnis des Modells auf einer Instanz der End-Verteilnetzebene gemäß Abbildung 16. Die Instanz trägt die Bezeichnung EVNt_011 – der entsprechende Trassierungs-Wurzelbaum ist in Abbildung 18 dargestellt.

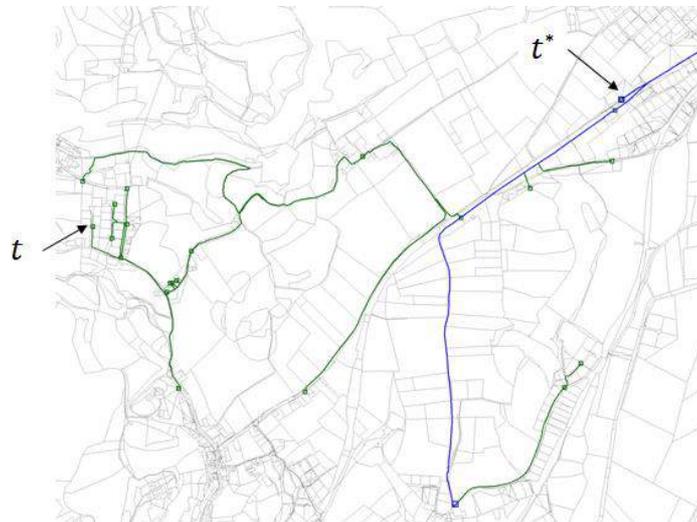


Abbildung 18. Instanz EVNt_011 mit Versorgungszentrum t^* und einem ausgewählten Terminalknoten t .

Wir betrachten die errechnete physikalische Versorgungsstruktur für einen ausgewählten Terminalknoten t mit der Bezeichnung 6235 bzw. dem darauf installierten Kabelauslass mit der Bezeichnung $\text{Cmp_EVNt_011_00095}$.

```
[ID]g_GetCablePathInNetwork]
Analyzes the cable path for an object on a terminal node of a sub network.
The following objects are supported:
- copper node component on terminal node with a uniquely determined upstream incident cable
- a copper cable which is downstream incident to the terminal node
-----
[ID]g_NetwId] identifier of the sub network      : EVNt_011
[ID]g_t]      identifier of the terminal node   : 6235
[ID]g_Obj]    identifier of the object         : Cmp_EVNt_011_00095
-----
press Ctrl+Shift+S in order to start model with specified settings
-----
get upstream cable segments for specified object ...
report computed segments ...
  Cbl_EVNt_011_00190
    network = EVNt_011
    cable type id = 1 (nr. twin wires = 10)
    nr. activated twin wires = 10
    starts from component Cmp_EVNt_011_00095 (type = KA, I/O ports = 10/10) at node 6235
    runs along 23 edges at a total Lgth of 160,761843462726 towards the node 118547
  Cbl_EVNt_011_00204
    network = EVNt_011
    cable type id = 2 (nr. twin wires = 50)
    nr. activated twin wires = 32
    starts from component Cmp_EVNt_011_00101 (type = AM, I/O ports = 50/50) at node 118547
    runs along 13 edges at a total Lgth of 184,17242627639 towards the node 65104
  Cbl_EVNt_011_00225
    network = EVNt_011
    cable type id = 2 (nr. twin wires = 50)
```

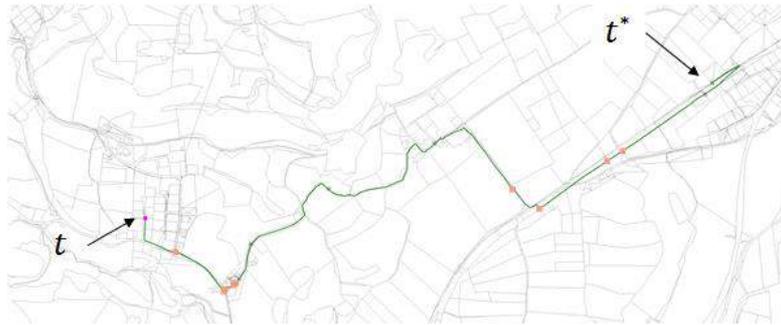



Abbildung 19. Trassierung für den Kabelauslass `Cmp_EVNt_011_00095` bis zum Versorgungszentrum der Instanz. Die Positionen der Kabelverzweigungen (mittels Abzweigmuffen) sind durch orange Quadrate markiert.

3.1.5.4 Das globale Hardware-Modell

Um die physikalische Versorgung aller Kabelauslässe bis hin zum Hauptverteiler zu rechnen, wenden wir das Modell `HrdWrOnSubNetw` im bottom-up Modus über die einzelnen Netzwerkhierarchien an. Das Ergebnis ist ein Cu-Versorgungsnetz, in dem jeder Kabelauslass über einen eindeutigen physikalischen Versorgungspfad verfügt.

Die Abbildung 20 zeigt diesen Pfad exemplarisch für einen Kabelauslass; das unten folgende Protokoll beschreibt die entsprechenden Kabeln und Komponenten in Upstream-Richtung.

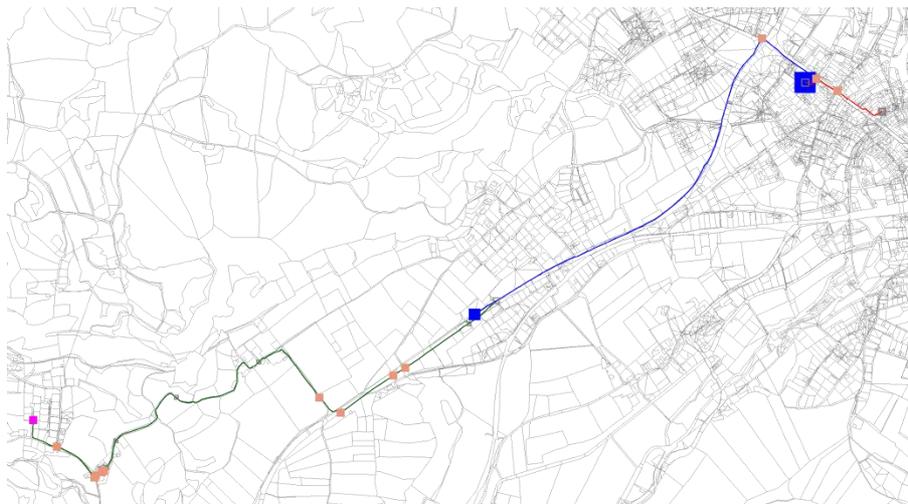


Abbildung 20. Kabelversorgungspfade des Kabelauslasses `Cmp_EVNt_011_00095` (rosa Quadrat) bis zum Hauptverteiler-Standort (großes blaues Quadrat) – vergleiche Abbildung 19. Die orangenen Quadrate symbolisieren Abzweigmuffen, das kleine blaue Quadrat zeigt einen Kabelverteiler.

```
[ID]g_GetCableSegmentsForCableExit]
Analyzes the cable segments for a cable exit in one of the lowest hierarchies
towards the main distribution frame.
-----
[ID]g_CblExit] identifier of cable exit : Cmp_EVNt_011_00095
-----
press Ctrl+Shift+S in order to start model with specified settings
-----
get cable segments for cable exit ...
report computed segments ...
  Cbl_EVNt_011_00190
    network = EVNt_011
    cable type id = 1 (nr. twin wires = 10)
    nr. activated twin wires = 10
    starts from component Cmp_EVNt_011_00095 (type = KA, I/O ports = 10/10) at node 6235
    runs along 23 edges at a total Lgth of 160,761843462726 towards the node 118547
  Cbl_EVNt_011_00204
    network = EVNt_011
    cable type id = 2 (nr. twin wires = 50)
    nr. activated twin wires = 32
    starts from component Cmp_EVNt_011_00101 (type = AM, I/O ports = 50/50) at node 118547
    runs along 13 edges at a total Lgth of 184,17242627639 towards the node 65104
  Cbl_EVNt_011_00225
```

```

network = EVNt_011
cable type id = 2 (nr. twin wires = 50)
nr. activated twin wires = 35
starts from component Cmp_EVNt_011_00110 (type = AM, I/O ports = 180/180) at node 65104
runs along 4 edges at a total Lgth of 8,32325056695829 towards the node 95718
cb1_EVNt_011_00234
network = EVNt_011
cable type id = 2 (nr. twin wires = 50)
nr. activated twin wires = 38
starts from component Cmp_EVNt_011_00115 (type = AM, I/O ports = 180/180) at node 95718
runs along 4 edges at a total Lgth of 25,9873447774336 towards the node 95377
cb1_EVNt_011_00244
network = EVNt_011
cable type id = 2 (nr. twin wires = 50)
nr. activated twin wires = 44
starts from component Cmp_EVNt_011_00120 (type = AM, I/O ports = 180/180) at node 95377
runs along 2 edges at a total Lgth of 8,65630761994959 towards the node 165647
cb1_EVNt_011_00255
network = EVNt_011
cable type id = 2 (nr. twin wires = 50)
nr. activated twin wires = 47
starts from component Cmp_EVNt_011_00125 (type = AM, I/O ports = 180/180) at node 165647
runs along 2 edges at a total Lgth of 15,3653190840311 towards the node 165637
cb1_EVNt_011_00271
network = EVNt_011
cable type id = 2 (nr. twin wires = 50)
nr. activated twin wires = 47
starts from identical downstream cable at node 165637
runs along 8 edges at a total Lgth of 107,499637948695 towards the node 147939
cb1_EVNt_011_00293
network = EVNt_011
cable type id = 2 (nr. twin wires = 50)
nr. activated twin wires = 47
starts from identical downstream cable at node 147939
runs along 26 edges at a total Lgth of 322,665214718288 towards the node 173753
cb1_EVNt_011_00294
network = EVNt_011
cable type id = 2 (nr. twin wires = 50)
nr. activated twin wires = 47
starts from identical downstream cable at node 173753
runs along 34 edges at a total Lgth of 426,075484832488 towards the node 136352
cb1_EVNt_011_00324
network = EVNt_011
cable type id = 2 (nr. twin wires = 50)
nr. activated twin wires = 47
starts from identical downstream cable at node 136352
runs along 28 edges at a total Lgth of 330,44026007641 towards the node 172012
cb1_EVNt_011_00327
network = EVNt_011
cable type id = 3 (nr. twin wires = 180)
nr. activated twin wires = 74
starts from component Cmp_EVNt_011_00164 (type = AM, I/O ports = 180/180) at node 172012
runs along 14 edges at a total Lgth of 113,404926941058 towards the node 148210
cb1_EVNt_011_00347
network = EVNt_011
cable type id = 3 (nr. twin wires = 180)
nr. activated twin wires = 74
starts from identical downstream cable at node 148210
runs along 1 edges at a total Lgth of 0,0293339025325927 towards the node 165770
cb1_EVNt_011_00360
network = EVNt_011
cable type id = 3 (nr. twin wires = 180)
nr. activated twin wires = 84
starts from component Cmp_EVNt_011_00175 (type = AM, I/O ports = 680/680) at node 165770
runs along 13 edges at a total Lgth of 238,674160983893 towards the node 148217
cb1_EVNt_011_00369
network = EVNt_011
cable type id = 3 (nr. twin wires = 180)
nr. activated twin wires = 87
starts from component Cmp_EVNt_011_00180 (type = AM, I/O ports = 680/680) at node 148217
runs along 4 edges at a total Lgth of 52,6785112269735 towards the node 86622
cb1_EVNt_011_00379
network = EVNt_011
cable type id = 3 (nr. twin wires = 180)
nr. activated twin wires = 89
starts from component Cmp_EVNt_011_00185 (type = AM, I/O ports = 680/680) at node 86622
runs along 19 edges at a total Lgth of 287,402363606777 towards the node 148289
cb1_EVNt_011_00405
network = EVNt_011
cable type id = 3 (nr. twin wires = 180)
nr. activated twin wires = 89
starts from identical downstream cable at node 148289
runs along 23 edges at a total Lgth of 225,607626481433 towards the node 165803
cb1_EVNt_011_00418
network = EVNt_011
cable type id = 3 (nr. twin wires = 180)
nr. activated twin wires = 89
starts from identical downstream cable at node 165803
runs along 0 edges at a total Lgth of 0.0 towards the node 165803
cb1_ZVnt_000_00148
network = ZVnt_000
cable type id = 3 (nr. twin wires = 180)
nr. activated twin wires = 98
starts from component Cmp_ZVnt_000_00074 (type = KV, I/O ports = 680/680) at node 165803
runs along 15 edges at a total Lgth of 95,0811402201805 towards the node 116646
cb1_ZVnt_000_00283
network = ZVnt_000
cable type id = 3 (nr. twin wires = 180)
nr. activated twin wires = 98
starts from identical downstream cable at node 116646
runs along 182 edges at a total Lgth of 1459,68580934743 towards the node 159676
cb1_ZVnt_000_00291

```

```

network = ZVnt_000
cable type id = 4 (nr. twin wires = 680)
nr. activated twin wires = 524
starts from component Cmp_ZVnt_000_00140 (type = AM, I/O ports = 1800/1800) at node 159676
runs along 49 edges at a total Lgth of 342,197163229974 towards the node 168896
cb1_ZVnt_000_00308
network = ZVnt_000
cable type id = 4 (nr. twin wires = 680)
nr. activated twin wires = 665
starts from component Cmp_ZVnt_000_00145 (type = AM, I/O ports = 1800/1800) at node 168896
runs along 55 edges at a total Lgth of 202,148249936845 towards the node 146947
cb1_ZVnt_000_00325
network = ZVnt_000
cable type id = 4 (nr. twin wires = 680)
nr. activated twin wires = 665
starts from identical downstream cable at node 146947
runs along 0 edges at a total Lgth of 0.0 towards the node 146947
cb1_AKnt_00076
network = AKnt
cable type id = 4 (nr. twin wires = 680)
nr. activated twin wires = 665
starts from identical downstream cable at node 146947
runs along 69 edges at a total Lgth of 293,373229621701 towards the node 76374
cb1_AKnt_00083
network = AKnt
cable type id = 5 (nr. twin wires = 1800)
nr. activated twin wires = 1295
starts from component Cmp_AKnt_00035 (type = AM, I/O ports = 1800/1800) at node 76374
runs along 33 edges at a total Lgth of 56,1762232680189 towards the node 137656
cb1_AKnt_00099
network = AKnt
cable type id = 5 (nr. twin wires = 1800)
nr. activated twin wires = 1295
starts from identical downstream cable at node 137656
runs along 0 edges at a total Lgth of 0.0 towards the node 137656
visualize computed segments ...

```

Die Abbildung 21 zeigt das gesamte emulierte Cu-Netzwerk.

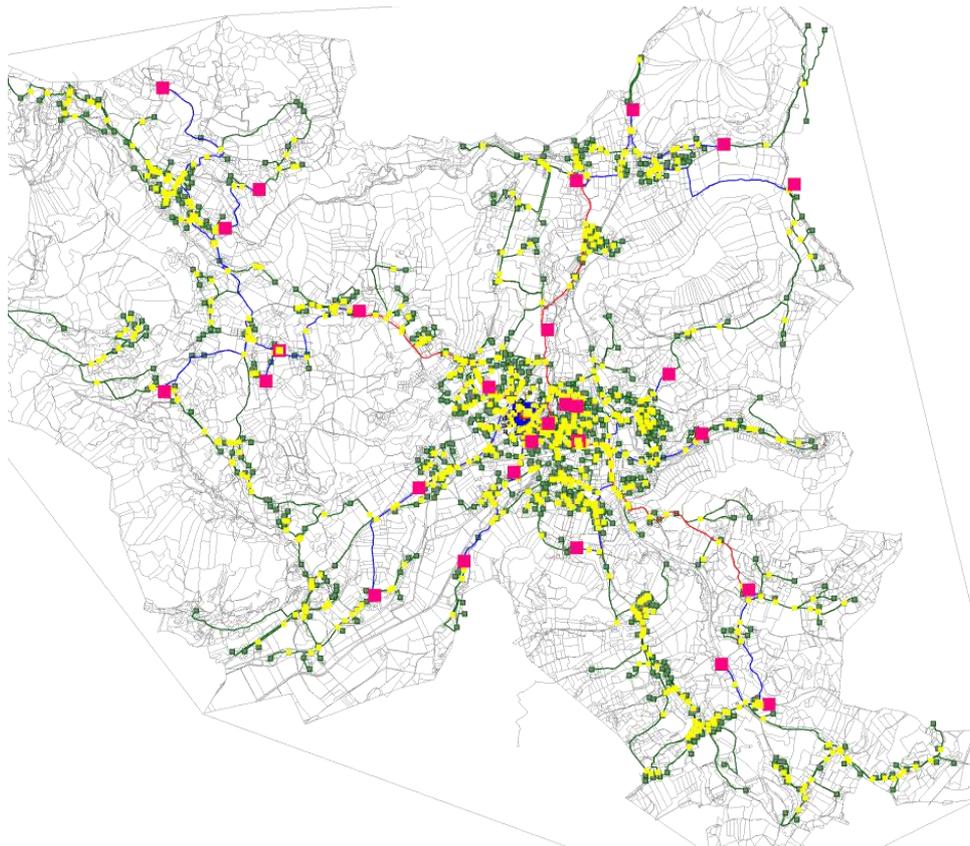


Abbildung 21. Emuliertes Cu-Netzwerk für den Anschlussbereich 04267-02 (Feldkirchen/Kärnten). Die grünen, blauen und roten Linien symbolisieren Cu-Kabeltrassen der einzelnen Netzwerk-Hierarchien. Die grünen Quadrate sind Positionen von Kabelauslässen. Die gelben Quadrate markieren Muffen und die magenta Quadrate sind Standorte von Kabelverteilern.

3.2 Der Leerrohr-Generator

3.2.1 Spezifikation, Workflow und Steuerung

Der Leerrohr-Generator emuliert Leerrohr-Infrastruktur auf Basis einer gegebenen Cu-Netzwerkinfrastruktur. Diese Infrastruktur ist in einem Netzwerkgraphen abgebildet – vergleiche Abschnitt 2 bzw. Abschnitt 3.1.

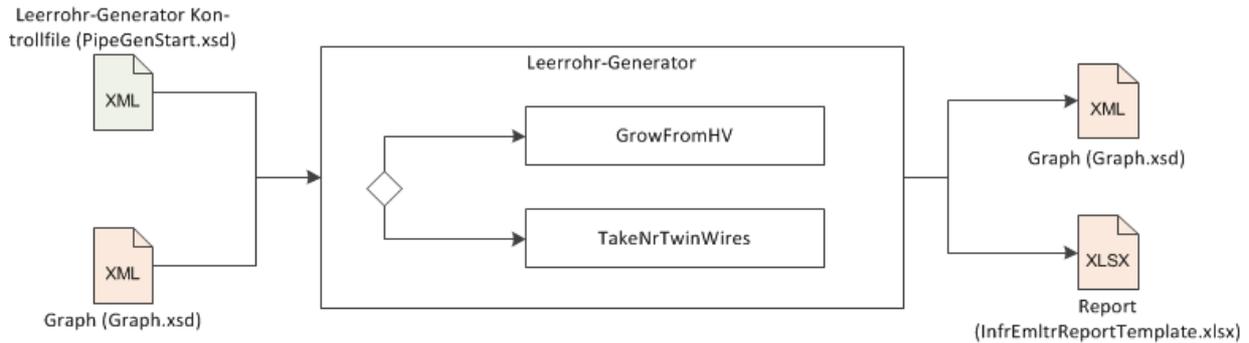


Abbildung 22. Workflow des Leerrohr-Generators.

Unter einem Leerrohr (oder Restrohr) verstehen wir eine vorhandene Verrohrung, in die ein oder mehrere Einhüllrohre (Duct) eingebracht (eingezogen, eingeblasen etc.) werden können. Für die weitere Modellierung gehen wir von einem Standardrohr mit einem Durchmesser von ρ_{max} Millimetern aus. Die Gesamt-Kupferbreite b_{Cu} auf einer Kante des Netzwerkgraphen wird über die Summe der Doppeladern-Paare mal dem entsprechenden Adern-Querschnitt berechnet. Die Gesamt-Leerrohr-Kapazität (Gesamt-Restrohr-Kapazität) ρ_{ges} einer Kante wird nun über die Annahme bestimmt, dass die Gesamt-Kupferbreite b_{Cu} bereits einen p_{Cu} -Anteil aller auf der Kante vorhandenen Rohre belegt. Wir stellen dabei jedoch sicher dass ρ_{ges} einen gegebenen Maximalwert von $\rho_{Sum,max}$ nicht überschreitet. Damit gilt:

$$\rho_{ges} = \min\{b_{Cu}(1/p_{Cu} - 1), \rho_{Sum,max}\}$$

Die Abbildung 23 zeigt die Vorgehensweise schematisch. Wir bestimmen nunmehr so viele Leerrohre, wie der angenommene Durchmesser ρ_{max} in ρ_{ges} enthalten ist; diese verfügen dann auch über die entsprechende Leerrohr-Kapazität (Restrohr-Kapazität). Der restliche Anteil von b_{ges} wird einem Leerrohr mit entsprechend verringerter Kapazität zugewiesen. Siehe auch Abbildung 24 für ein Daten-numerisches Beispiel.

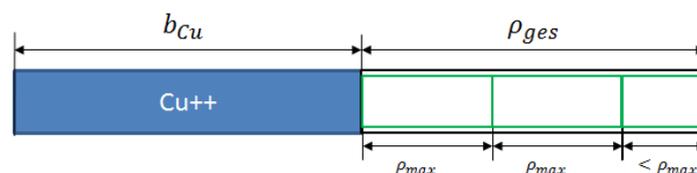


Abbildung 23. Bestimmung der Gesamt- Leerrohr-Kapazität einer Kante ($p_{Cu} \approx 0.6$) sowie die der Kapazitäten der einzelnen Leerrohre.

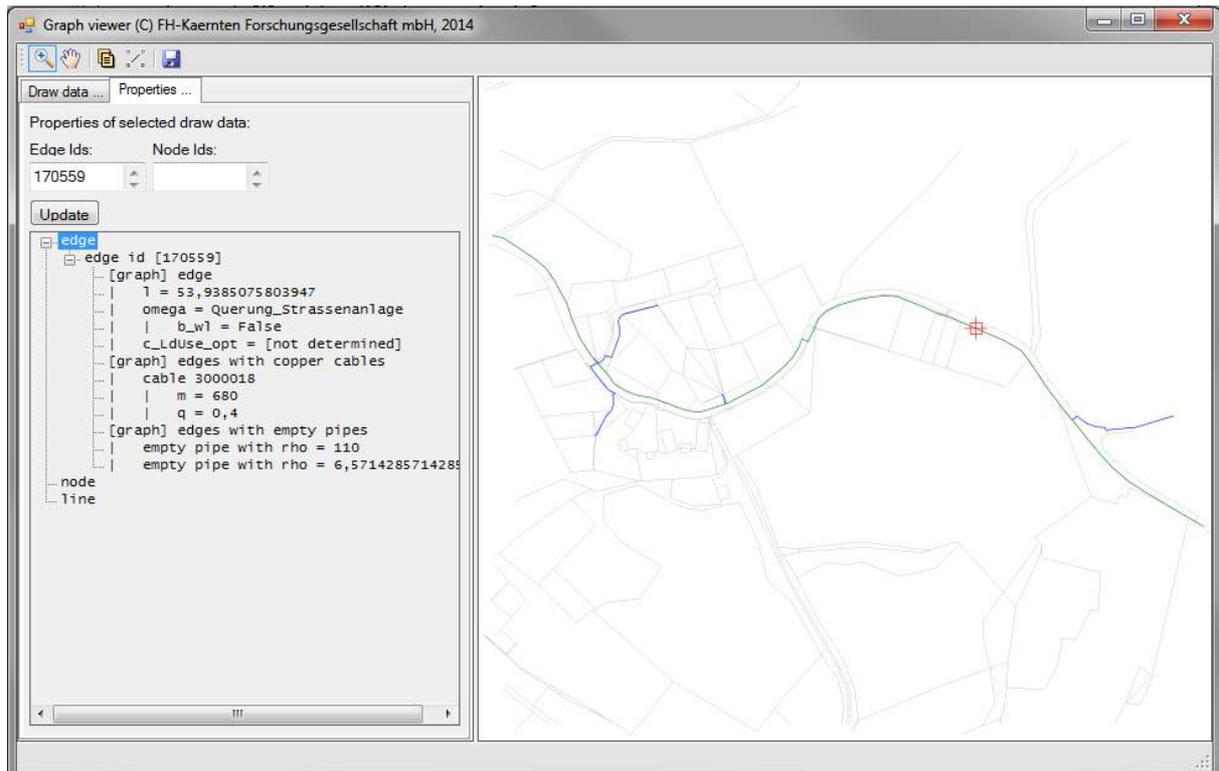


Abbildung 24. Numerisches Beispiel zur Bestimmung von Leerrohren und deren Kapazität. Wir betrachten die Kante mit der Bezeichnung 170559. Entlang dieser ist ein Cu-Kabel mit 680 Doppeladern mit Adern-Querschnitt 0.4 Millimeter installiert. Damit gilt $b_{Cu} = 272$ Millimeter. Unter der Annahme $p_{Cu} = 0.7$ folgt, dass $\rho_{ges} = 116.57$ Millimeter. Wenn wir nun $\rho_{max} = 110$ Millimeter annehmen, so wird ein Leerrohr mit voller Kapazität und eines mit Kapazität von 6.57 Millimeter berücksichtigt.

Die Auswahl der Kanten des Netzwerkgraphen, die mit Leerrohr-Infrastruktur belegt werden, erfolgt optional über eines der beiden Modelle `GrowFromHV` oder `TakeNrTwinWires` - siehe Abschnitte 3.2.2 und 3.2.3. Die Auswahl wird über das Leerrohr-Generator Kontrollfile gesteuert.

3.2.2 Das Modell `GrowFromHV`

Wir betrachten die Kupfer-Gesamtlänge L_{tot} der Netzwerkinstanz. Diese errechnet sich aus der Summe der Längen aller Kanten des Graphen, auf denen Cu-Infrastruktur existiert. Das Modell installiert nun ausgehend vom Hauptverteiler-Standort solange Leerrohr-Infrastruktur auf Kanten mit Cu-Infrastruktur bis die Summe deren Länge einem p -fachen Anteil von L_{tot} entspricht. Dabei werden Kanten je nach Anzahl der installierten Doppeladern priorisiert.

Optional soll die oben beschriebene Vorgehensweise auch auf „Teilbereiche“ der gegebenen Cu-Infrastruktur anwendbar sein. Wir greifen dabei auf die Methodik des Cu-Generators zurück: die Bezeichner der emulierten Cu-Kabel sind aufsteigend nach Netzwerk-Hierarchie vergeben, wobei die jeweiligen Obergrenzen pro Hierarchie standardisiert sind. Wir definieren daher einen minimalen Kabelbezeichner c_{min} und vernachlässigen alle Kabel, deren Bezeichner geringer ist. Dies erlaubt das Reduzieren der Input-Cu-Infrastruktur auf die entsprechenden Hauptversorgungsäste (z.B. nur Amtskabelnetz oder Amtskabel- und Zwischen-Verteilkabelnetz).

Wir gehen anhand der folgenden Prozedur vor:

1. F sei die Menge aller Kanten mit mindestens einem Cu-Kabel mit Bezeichner größer oder gleich c_{min} .
2. Alle Kanten in F sind unmarkiert.
3. Initialisiere eine leere Priority-Queue Q (Priorität wird dabei im Sinne von Penalties definiert; i.e. je geringer der Penalty, desto höher wird die Priorität des Elementes bewertet).
4. Füge in Q eine beliebige Kante, die inzident zum Hauptverteiler-Standort ist, mit Priorität $1/b_{Cu}$ ein.
5. Initialisiere die aktuelle Länge $L = 0$.
6. Solange Q nicht leer ist und $L < pL_{tot}$ gilt, führe aus:
 - a. Entnehme die Kante e aus Q ; die Länge von e sei mit l gegeben.
 - b. Bestimme die Gesamt-Leerrohr-Kapazität ρ_{ges} der Kante e .
 - c. Bestimme die Leerrohre und deren Kapazitäten gemäß der Parameter p_{Cu} , ρ_{max} und $\rho_{sum,max}$ wie in Abschnitt 3.2.1 beschrieben
 - d. Update $L_{tot} = L_{tot} + l$.
 - e. Markiere die Kante e .
 - f. Für alle Kanten f in F , die zur Kante e inzident, unmarkiert und nicht in Q enthalten sind, führe aus: füge f in Q mit Priorität entsprechender Priorität $1/b_{Cu}$ ein.

Die Steuerung der entsprechenden Modell-Parameter erfolgt über das Leerrohr-Generator-Kontrollfile. Die Abbildung 25 zeigt ein Beispiel zur oben beschriebenen Vorgehensweise.

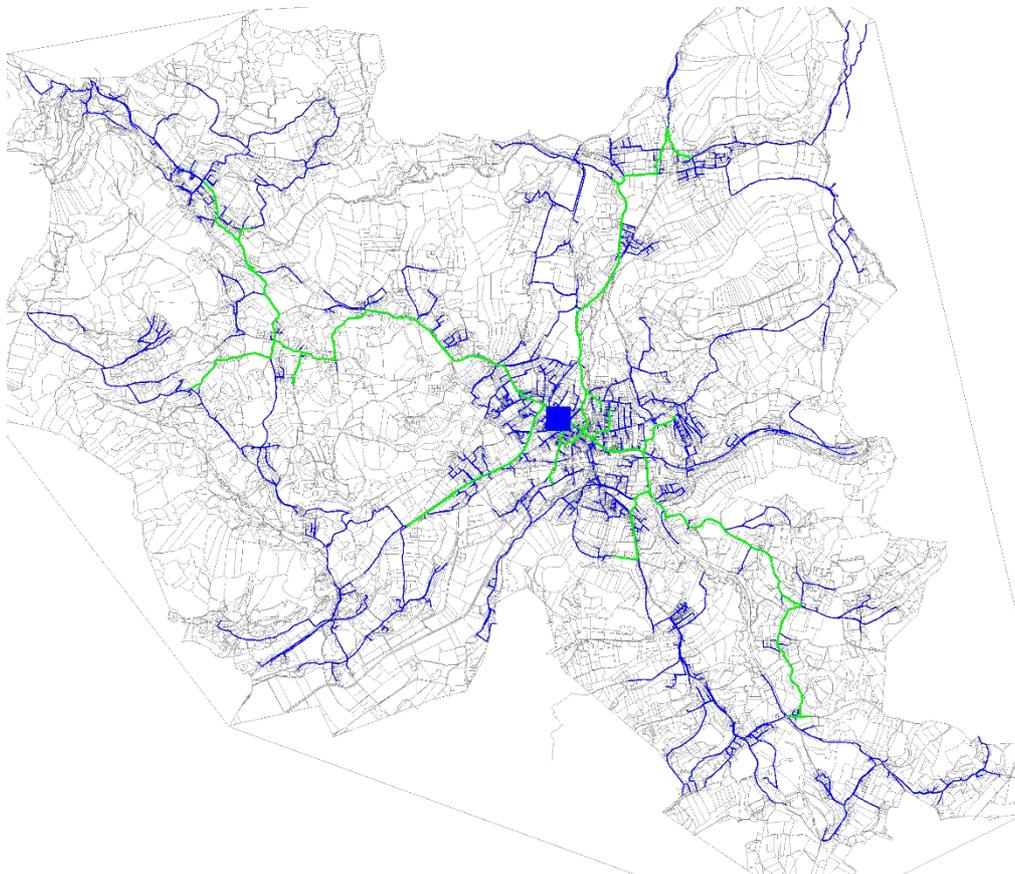


Abbildung 25. Emulierte Leerrohr-Infrastruktur (grün) auf Basis der emulierten Cu-Infrastruktur (blau) gemäß Abbildung 21. Es wurde das Modell *GrowFromHV* mit der folgenden Parametrierung angewendet: c_{min} wurde

derart gewählt, dass nur Kanten, die Cu-Infrastruktur der Hierarchien Amtskabelnetz und Zwischen-Verteilkabelnetz beinhalten, betrachtet werden. Daraus folgt eine Kupfer-Gesamtlänge $L_{\text{tot}} = 37334,23$ [Meter]. $p = 0.7$; d.h. wir installieren ausgehend vom Hauptverteiler-Standort solange Leerrohre bis 70% der Kupfer-Gesamtlänge erreicht wird.

3.2.3 Das Modell TakeNrTwinWires

Wir betrachten nunmehr alle Kanten des Netzwerkgraphen, die über Cu-Infrastruktur verfügen. Wenn entlang einer Kante eine Kombination von Cu-Kabeln installiert wurde, so dass die Summe der darin enthaltenen Cu-Doppeladern größer als ein vorgegebener Parameter t_{min} ist, dann wird auf dieser Kante Leerrohr-Infrastruktur installiert. Die Anzahl und Dimensionierung der Leerrohre erfolgt dabei wiederum auf Basis der Parameter p_{Cu} , ρ_{max} und $\rho_{\text{Sum,max}}$ gemäß Abschnitt 3.2.1. Die Steuerung der entsprechenden Modell-Parameter erfolgt über das Leerrohr-Generator-Kontrollfile. Die Abbildung 26 zeigt ein entsprechendes Beispiel.

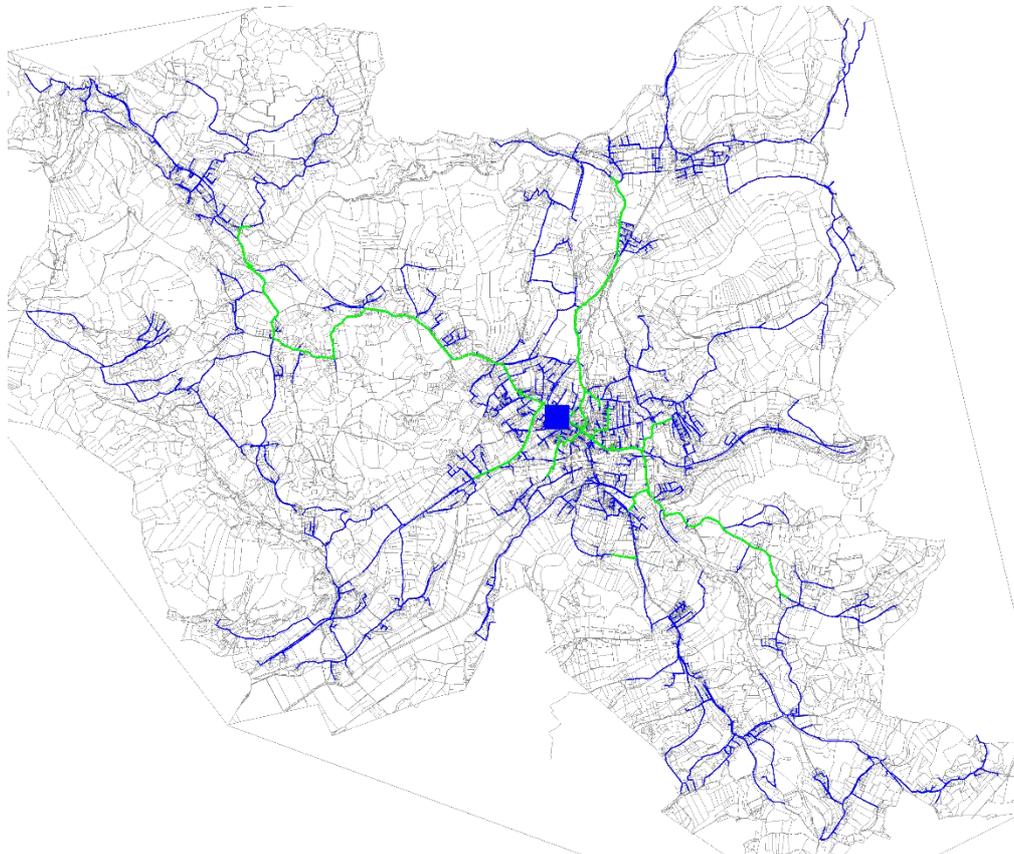


Abbildung 26. Emulierte Leerrohr-Infrastruktur (grün) auf Basis der emulierten Cu-Infrastruktur (blau) gemäß Abbildung 21. Es wurde das Modell *TakeNrTwinWires* mit der folgenden Parametrierung angewendet: $t_{\text{min}} = 500$; wir installieren Leerrohr-Infrastruktur auf allen Kanten, die über mindestens 500 Cu-Doppeladern verfügen (dies sind in diesem Fall ca. 9% aller Kanten mit Cu-Infrastruktur).

3.3 Der Fiber-Generator

Der Fiber-Generator emuliert auf Basis einer bestehenden Cu-Infrastruktur (siehe Abschnitt 3.1) und einer optional bestehenden Leerrohr-Infrastruktur (siehe Abschnitt 3.2) eine bestehende Glasfaser-Infrastruktur. Wir setzen dazu den in Abschnitt 4 beschriebenen NGA Solver ein, wobei wir ein reines FTTb-Szenario betrachten und die FTTb-Quota über einen Parameter im Kontrollfile des Fiber-

Generators gesteuert wird. Das Modell liefert uns eine entsprechende Glasfasertrassierung, wobei wir für jede Kante dieser Trassierung mit f_{exist} die Anzahl der existierenden Fasern kennen. Diese werden als bereits beschaltete Fasern betrachtet. Mit einem parametrierbaren Reservefaktor $r \in (0,1)$ bestimmen wir einen prozentuellen Overhead $d = \lceil f_{exist}r \rceil$ zu den existierenden Fasern und betrachten diese als nutzbare Fasern. Damit ergibt eine Gesamt-anzahl an $f = f_{exist} + d$ Fasern pro Kante.

Die Abbildung 27 zeigt ein exemplarisches Ergebnis.

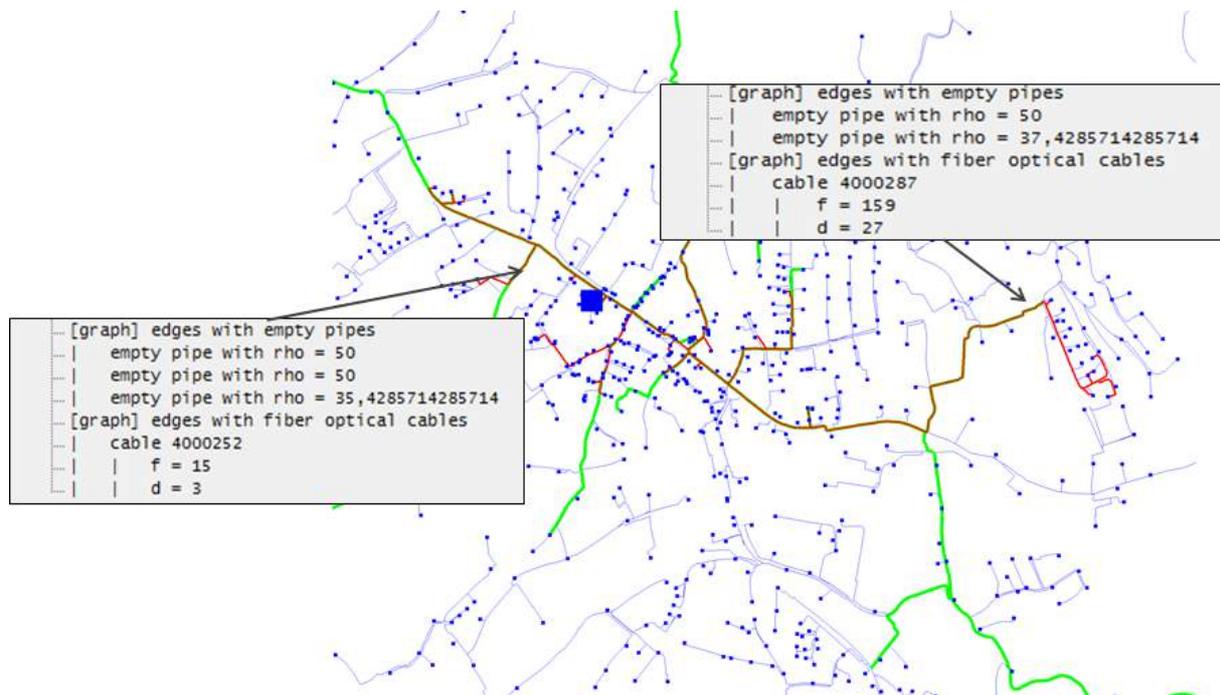


Abbildung 27. Ergebnis des Fiber-Generators auf Basis der Daten gemäß Abbildung 26. Es wurde eine FTtb-Quota von 20% gewählt. Kanten mit emulierter Glasfaser-Infrastruktur sind rot dargestellt.

3.4 Betriebsmodi des Infrastruktur-Emulator

Der Emulator unterstützt die folgenden Betriebsmodi – siehe dazu auch den in Abbildung 1 Workflow. Die Auswahl des Modus erfolgt im Emulator-Kontrollfile.

Modus	Cu-Generator	Leerrohr-Generator	Fiber-Generator
Cu-Emulation	X		
Cu-Leerrohr-Emulation	X	X	
Cu-Fiber-Emulation	X		X
Gesamt-Emulation	X	X	X

4 Der NGA-Solver

4.1 Spezifikation, Daten und Steuerung

4.1.1 Spezifikation Workflow, Input- und Output-Daten

Der NGA Solver simuliert die Erweiterung einer existierenden Festnetz-Infrastruktur unter dem Prinzip der Kosten-Optimierung. Die Input-Daten des Solver sind in Form eines Netzwerkgraphen gegeben; dieser beinhaltet die folgenden teilweise optionalen Informationen:

- Cu-Netzwerk zur Versorgung aller im Graphen enthaltenen Kabelauslässe. Ein entsprechendes Netzwerk kann mit dem Cu-Generator (siehe Abschnitt 3.1) emuliert werden. Die Existenz eines derartigen Netzwerkes ist verpflichtend für den Betrieb des NGA-Solver.
- Leerrohr-Netzwerk und Glasfaser-Infrastruktur. Diese Infrastrukturen können jeweils mit dem Leerrohr- und dem Fiber-Generator (siehe Abschnitte 3.2 und 3.3) emuliert werden und sind für den Betrieb des NGA-Solver nicht zwingend notwendig.

Die Solver-Spezifikation: unter Berücksichtigung der gegebenen Kosten- und Hardware-Parameter führe zu geringsten Kosten aus:

- Platziere eine Menge von Access-Remote-Units (ARUs, Outdoor-DSLAMs), so dass ein vorgegebener Prozentsatz an potentiellen Einheiten über mit einer geforderten Übertragungsgüte über das bestehende Cu-Netzwerk versorgt werden können. Als Maß für die Übertragungsgüte werden drei Optionen unterstützt: Maximaldistanz, Maximaldämpfung sowie Mindestbitrate unter Berücksichtigung des Cu-Versorgungspfades zwischen ARU-Position und Kabelauslass und der nachfolgenden Länge der Teilnehmer-Anschlussleitung (TASL-Länge) . Für den Hauptverteiler wird isoliert betrachtet; die Kabelauslässe die direkt vom Hauptverteiler aus mit einer eigens vorgegebenen Übertragungsgüte versorgt werden, bilden den HV-Kreis. Siehe dazu auch Abschnitt 4.2.1.1.
- Bestimme eine Erweiterung des optischen Netzes um alle platzierten ARUs mit Glasfaser zu versorgen. Wir sprechen in diesem Zusammenhang von einem FTTc-Szenario und der zu erreichende Prozentsatz an Kabelauslässen wird als FTTc-Quota bezeichnet.
- Versorge einen vorgegebenen Prozentsatz potentiellen Einheiten direkt mit Glasfaser; wir sprechen von einem FTTb-Szenario bzw. einer entsprechenden FTTb-Quota.
- Versorge alle vorgegebenen B2B-Kunden- und BTS-Kunden direkt mit Glasfaser.
- Nutze die bestehende Leerrohr- und Glasfaser-Infrastruktur zur Errichtung bzw. Erweiterung des Glasfasernetzes, wenn sich dies von den Kosten als vorteilhaft erweist.

4.1.2 Parameter

Der NGA-Solver wird über ein Kontrollfile gesteuert; wir beschreiben nachfolgend die wesentlichen Einstellungen:

<i>Parametergruppe</i>	<i>Modell-Parameter</i>
InputFiles	Legt die Input-Files fest (Daten und Parameter)
OutputFiles	Legt die Output-Files fest (Daten und Report)
q_FTTb	Bestimmt die FTTb-Quota
q_FTTc	Bestimmt die FTTc-Quota

<code>q_supply</code>	Definiert die Meßgröße für die Bestimmung der Übertragungsgüte für die Versorgung von Kabelauslässen über ARUs im FTTC-Szenario; unterstützt werden Versorgungsdistanz, Signal-Dämpfung und erzielte Übertragungsrate zwischen ARU und versorgtem Kabelauslass
<code>l_TASL</code>	Festlegung der TASL-Länge
<code>t_max</code>	Maximale Solver-Laufzeit in CPU-Sekunden

Die Kosten-Parameter für den Solver sind:

<i>Parameter</i>	<i>Bedeutung</i>
<code>c_Omega</code>	Verlegekosten (Tiefbaukosten) in EUR, die bei der Errichtung neuer Infrastruktur pro Landnutzungs-kategorie und Laufmeter anfallen
<code>c_Act</code>	Aktivierungskosten pro Laufmeter für bestehende Infrastruktur; Kosten, die für die Nutzung pro existierender Faser und pro existierendem Leerrohr pro Meter anfallen.
<code>c_ARU_install</code>	Kosten für bauliche Maßnahmen bei der Errichtung eines ARU auf einem Knoten mit keiner Infrastruktur
<code>c_ARU_infrastructure</code>	Kosten für bauliche Maßnahmen bei der Errichtung eines ARU auf einem Knoten mit Infrastruktur; es werden je nach Infrastruktur-Typ unterschiedliche Kostensätze festgelegt

Die Hardware-Parameter für den Solver sind:

<i>Parameter</i>	<i>Bedeutung</i>
<code>I_ARU</code>	Typen von ARUs; je Typ sind gegeben: Bezeichner, Anzahl an Input- und Outputports, Stückkosten, Auflistung der Knoten-Infrastrukturen, auf denen der Typ errichtet werden darf
<code>I_SPlt</code>	Typen von optischen Splittern; je Typ sind gegeben: Bezeichner, Anzahl an Input- und Outputports, Stückkosten
<code>I_Mf1</code>	Typen von Glasfasermuffen; je Typ sind gegeben: Bezeichner, Anzahl an Input- und Outputports, Stückkosten
<code>I_Duct</code>	Typen von Einhüllrohren (für Glasfaserkabel, Duct); je Typ sind gegeben: Bezeichner, Anzahl der Kabel für die der Typ geeignet ist, Kabelart für die der Duct geeignet ist, Festlegung ob der Duct für die Einbringung in ein Leerrohr geeignet ist oder direkt in einen Grabungskünette eingebracht wird, benötigte Restrohrbreite im Millimeter für die Einbringung in einem Leerrohr, Stückkosten
<code>I_Cb1</code>	Typen von Glasfaserkabeln; je Typ sind gegeben: Bezeichner, Anzahl der Fasern, Kabelart (Mini- oder Micro-Kabel), maximale durchgängige Verlegelänge, Stückkosten
<code>f_BTS</code>	Anzahl der Versorgungsfasern pro BTS
<code>f_B2B</code>	Anzahl der Versorgungsfasern pro B2B-Kunden

4.1.3 Workflow

Der NGA-Solver besteht aus den folgenden Sub-Modellen:

- ARU-Positionierungsmodell. Berechnet die Anzahl an ARUs sowie deren Standorte, so dass eine entsprechende FTTC-Quota zur vorgegebenen Versorgungsgüte erreicht wird.

- Trassierungsmodell und Hardwaremodell Errechnet einerseits die Trassierung zur Versorgung von gegebenen ARU-Standorten, B2B-Kunden- und BTS-Standorten und andererseits die physikalischen Struktur (Glasfaserkabel und optische Komponenten) zur Versorgung der Anschlussobjekte (ARUs, B2B-Kunden, BTS) auf Basis einer gegebenen Trassierung.

Die beiden Sub-Modelle werden sukzessive in iterativer Abfolge solange betrieben ein Abbruchkriterium erreicht wird. Dies sind optional:

- Solver arbeitet bis zu einem vorgegebenen Zeitlimit.
- Solver bricht vor vorgegebenem Zeitlimit ab, wenn er erkennt, dass keine Ergebnisverbesserung mehr möglich ist; ansonsten arbeitet er bis zum entsprechenden Limit.

Die Abbildung 28 zeigt den Workflow des NGA-Solver.

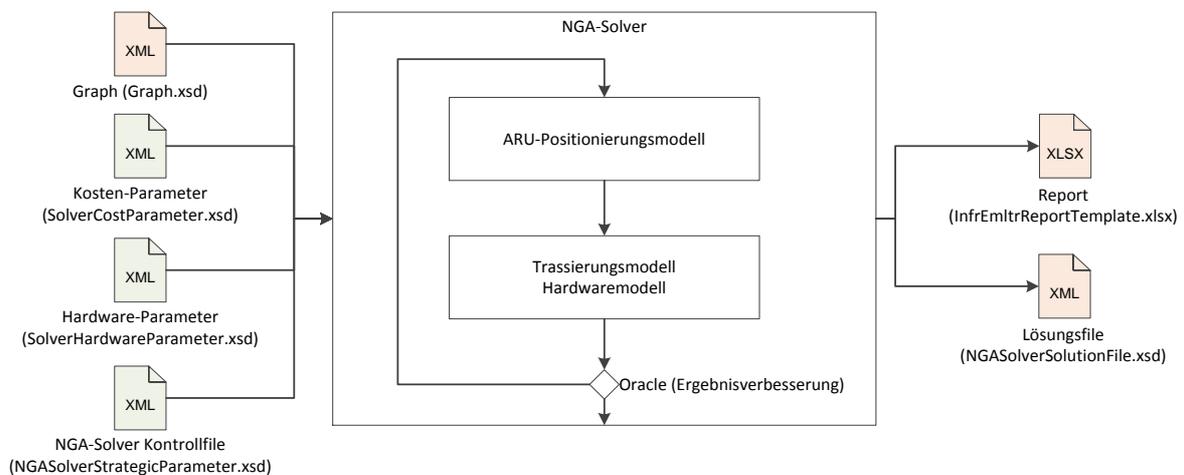


Abbildung 28. Workflow des NGA-Solver.

4.2 Sub-Modelle

4.2.1 Das ARU-Positionierungsmodell.

4.2.1.1 Zuordnung von Kabelauslässen zu ARUs

Wir betrachten einen Netzwerkgraphen mit Kabelauslässen und nehmen an dass jeder Kabelauslass durch einen eindeutig beschriebenen Cu-Versorgungspfad (durchgängiger Pfad von Cu-Kabeln bis zum Hauptverteiler-Standort) versorgt wird – vergleiche Abschnitt 3.1.5.4. Man beachte, dass jedes Cu-Versorgungskabel eindeutig einer Kante des Graphen zugewiesen ist. Daraus folgt ein (topologischer) Versorgungspfad (Versorgungstrassierung) für jeden Kabelauslass.

Für einen Kabelauslass bezeichnen wir alle jene Knoten, die inzident zu einer Kante der Versorgungstrassierung sind als mögliche ARU-Position zur Versorgung des Kabelauslass. Die Gesamtmenge der möglichen ARU-Positionen ist die Menge der möglichen ARU-Positionen über alle Kabelauslässe. Siehe Abbildung 29 für eine schematische Darstellung.

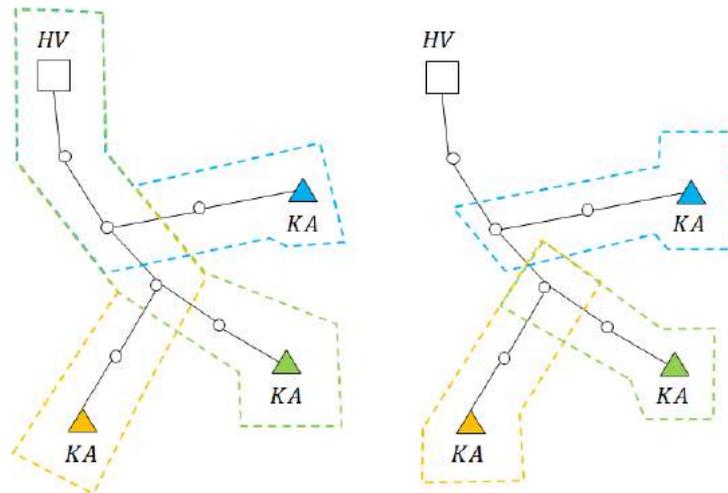


Abbildung 29. Schematisch Darstellung von möglichen- und zulässigen ARU-Positionen. Wir betrachten drei Kabelauslässe und ihre Versorgungsstrassierungen ausgehend vom HV. Die zu den Trassenkanten inzidenten Knoten sind durch die Kreise dargestellt. In der linken Abbildung sind für die farblich codierten Kabelauslässe die jeweils möglichen ARU-Positionen entsprechend eingerahmt. Wir nehmen an dass jede Kante die Euklidische Länge Eins hat und legen als Maß für die Übertragungsgüte die Maximaldistanz von Zwei an; daraus resultieren die zulässigen ARU-Positionen wie im rechten Bild dargestellt.

Aus den möglichen ARU-Positionen eines Kabelauslasses werden auf Basis einer geforderten Übertragungsgüte zulässigen ARU-Positionen ausgewählt. Es werden dabei drei Optionen, die wir als Maß der Übertragungsgüte bezeichnen, unterstützt:

- Maximaldistanz zwischen einer ARU-Position und einem Kabelauslass. Darunter verstehend wir eine maximale (Euklidische) Länge ausgehend vom Kabelauslass entlang der Versorgungsstrassierung.
- Maximaldämpfung ausgehend von einer ARU-Position bis zu einem Kabelauslass. Auf Basis der (Euklidischen) Länge zwischen dem Kabelauslass und einer möglichen ARU-Position sowie unter Berücksichtigung der Adern-Querschnitte der auf diesem Teilstück installierten Cu-Versorgung wird die entsprechende Signal-Dämpfung berechnet; siehe dazu u.A. (Riggert, Martin, & Lutz, 2014), (Ford & Lew, 1998) (NN, 2015).
- Mindestdatenrate für die Signal-Übertragung von einer ARU-Position zu einem Kabelauslass bzw. der dahinter liegenden Teilnehmeranschlusseinrichtungen. Auf Basis der bekannten Dämpfung von einer möglichen ARU-Position bis zu einem Kabelauslass bzw. der dahinterliegenden Teilnehmeranschlusseinrichtungen (Cu-Länge und Cu-Querschnitt wird durch Parameter festgelegt) sowie der Annahme von übertragungstechnischen Parametern wird die entsprechende Daten-Übertragungsrate berechnet; siehe dazu u. A. (Riggert, Martin, & Lutz, 2014), (Ford & Lew, 1998) (NN, 2015).

Sowohl Dämpfungs- als auch Bitratenberechnung sind in einem Modell zusammengefaßt; wir bezeichnen dieses als Bitratenmodell.

Damit lässt sich für jeden Kabelauslass eine Menge von zulässigen ARU-Positionen errechnen. Die Gesamtmenge der zulässigen ARU-Positionen ist wiederum die Menge der zulässigen Positionen aller im Graphen enthaltenen Kabelauslässe. Siehe wiederum Abbildung 29 für eine schematische Darstellung von zulässigen ARU-Positionen.

4.2.1.2 Auswahl von ARU-Standorten und FTTC-versorgten Kabelauslässen.

Die Bestimmung einer Kosten-optimalen Teilmenge von zulässigen ARU-Positionen aus der Gesamtmenge der zulässigen ARU-Positionen führt zu einer Liste von ARU-KA Zuweisungen. Die Summe der potentiellen Einheiten über alle derart gelisteten FTTC-versorgten Kabelauslässe, muß der geforderten FTTC-Quota genügen. Weiters ist das Prinzip der Kabeldisjunktheit zu beachten: der Cu-Versorgungspfad (i.e. die Menge der Cu-Versorgungskabel) von zwei Kabelauslässen, die von unterschiedlichen ARU-Positionen aus versorgt werden, muß disjunkt sein. Die Kosten einer ARU-Position wird über die Anlaufkosten (Trassierungskosten bis zum Hauptverteiler-Standort, Kosten für bauliche Maßnahmen für die ARU-Errichtung) bestimmt. Siehe Abbildung 30 für ein entsprechendes Beispiel.

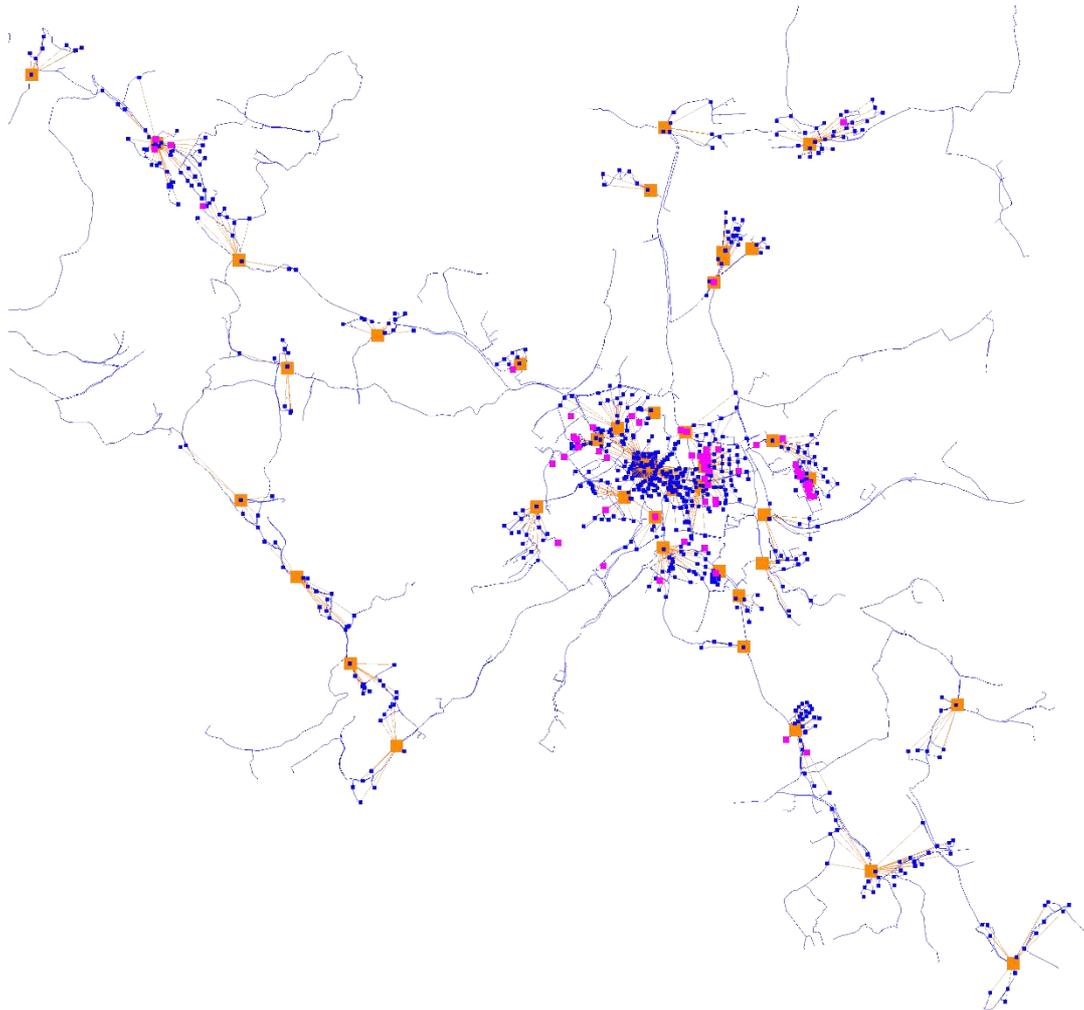


Abbildung 30. Anschlussbereich 04267-02 (Feldkirchen/Kärnten). Auswahl von ARU-Positionen (orange Quadrate) mit entsprechenden Zuweisungen von Kabelauslässen (symbolisiert durch die ausgehenden orangefarbenen Strahlen.) derart, dass eine FTTC-Quota von 60% erreicht wird. Das Cu-Netzwerk ist in blau dargestellt, die Knoten mit Kabelauslässen sind als blaue Quadrate dargestellt. Zusätzlich betrachtet wurde eine 20% FTTB-Quota – die Kabelauslässe (bzw. deren Positionen) die direkt mit Glasfaser versorgt werden sind durch die Magenta-färbigen Quadrate gekennzeichnet.

4.2.1.3 Auswahl von FTTB-versorgten Kabelauslässen

Die Auswahl von FTTB-versorgten Kabelauslässen, derart dass die Summe der entsprechend zugeordneten potentiellen Einheiten eine geforderte FTTB-Quota erfüllt, erfolgt synergetisch zur

Bestimmung der ARU-Positionen. Nachdem ARU-Positionen ohnehin mit Glasfaser zu versorgen sind, ist eine „hinreichende Nähe“ von FTTb-Anschlussobjekten zu diesen Positionen im Sinne der Kostenminimierung als vorteilhaft zu erwarten.

4.2.2 Das Trassierungs-und Hardwaremodell

Es gilt die folgenden Kosten zu minimieren:

- Verlegekosten. Diese Kosten fallen auf einer Kante an, wenn diese in die Trassierung aufgenommen wird und (neben der Nutzung von Leerrohren oder existierenden freien Fasern) zusätzliche Netzwerkkomponenten installiert werden. Die Kosten werden durch die Kantenkosten in Analogie zu Abschnitt 3.1.4.1 bestimmt.
- Aktivierungskosten. Diese Kosten fallen auf einer Kante an, wenn diese in die Trassierung aufgenommen wird und Leerrohre oder existierende freie Fasern genutzt werden. Die Kosten werden pro Laufmeter und genutzter Komponente summiert.
- Komponentenkosten. Diese ergeben sich aus der Summe der Stückkosten aller in der errechneten physikalischen Struktur enthaltenen Komponenten (Glasfaserkabel, Ducts, ARUs, Glasfasermuffen und optischen Splittern).

Dabei sind die folgenden Nebenbedingungen zu beachten:

- ARUs bestimmter Typen dürfen nur auf Knoten mit bestimmten Infrastrukturen errichtet werden.
- ARUs werden nur auf den gegebenen ARU-Positionen installiert. Pro ARU-Position ist nur eine vorgegebene Maximalanzahl an ARUs zulässig.
- Die Kanten, auf denen physikalische Komponenten installiert bzw. bereits existierende Komponenten genutzt werden (versorgende Kanten) bilden einen kreisfreien- und zusammenhängenden Teilgraphen, der insbesondere alle ARU-Positionen, alle Knoten mit zugewiesenen B2B-Kunden und BTS sowie alle Knoten mit FTTb-versorgten Kabelauslässen enthält.
- Jede ARU-Position ist derart mit ARUs zu bestücken, dass die Summe der Cu-Outputports mindestens gleich groß ist, wie die Summe der potentiellen Einheiten über alle Kabelauslässe, die von dieser Position aus versorgt werden.
- Jeder Knoten mit FTTb-versorgten Kabelauslässen ist derart mit optischen Splittern zu bestücken, dass die Summe der Glasfaser-Outputports mindestens gleich groß ist, wie die Summe der potentiellen Einheiten über alle entsprechenden Kabelauslässe.
- Alle versorgenden Kanten müssen mindestens so viele Fasern besitzen, so dass der Bedarf an Fasern für alle über die Kante versorgten Objekte (ARUs, FTTb-versorgte Kabelauslässe, B2B-Kunden und BTS) gedeckt ist. Der Bedarf wird über die Summe der Inputports von ARUs und optischen Splittern bzw. den für B2B- und BTS-Objekten definierten Parametern (siehe Abschnitt 4.1.2) bestimmt.
- Mini- bzw. Mikrokabel dürfen nur in Mini- bzw. Mikro-Ducts geführt werden. Die entlang einer Kante installierten Mini- und Mikro-Ducts müssen derart dimensioniert sein, dass alle entlang dieser Kante geführten Mini- und Micro-Kabel gefasst werden.
- Mini- und Mikro-Ducts können nur in existierenden Leerrohre eingebracht werden, wenn deren Restrohrdurchmesser ausreichend für die entsprechende Summe der Außendurchmesser der Ducts ist.

- Für Kanten auf denen Ducts installiert werden, deren Gesamtdurchmesser größer ist als die Summe der Restrohrdurchmesser aller existierenden Leerrohre, muss zusätzlich neu verlegt werden.
- Die Anzahl der auf einer Kante aktivierten Fasern ist stets kleiner als die Anzahl der existierenden Fasern.
- Die Summe der (aus Upstream-Richtung) in einen Knoten eingehenden Fasern ist stets größer oder gleich als die Summe aller (in Downstream-Richtung) aus den Knoten ausgehenden Fasern.
- Wenn die Anzahl der Kabel eines Typs, die (aus Upstream-Richtung) in einen Knoten eingehen, nicht gleich der Anzahl der Kabel dieses Typs ist, die (in Downstream-Richtung) den Knoten wieder verlassen, dann ist eine optische (Abzweig-) Muffe zu berücksichtigen.
- Wenn ein Kabelzug (durchgängig verlegtes Kabel) länger ist als die maximale durchgängige Verlegelänge des entsprechenden Kabeltyps, so ist eine optische (Verbindungs-) Muffe zu berücksichtigen. Beachte zu diesem und dem obigen Punkt: das Modell unterscheidet nicht explizit zwischen optischen Abzweig- und Verbindungsmuffen.

Dieses Modell wird als Ganzzahlig-Lineares-Programm formuliert und mit einem Approximations-Solver gelöst; für Details verweisen wir auf (Bachhiesl, 2005) und (Bachhiesl, 2006) bzw. auf (Nemhauser & Wolsey, 1999).

Die Abbildung 31 und Abbildung 32 zeigen ein exemplarisches Ergebnis.

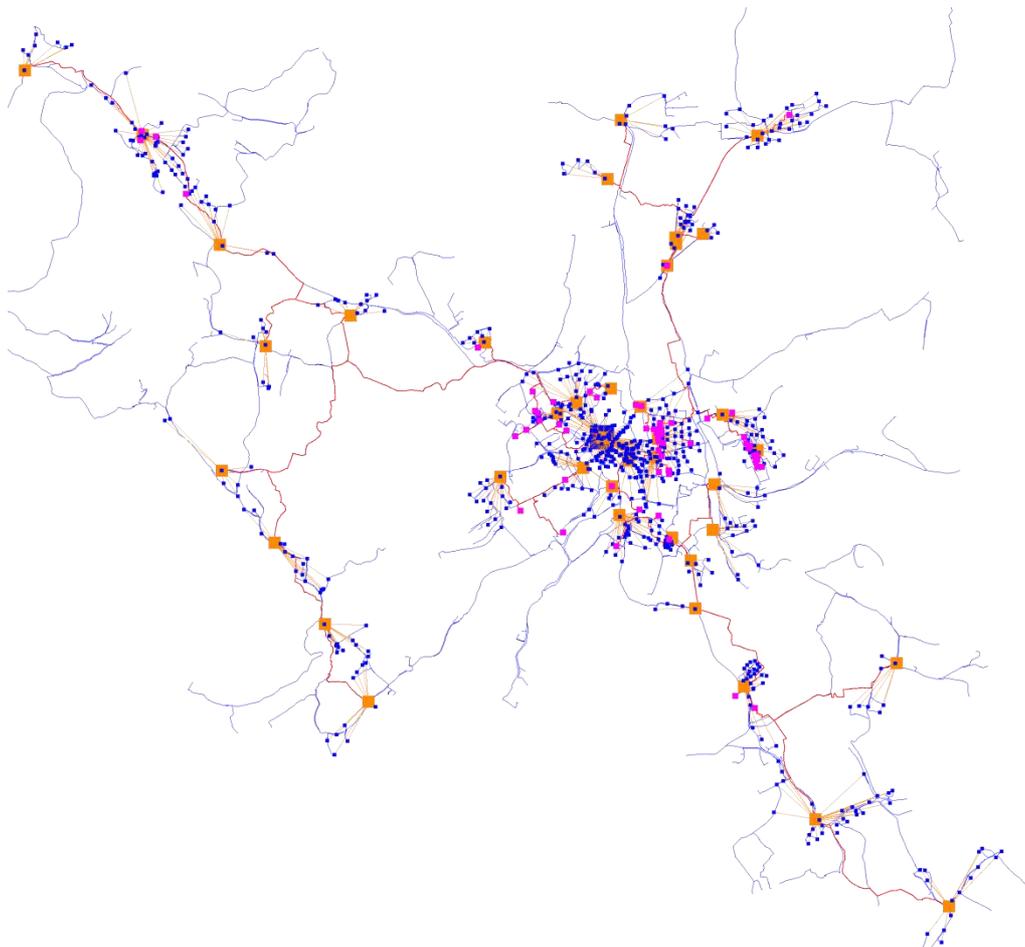


Abbildung 31. Ergebnis des Trassierungsmodells gemäß Abbildung 30. Neue Verlegestrecken und Abschnitte, in entlang denen bereits existierende Infrastruktur aktiviert wurde (vergleiche Abbildung 26), sind als orange Linien dargestellt.

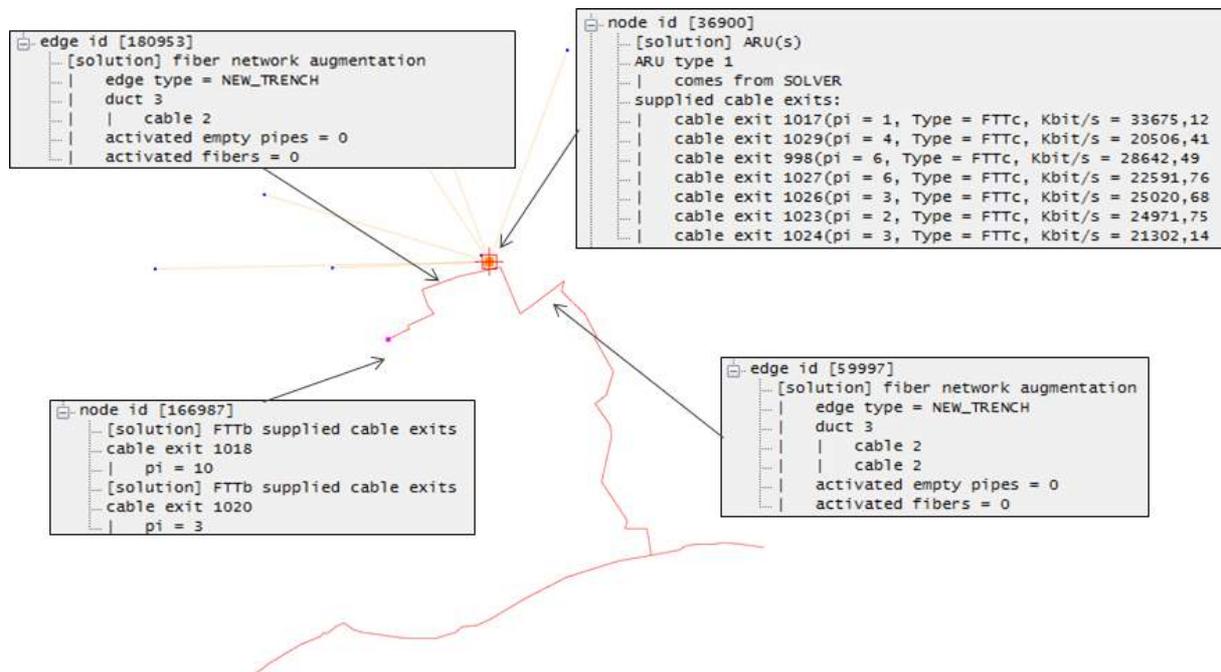


Abbildung 32. Ergebnis des Hardwaremodells auf einem gezoomten Bereich der Abbildung 30. Am Knoten 166987 befinden sich zwei FTTb-versorgte Kabelauslässe – diese werden bis zum Knoten 180953 über eine Glasfaserkabel vom Typ 2, das wiederum in einem neu verlegten Duct vom Typ 3 installiert wurde, versorgt. Am Knoten 180953 befindet sich ein ARU der 7 Kabelauslässe FTTC-versorgt. Von diesem Knoten führen nunmehr zwei Kabel vom Typ 2, wiederum in einem neu-verlegten Duct vom Typ 3, weiter in Upstream-Richtung.

5 Output-Daten – Reportfiles

5.1 Allgemeines zum Reporting

Die Module Cu-Generator, Leerrohr-Generator, Fiber-Generator und NGA-Solver unterstützen die Generierung von Reportfiles. Diese beinhalten die wesentlichen Inputdaten, Parameter, Modellergebnisse bzw. daraus abgeleitete Größen.

Bei der Parametrierung und dem Reporting von Kosten wird zwischen Solver- und Reportkosten unterschieden. Solverkosten sind die Kostenfaktoren, die von den Modellen in der Lösungsfindung berücksichtigt werden. Mit Hilfe dieser Parameter lassen sich daher User-Präferenzen abbilden, die unter Umständen zu einer nicht validen Kostenbewertung des Ergebnisses führen. Daher betrachten wir parallel dazu Reportingkosten, die eine zusätzliche, den realen Gegebenheiten angepasste, Kostenbewertung der Modellergebnisse ermöglicht.

5.2 Cu-Generator-Report

5.2.1 Input-Daten, Netzwerkgraph

In dieser Sektion werden die wesentlichen Charakteristika des zugrundeliegenden Netzwerkgraphen beschrieben; vergleiche Abschnitt 2.1.

Nachfolgend zeigen wir ein Beispiel und geben eine entsprechende Interpretation (sofern die Einträge nicht selbst-erklärend sind):

Inputdaten		
Typ	Wert	Einheit
Anzahl Knoten im Netzwerkgraphen:	180.622	
Anzahl Kanten im Netzwerkgraphen:	246.728	
ASB-Ausdehnung:	134,22	km ²
Anzahl der Kabelauslässe:	1.334	
Gesamtsumme der potentiellen Einheiten:	6.322	

Die ASB-Ausdehnung entspricht der Fläche des Rechteckes das durch die Knoten mit der kleinsten und größten x- bzw. kleinsten und größten y-Koordinate beschrieben wird.

5.2.2 Pre-Processing

Diese Sektion beschreibt die Ergebnisse der Pre-Processing Modell in der Reihenfolge wie Sie in die entsprechende Queue eingebracht wurden; vergleiche Abschnitt 3.1.2.

Nachfolgend zeigen wir ein Beispiel und geben eine entsprechende Interpretation (sofern die Einträge nicht selbst-erklärend sind):

Preprocessing						
Die nachfolgende Tabelle beinhaltet den sukzessiven Ablauf von Pre-Processing-Modellen und deren Ergebnissen.						
[1] Anzahl an Kabelauslässen		[3] Anzahl der Positionen (Knoten im Graphen) mit Kabelauslässen				
[2] Summe der potentiellen Einheiten über alle Kabelauslässe		[4] durchschnittliche Projektionsdistanz in Meter				
Modell	Parameter	Wert	[1]	[2]	[3]	[4]
CuGeneratorTools.ModifyPE	ReductionFactorPE	70,00				
	ReductionPEStrategy	Equalized	1.081	4.426	1.080	
CuGeneratorTools.MergeConnObj	GraphDist	false				
	MaxDist	100				
	MaxDemand	200	498	4.426	498	
CuGeneratorTools.ProjectConnObj	ProjectTo	Strassenanlage	498	4.426	498	13,08

Im oben stehenden Beispiel wurde die Gesamtsumme der potentiellen Einheiten von 6322 auf 70%, i.e. 4426, reduziert; nachdem das Modell `ModifyPE` mit der Reduktionstrategie `Equalized` betrieben wurde hat sich dabei die Anzahl der Kabelauslässe von ursprünglich 1334 auf 1081 verringert. Danach wurden alle Auslässe, deren Euklidische Distanz weniger als 100 Meter beträgt zu einem Kabelauslass zusammengefaßt, wobei diese nicht mehr als 200 potentielle Einheiten besitzen dürfen. Dies reduziert die Anzahl der Kabelauslässe auf 498. Diese 498 Kabelauslässe wurden danach auf die Nutzungsklasse „Straßenanlage“ projiziert. Die durchschnittliche Projektionslänge beträgt ca. 13 Meter.

5.2.3 Cluster-Modell

Diese Sektion beschreibt die Ergebnisse des Cluster-Modells gemäß Abschnitt 3.1.3.

Nachfolgend zeigen wir ein Beispiel und geben eine entsprechende Interpretation (sofern die Einträge nicht selbst-erklärend sind):

Clustermodell							
Definition - Distanz:	kürzester Weg im Netzwerkgraphen:	<input type="text" value="nein"/>					
	Euklidische Punkt-zu-Punkt-Distanz:	<input type="text" value="ja"/>					
Clustering-Parameter:	[1] maximale Distanz in Meter zwischen Versorgungszentrum und Anschlussobjekt in einem Sub-Netz der Netzebene [2] maximale Summe der potentiellen Einheiten [2] in einem Sub-Netz der Netzebene						
	Netzebene	[1]	[2]	Versorgungslängenoptimierung = <input type="text" value="ja"/>			
	HVKreis	300,00	-				
	End-Verteilkabelnetz	1.500,00	500				
	Zwischen-Verteilkabelnetz	4.000,00	1.000.000				
Modellergebnis:	[1] maximale Distanz zum Versorgungszentrum für alle Anschlussobjekte in allen Sub-Netzen der Netzebene in Meter [2] durchschnittliche Distanz zum Versorgungszentrum für alle Anschlussobjekte in allen Sub-Netzen der Netzebene in Meter [3] maximale Summe der potentiellen Einheiten in einem Sub-Netz der Netzebene [4] durchschnittliche Summe der potentiellen Einheiten der Sub-Netze der Netzebene [5] maximale Anzahl der Positionen (Knoten im Graph) mit Anschlussobjekten in einem Sub-Netz der Netzebene [6] durchschnittliche Anzahl der Positionen (Knoten im Graph) mit Anschlussobjektender Sub-Netze der Netzebene						
	Netzebene	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
	HVKreis	298,03	191,06	488	488	19	19
	End-Verteilkabelnetz	2.424,92	747,64	500	164	40	20
	Zwischen-Verteilkabelnetz	2.997,62	1.154,22	3.046	984	14	6
	Amtskabelnetz	4.124,15	2.114,53	3.938	3.938	5	5

Modellparametrierung: die Distanz im Modell ist die Euklidische Punkt-zu-Punkt-Distanz. Der HV-Kreis wird durch Terminalknoten definiert, die nicht weiter als 300 Meter vom Hauptverteiler-Standort entfernt sind. Ein End-Verteilkabelnetz hat eine maximale Ausdehnung von 1500 Meter und in Summe maximal 500 potentielle Einheiten; entsprechend die Dimensionierung von Zwischen-Verteilkabelnetzen. Die Versorgungslängen-Optimierung gemäß Abschnitt 3.1.3.3 ist aktiviert.

Die Modellergebnisse sind gemäß der nachfolgenden Tabelle gegeben. Man beachte dass die maximal erlaubte Ausdehnung von End-Verteilnetzinstanzen (aufgrund der Versorgungslängen-Optimierung) verletzt wird.

5.2.4 Trassierungs-Modell

Diese Sektion beschreibt die Ergebnisse des Trassierungs-Modells gemäß Abschnitt 3.1.4.

Nachfolgend zeigen wir ein Beispiel und geben einen entsprechende Interpretation (sofern die Einträge nicht selbst-erklärend sind):

Routingmodell				
Allgemeine Modellparameter:				
Nullkosten räumliche Überdeckung:	<input type="text" value="nein"/>	Wegerrecht-Faktor:	<input type="text" value="0,50"/>	
Steiner-Solver:	<input type="text" value="ShortestPathTree"/>			
Landnutzungen:				
[1] Verlegekosten pro Meter (Solver)	[3] Gesamtverlegelänge in Meter			
[2] Verlegekosten pro Meter	[4] Kosten pro Landnutzung in Euro			
Landnutzungs-kategorie	[1]	[2]	[3]	[4]
Gebäude	320,00	12,00	589,26	7.071,12
Baufläche_befestigt	170,00	170,00	1.224,07	208.091,90
Baufläche_begrünt	55,00	55,00	75.469,38	4.150.815,90
Landwirtschaftlich_genutzte_Grundflä	58,00	58,00	18.273,85	1.059.883,30
Acker	70,00	50,00	40.331,82	2.016.591,00
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Projektion	60,00	0,00	4.469,05	0,00
Unbekannt	2.000,00	200,00	342,14	68.428,00
Summe Verlegekosten:				18.691.993,08

[1] maximale Distanz zum Versorgungszentrum für alle Anschlussobjekte in allen Sub-Netzen der Netzebene in Meter

[2] durchschnittliche Distanz zum Versorgungszentrum für alle Anschlussobjekte in allen Sub-Netzen der Netzebene in Meter

Netzebene	[1]	[2]
HVKreis	823,55	410,60
End-Verteilkabelnetz	3.243,60	1.308,65
Zwischen-Verteilkabelnetz	4.532,83	1.793,82
Amtskabelnetz	4.435,29	2.744,50

Modellparameter: die Nutzung von Synergie-Potentialen im Bereich der Trassierungskosten wurde aktiviert. Für Landnutzungen die auf definierten Kanten ein Wegerecht besitzen, fallen nur die halben spezifischen Verlegekosten an; die spezifischen Verlegekosten pro Landnutzung sind in der nachfolgenden Tabelle beschrieben.

Modellergebnis: Insgesamt belaufen sich die Verlegkosten (Reporting-Kosten) auf ca. 4,3 Mio EUR. Auf Basis der errechneten Trassierung lassen sich nunmehr auch die konkreten Versorgungslängen angeben. Dies erfolgt in der nachfolgenden Tabelle. Eine detaillierte Untersuchung der Versorgungslängen erfolgt über die nachfolgenden Histogramme und Verteilfunktionen:

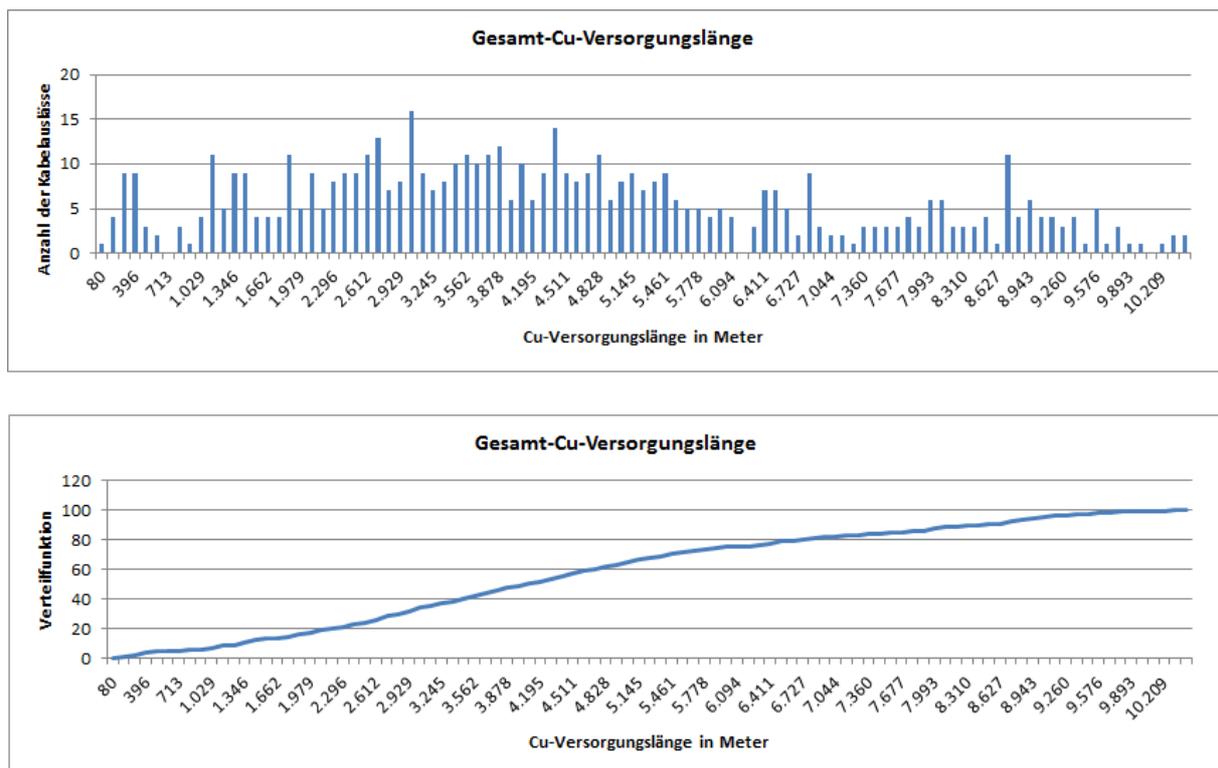


Abbildung 33. Histogramm und Verteilung der Gesamtversorgungslänge über alle Netzwerkhierarchien aller Kabelausslässe.

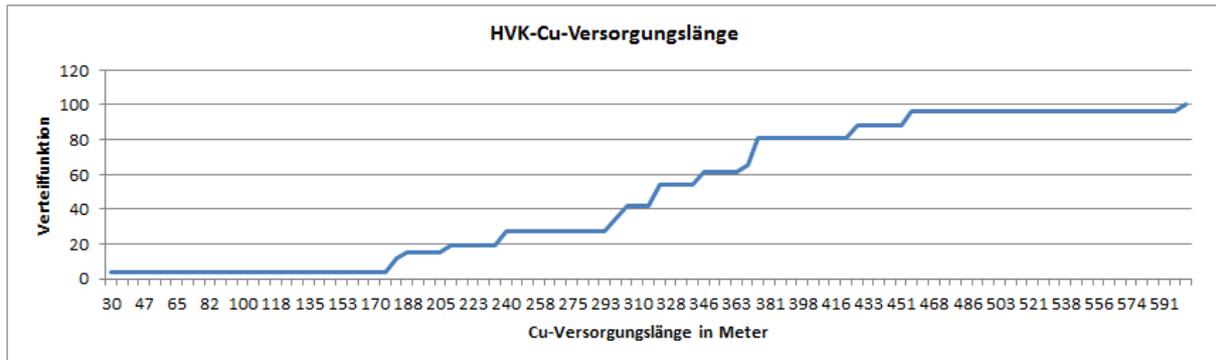
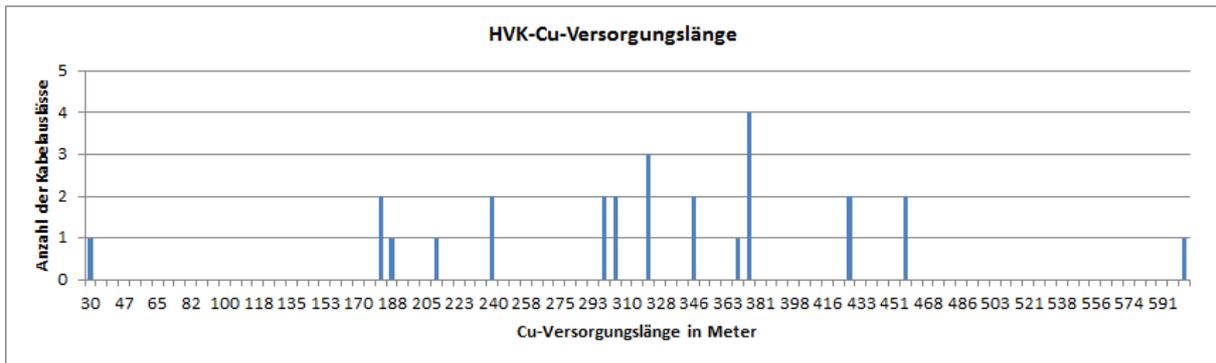


Abbildung 34. Histogramm und Verteilung der Versorgungslänge im HV-Kreis.

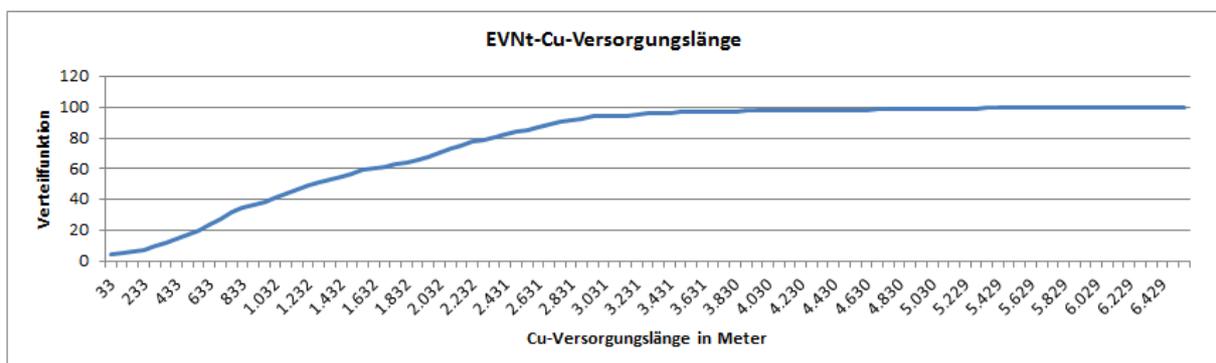
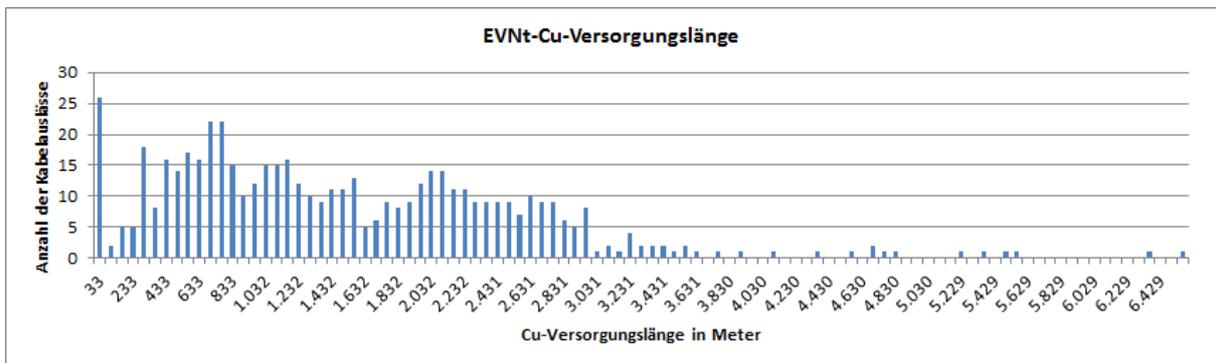


Abbildung 35. Histogramm und Verteilung der Versorgungslänge über alle Instanzen der End-Verteilkabelebene.

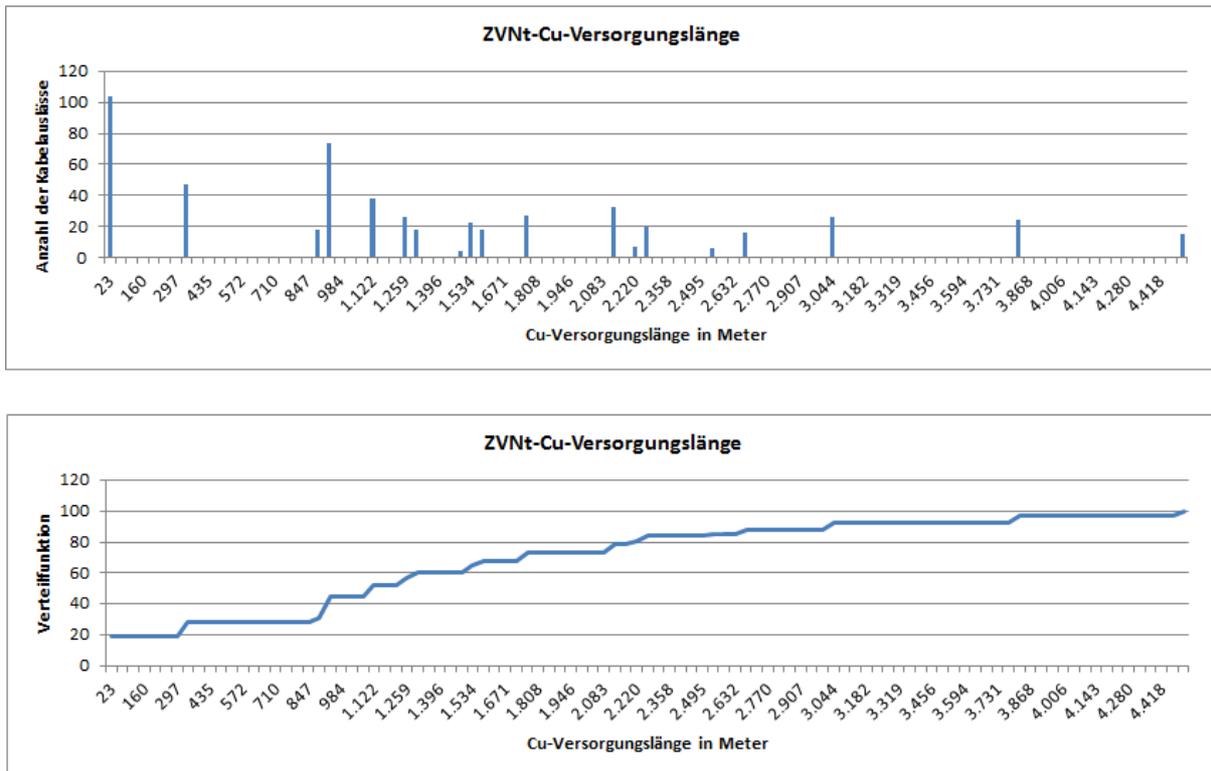


Abbildung 36. Histogramm und Verteilung der Versorgungslänge über alle Instanzen der Zwischen-Verteilkabelebene.

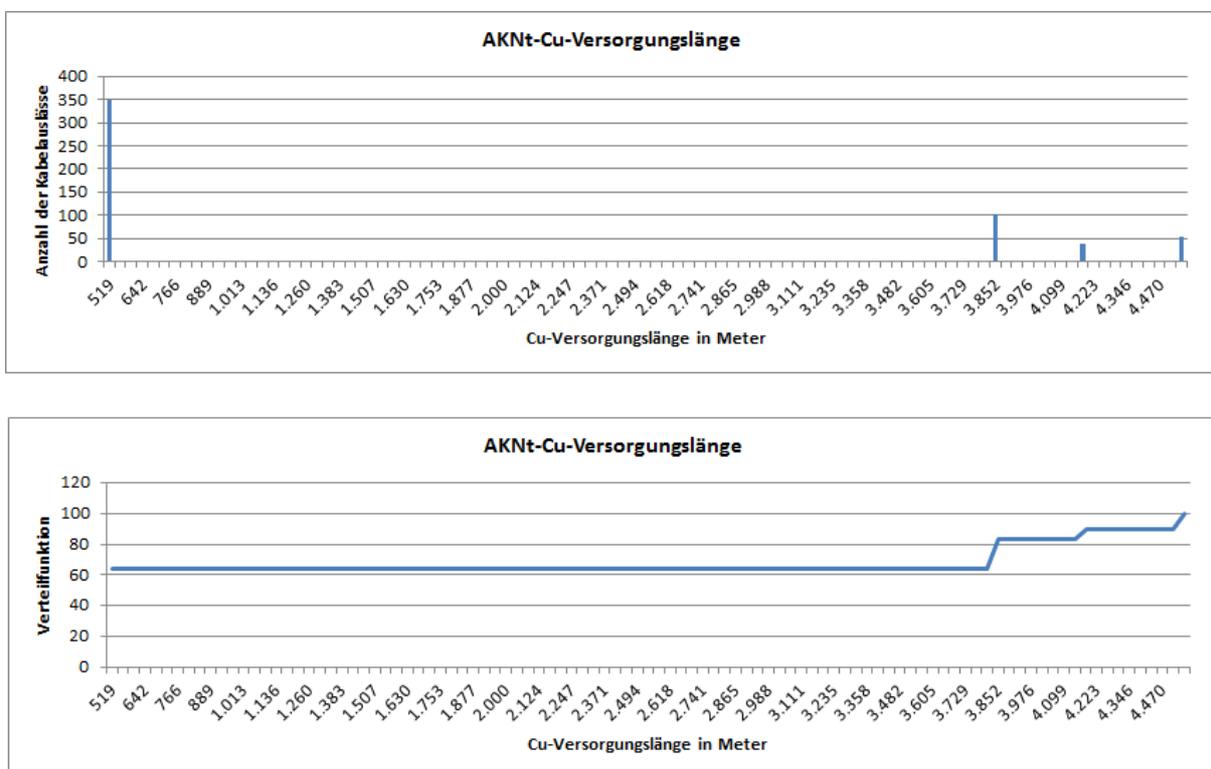


Abbildung 37. Histogramm und Verteilung der Versorgungslänge im Amtskabelnetz.

5.2.5 Hardware-Modell

Diese Sektion beschreibt die Ergebnisse des Hardware-Modells gemäß Abschnitt 3.1.5.

Nachfolgend zeigen wir ein Beispiel und geben eine entsprechende Interpretation (sofern die Einträge nicht selbst-erklärend sind):

Hardwaremodell

Allgemeine Modellparameter:

Standard-Künettenbreite in Meter:	0,40
Maximale Künettenbreite in Meter:	2,00
Penalty für Überschreitung der Standard-Künettenbreite in EUR pro Meter:	50,00
Maximale Anzahl an Kabel, die zur Versorgung eines Knotens erlaubt sind:	10
Maximale Anzahl an Komponenten pro Knoten:	5

Cu-Kabel:

[1] Anzahl der Cu-Doppeladern	[2] Cu-Querschnitt einer Ader in Millimeter
[3] benötigte Künettenbreite in Meter	[4] maximale durchgängige Verlegelänge
[5] Kosten in EUR pro Meter (Solver)	[6] Kosten in EUR pro Meter
[7] Verlegelänge	[8] Verlegekosten in EUR

Id	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
1	10,00	0,40	0,10	500,00	0,40	0,40	192.045,85	76.818,34
2	50,00	0,40	0,10	500,00	1,00	1,60	56.233,67	89.973,88
3	180,00	0,40	0,10	500,00	2,00	7,30	49.797,08	363.518,67
4	680,00	0,40	0,10	500,00	5,00	20,90	6.576,24	137.443,36
5	1.800,00	0,40	0,10	500,00	10,00	66,50	2.057,36	136.814,48
Summe Kabelkosten:								804.568,72

Cu-Komponenten:

[1] Anzahl Input-Ports	[2] Anzahl Output-Ports	[3] Typ der Komponente
[4] maximale Anzahl pro Knoten	[5] maximale Anzahl an Versorgungskabel	[6] Kosten pro Stück (Solver)
[7] Kosten pro Stück	[8] Anzahl der installierten Stück	[9] Kosten in EUR

Id	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
1	10	10	VM	5	10	600,00	600,00	0	0,00
2	50	50	VM	5	10	1.000,00	1.000,00	0	0,00
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
9	680	680	AM	5	5	40,00	2.200,00	58	127.600,00
10	1.800	1.800	AM	5	5	100,00	4.000,00	6	24.000,00
11	10	10	KA	5	1	600,00	600,00	516	309.600,00
12	50	50	KA	5	1	1.000,00	1.000,00	50	50.000,00
13	180	180	KA	5	1	1.500,00	1.500,00	2	3.000,00
14	680	680	KA	5	1	2.000,00	2.000,00	0	0,00
15	1.800	1.800	KA	5	1	3.600,00	3.600,00	0	0,00
16	10	10	KV	5	5	1.600,00	1.600,00	0	0,00
17	50	50	KV	5	5	10.000,00	10.000,00	4	40.000,00
18	180	180	KV	5	5	15.000,00	15.000,00	5	75.000,00
19	680	680	KV	5	5	20.000,00	20.000,00	13	260.000,00
20	1.800	1.800	KV	5	5	36.000,00	36.000,00	4	144.000,00
Summe Komponentenkosten:									1.366.700,00

Die oben stehenden Tabellen enthalten die gegebene Hardware-Parametrierung sowie die Stückzahlen der entsprechenden Komponenten. Daraus lassen sich die Hardwarekosten von ca. 2,2 Mio. EUR ableiten.

5.3 Leerrohr-Generator

Wir beschreiben den Report des Generators anhand des nachfolgenden Beispiels sofern die Einträge nicht selbst-erklärend sind; vergleiche dazu Abschnitt 3.2.

Report Leerrohr-Generator

Inputdaten

Kupferlänge = Summe der (Euklidischen) Länge der Kanten, mit Cu-Infrastruktur top-down bis zur entsprechenden Hierarchieebene

Kupferinfrastrukturbreite einer Kante = Summe der Adern-Querschnitte (einer bestimmten Netzebenen), die auf der Kante existieren

[1] Hauptverteilerkreis [2] End-Verteil-Kabelnetz [3] Zwischenverteiler-Kabelnetz [4] Amtskabelnetz

Bemerkung: [1] entspricht der Gesamtkupferlänge des Graphen

	[1]	[2]	[3]	[4]
Kupferlänge in Meter:	250.258,92	235.636,46	40.083,88	11.637,84
durchschnittliche Kupferinfrastrukturbreite einer Kante in Millimeter:	25,92	28,03	125,09	274,86

Die oben stehende Sektion analysiert die für den Generator relevanten Input-Größen des gegebenen Cu-Netzwerks. Insbesondere das Modell `GrowFromHV` bezieht sich auf die Kupferlänge des Cu-Netzwerkes oder von Teilen desselben.

Modelltyp und -parametrierung

Modell `GrowFromHV`: Ausgehend vom HV werden solange Leerrohrkapazitäten entlang des Kupfernetzes emuliert, bis ein Prozentsatz der Kupferlänge erreicht wird; Kupfernetzabschnitte werden je nach Anzahl der der Kupfer-Doppeladern priorisiert.

wurde angewandt:	<input checked="" type="checkbox"/>	ja	
Parameter: $p=$	<input type="text" value="0,70"/>	0,70	Prozent/100 der Kupferlänge
$p_{Cu}=$	<input type="text" value="0,60"/>	0,60	Prozent/100 der Kupferinfrastrukturbelegung an der Gesamtrohrkapazität; es gilt: $b_{Cu} \dots \text{Kupferinfrastrukturbreite} \rightarrow \text{Leerrohrkapazität } r = b_{Cu} * (1/p_{Cu} - 1)$
$\rho_{max}=$	<input type="text" value="50,00"/>	50,00	max. Kapazität eines Standardrohres in Millimeter; Anzahl Leerrohre = $\text{Ceil}(r/\rho_{max})$
Kupfernetz bis:	<input type="text" value="ZVnt"/>	ZVnt	es wird das Kupfernetz top-down bis zur entsprechenden Kupfer-Netzebene betrachtet; bestimmt damit das betrachtete Gesamt-Kupfernetz
$\rho_{sum_max} =$	<input type="text" value="500,00"/>	500,00	max. Kapazität aller Leerrohre pro Kante in Millimeter

Modell `TakeNrTwinWires`: Ausgehend vom HV werden entlang des Kupfernetzes auf jenen Kanten Leerrohrkapazitäten emuliert, die über eine Mindest-Anzahl an Cu-Doppeladern besitzen

wurde angewandt:	<input type="checkbox"/>	nein	
Parameter: $t_{min}=$	<input type="text" value=""/>		Mindestanzahl an Kupfer-Doppeladern
$p_{Cu}=$	<input type="text" value=""/>		Prozent/100 der Kupferinfrastrukturbelegung an der Gesamtrohrkapazität; es gilt: $b_{Cu} \dots \text{Kupferinfrastrukturbreite} \rightarrow \text{Leerrohrkapazität } r = b_{Cu} * (1/p_{Cu} - 1)$
$\rho_{max}=$	<input type="text" value=""/>		max. Kapazität eines Standardrohres in Millimeter; Anzahl Leerrohre = $\text{Ceil}(r/\rho_{max})$
$\rho_{sum_max} =$	<input type="text" value=""/>		max. Kapazität aller Leerrohre pro Kante in Millimeter

In diesem Beispiel wurde das Modell `GrowFromHV` angewendet; es wird Leerrohr-Infrastruktur auf einer Gesamtkupferlänge von 70%, ausgehend vom Hauptverteilerstandort Kanten, installiert – die Referenzlänge ist dabei durch alle Kanten mit Cu-Infrastruktur, die entweder zum Amts- oder zum Zwischen-Verteilkabelnetz gehören, gegeben. Die Summe der Leerrohr-Kapazitäten über alle emulierten Leerrohre ist mit 50 Zentimeter beschränkt.

Modellergebnis:

[1] Leerrohrkapazität von - bis in Millimeter [2] Summe Kantenlängen mit entsprechender Leerrohrkapazität in Meter
 [3] Prozentualer Anteil von [2] bezogen auf die Gesamtkupferlänge des Graphen [4] durchschnittliche Distanz entlang der Kupfer-Infrastruktur zum HV in Meter

[1]	[2]	[3]	[4]
0,00 50,00	14.543,67	5,81	3.235,46
50,00 100,00	4.389,97	1,75	2.825,06
100,00 150,00	7.451,09	2,98	2.138,08
150,00 200,00	86,60	0,03	2.688,95
200,00 250,00	145,93	0,06	2.518,71
250,00 300,00	729,46	0,29	701,94
350,00 400,00	44,73	0,02	691,80
450,00 500,00	684,77	0,27	293,15

Die oben stehende Tabelle analysiert die Plausibilität des Modellergebnisses. Wir betrachten die räumliche Verteilung der Resterohrkapazität-Klassen.

5.4 Fiber-Generator

Wir beschreiben den Report des Generators anhand des nachfolgenden Beispiels sofern die Einträge nicht selbst-erklärend sind; vergleiche dazu Abschnitt 3.3.

Report Fiber-Generator		
Modellparameter		
NGA Solver =	NGASolver.exe	max. Solver CPU Zeit = 10 in Sekunden
FTTb-Quota =	10,00	Prozentsatz der KA, die direkt mit Glasfaser versorgt werden
Kabel-Reserve =	20,00	Prozentsatz an Reservefasern in errechneter Glasfaser-Versorgung
Modellergebnis		
[1] Anzahl an nutzbaren Fasern	[2] Summe Kantenlängen mit entsprechender Fasernanzahl in Meter	
[3] durchschnittliche Distanz entlang der emulierten Glasfaser-Infrastruktur bis zum HV in Meter		
[1]	[2]	[3]
8	1.355,67	723,36
15	811,91	705,41
29	69,22	384,23
36	89,07	304,72
44	106,58	196,99
58	146,16	40,70

Es existiert bereits Glasfaser-Infrastruktur für 10% der potentiellen Einheiten; ein Reserve-Overhead von 20% (zu den bestehenden Fasern) wird als nutzbare Glasfaser-Infrastruktur addiert. Die nachfolgenden Tabelle analysiert die räumliche Verteilung der nutzbaren Glasfaser-Infrastruktur.

5.5 NGA-Solver

5.5.1 Gesamtergebnis

Als Gesamtergebnis des NGA Solver definieren wir die Kosten pro potentielle Einheit (Teilnehmer-Anschlusseinrichtung). Wir dividieren dabei die Gesamtkosten der Lösung des NGA-Solver (Trassierungs- und Hardwarekosten) durch die Anzahl der betrachteten potentiellen Einheiten.

Das Ergebnis wird am Deckblatt des Reports dargestellt – siehe unten für ein entsprechendes Beispiel:

Simulationsergebnisse

System RTR_ACCNET
NGASolver

Projekt- Identifizierer:	[NOT DEFINED]
--------------------------	---------------

Kosten pro potentieller Einheit in EUR	11.220,76	(berücksichtigt werden die potentiellen Einheiten aller FTTC- oder FTTB versorgten Kabelauslässe)
---	------------------	---

NGASolverReport Version:	1.5.5.0
Erstellt von:	TECHNIKUM\bachhiesl
Datum:	16.06.2015
Zeit:	14:49:06

5.5.2 Trassierungsmodell

Die untenstehende Sektion schlüsselt alle Parameter auf, die das Trassierungsmodell des NGA-Solver beeinflussen. Dies sind die spezifischen Verlegekosten der Landnutzungsclassen sowie die Aktivierungskosten für die Erweiterung des Glasfasernetzes. In der Ergebnissection werden Verlege- und Aktivierungslängen als auch Verlege- und Aktivierungskosten aufgeschlüsselt.

Parameter und Ergebnis:

Verlegelänge pro Landnutzung = Summe der Längen aller Kanten mit entsprechender Landnutzung, auf denen Neuverlegungen durchgeführt werden
 Verlegekosten pro Landnutzung = Summe der Kosten aller Kanten mit entsprechender Landnutzung, auf denen Neuverlegungen durchgeführt werden
 Gesamtverlegelänge = Summe der Längen aller Kanten, auf denen Neuverlegungen durchgeführt werden
 Gesamtverlegekosten = Summe der Kosten aller Kanten auf denen Neuverlegungen durchgeführt werden

Landnutzungen:

[1] Verlegelänge pro Landnutzung in Meter
 [2] Anteil Verlegelänge pro Landnutzung an Gesamtverlegelänge in Proze
 [3] Verlegekosten pro Landnutzung und Meter in EUR (Solver)
 [4] Verlegekosten pro Landnutzung und Meter in EUR
 [5] Verlegekosten pro Landnutzung in EUR
 [6] Verlegekostenanteil pro Landnutzung an Gesamtverlegekosten in Proze

Landnutzungsclassen	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
Bauflaeche_begruent	13.364,89	27,20	58,00	58,00	775.163,90	22,94
Querung_Bauflaeche_begruent	3.414,78	6,95	58,00	58,00	198.057,13	5,86
Wald	9.669,90	19,68	58,00	58,00	560.854,18	16,60
Querung_Strassenanlage	1.374,24	2,80	167,00	167,00	229.498,67	6,79
Wiese	6.958,71	14,16	58,00	58,00	403.604,90	11,94
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Streuobstwiese	104,94	0,21	94,00	94,00	9.864,80	0,29
Gebaeude	35,54	0,07	500,00	500,00	17.768,32	0,53
Gaerten_Gt	17,54	0,04	94,00	94,00	1.648,62	0,05

Ergebnis:

Aktivierungslänge = Summe der Längen aller Kanten, auf denen bestehende Infrastruktur (Leerrohr oder existierende Fasern), aktiviert wurde

Aktivierungskosten pro existierender Infrastruktur und Meter in EURO	Solver	Report
Leerrohr=	0,02	0,00
existierende Faser =	0,01	0,00

Gesamtverlegelänge in Meter =	49.126,69	Verlegekosten in EUR =	3.379.044,85
Aktivierungslänge Leerrohr in Meter =	5.890,10	Aktivierungskosten Leerrohr in EUR =	0,00
Aktivierungslänge existierende Fasern in Meter =	999,92	Aktivierungskosten existierende Fasern in EUR =	0,00

Zusätzlich werden die Errichtungskosten für die Cu-Versorgungstrecken zwischen ARUs und FTTC-versorgten Kabelauslässen aufgeschlüsselt:

FTTC -Ergebnis (Trassierungskosten für Cu-Strecken ARU - KA):

Verlegelänge pro Landnutzung = Summe der Längen aller Kanten mit entsprechender Landnutzung, auf denen Neuverlegungen durchgeführt werden
 Verlegekosten pro Landnutzung = Summe der Kosten aller Kanten mit entsprechender Landnutzung, auf denen Neuverlegungen durchgeführt werden

Landnutzungen:

[1] Verlegelänge pro Landnutzung in Meter

[2] Verlegekosten pro Landnutzung und Meter in EUR

[3] Verlegekosten pro Landnutzung in EUR

Landnutzungs-kategorie	[1]	[2]	[3]
Querung_Bauflaeche_begruent	18.862,59	58,00	1.094.029,99
Bauflaeche_begruent	68.768,56	58,00	3.988.576,38
Strassenanlage	6.330,42	167,00	1.057.180,10
Bauflaeche_befestigt	1.189,46	167,00	198.639,20
Querung_Strassenanlage	8.843,46	167,00	1.476.858,60
⋮	⋮	⋮	⋮
Streuwiese	1.263,89	58,00	73.305,60
Querung_Unbekannt	1.755,88	500,00	877.940,70
Unbekannt	273,02	500,00	136.508,57
Querung_Streuwiese	60,08	58,00	3.484,85

Gesamtverlegelänge in Meter =	250.079,83	Verlegekosten in EUR =	20.689.509,82
-------------------------------	------------	------------------------	---------------

5.5.3 Hardware-Modell, ARU-Positionierungen

Die nachfolgende Sektion zeigt exemplarisch die Parametrierung unterschiedlicher ARU-Typen und als Ergebnis des Solvers die entsprechend installierten Stückzahlen:

Parameter und Ergebnisse

ARU's

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
[1] ARU Typ Identifizierer	[2] Input Ports	[3] Output Ports	[4] Kosten pro Stück (Solver) in EUR	[5] Kosten pro Stück in EUR	[6] kann von Solver gesetzt werden (ja/nein)	[7] Einschränkung - ARU kann nur auf Knoten mit den folgenden Infrastrukturen gesetzt werden	[8] Stück	[9] Kosten
1	6	192	20.800,00	20.800,00	ja	keine Einschränkung	22	457.600,00
2	12	384	27.000,00	27.000,00	ja	keine Einschränkung	1	27.000,00
3	18	576	40.400,00	40.400,00	ja	keine Einschränkung	0	0,00
4	20	1500	136.500,00	136.500,00	nein	keine Einschränkung	0	0,00
Gesamtkosten ARUs =								484.600,00

Nachfolgend wird die Parametrierung der FTTC-Versorgungsgüte beschrieben bzw. die vorgegebenen Quota analysiert.

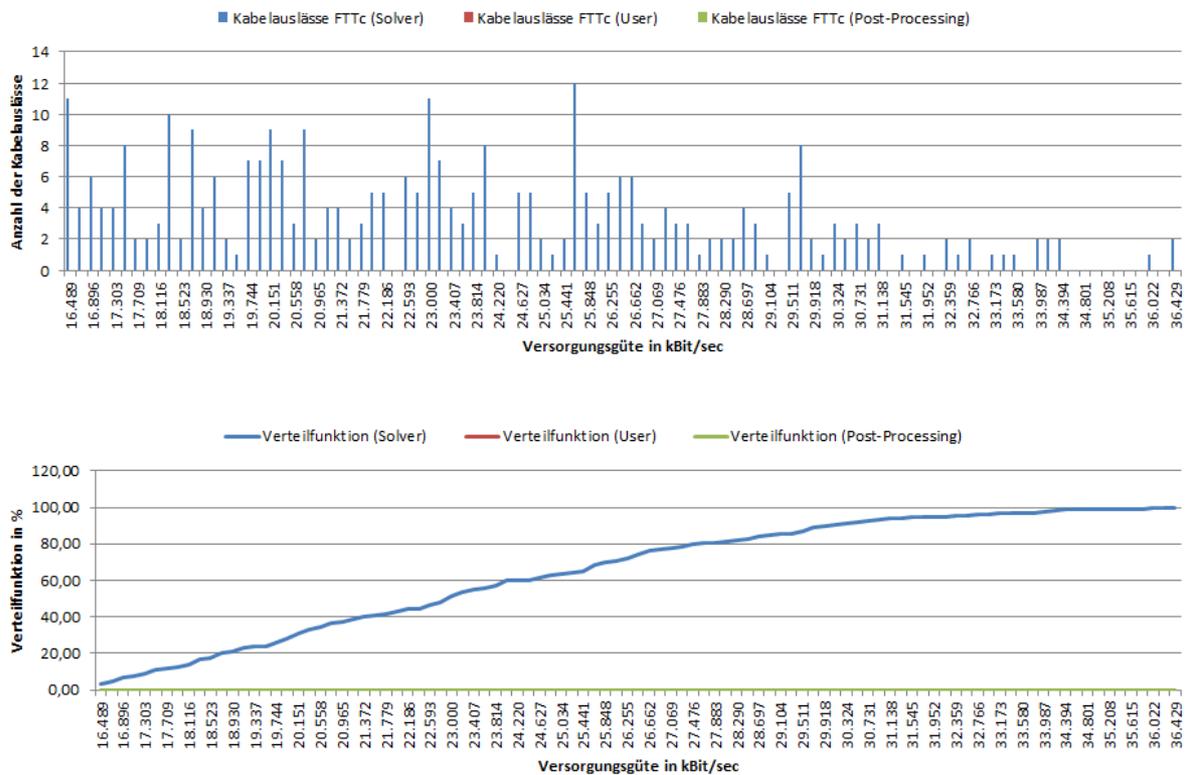
Anschlussobjekte

FTTc-Versorgungsgüte ARU: Kabelauslässe werden über ARUs derart versorgt, dass eine **minimale** **Bitrate** von **16.384,00** **kBit/sec** nicht **unter** -schritten wird.

FTTc-Versorgungsgüte Hauptverteiler: Kabelauslässe werden vom HV derart versorgt, dass eine **maximale** **Dämpfung** von **7,00** **dB** nicht **über** -schritten wird.

Kabelauslässe FTTc-versorgt =	795	(in Prozent	58,50	%)
Potentielle Einheiten FTTc-versorgt =	2.256	(in Prozent	70,54	%, angestrebt waren 70,00 %)
Kabelauslässe FTTb-versorgt =	70	(in Prozent	5,15	%)
Potentielle Einheiten FTTb-versorgt =	322	(in Prozent	10,07	%, angestrebt waren 10,00 %)
Anzahl der versorgten BTS-Objekte=	3	(mit jeweils	6	Fasern pro Objekt) (in Prozent 100,00 %)
Anzahl der versorgten B2B-Objekte =	0	(mit jeweils	6	Fasern pro Objekt) (in Prozent 100,00 %)

Die Versorgungsgüte von FTTc-versorgten Kabelauslässen (bzw. den dahinterliegenden potentiellen Einheiten) wird durch ein Histogramm und die entsprechende Verteilung beschrieben:



Die nachfolgenden Tabellen beschreiben die Parametrierung von Komponenten-Typen. Als Ergebnis des Solvers werden entsprechende Verlegelängen und Stückzahlen angegeben:

Ducts

[1] Duct-Identifizierer [2] maximale Anzahl an Kabel [3] für Erdverlegung geeignet
 [4] Mini- oder Mikroduct [5] benötigte Leerrohrkapazität [6] Kosten pro Meter in EUR (Solver) [7] Kosten pro Meter in EUR
 [8] Installationslänge in Meter [9] Kosten in EUR

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
1	9	ja	Mini	1,00	9,00	9,00	35.109,82	315.988,42
2	5	ja	Mini	1,00	8,00	8,00	13.136,43	105.091,42
3	1	ja	Mini	1,00	3,29	3,29	28.671,53	94.329,34
4	24	ja	Micro	1,00	12,00	12,00	0,00	0,00
5	10	ja	Micro	1,00	10,00	10,00	0,00	0,00
6	2	ja	Micro	1,00	4,00	4,00	0,00	0,00
7	16	nein	Mini	100,00	21,82	21,82	0,00	0,00
8	8	nein	Mini	100,00	12,37	12,37	0,00	0,00
9	7	nein	Mini	50,00	9,40	9,40	9.817,90	92.288,27
10	5	nein	Mini	40,00	8,00	8,00	2.243,10	17.944,83
11	3	nein	Mini	32,00	7,98	7,98	738,01	5.889,28
12	1	nein	Mini	25,00	4,16	4,16	3.580,99	14.896,94
Gesamtkosten Ducts =								646.428,49

Glasfaserkabel

[1] Kabel-Identifizierer [2] Anzahl an Fasern [3] Mini- oder Mikroduct
 [4] max. durchgängige Verlegelänge [5] Kosten pro Meter in EUR (Solver) [6] Kosten pro Meter in EUR
 [7] Installationslänge in Meter [8] Kosten in EUR

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	
1	72	Mini	5.500,00	3,60	3,60	0,00	0,00	
2	36	Mini	5.500,00	3,00	3,00	140.969,50	422.908,51	
3	12	Mini	5.500,00	2,65	2,65	392.805,16	1.040.933,67	
4	12	Micro	5.500,00	3,74	3,74	0,00	0,00	
Gesamtkosten Kabel =								1.463.842,18

Glasfasermuffen und Splitter:

[1] Muffen-Identifizierer [2] Inputports [3] Outputports
 [4] Kosten pro Stück in EUR (Solver) [5] Kosten pro Stück in EUR [6] Anzahl der installierten Stück
 [7] Kosten

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
1	144	144	2.100,00	2.100,00	14	29.400,00
Gesamtkosten Muffen =						29.400,00

[1] Splitter-Identifizierer [2] Inputports [3] Outputports
 [4] Kosten pro Stück in EUR (Solver) [5] Kosten pro Stück in EUR [6] Anzahl der installierten Stück
 [7] Kosten

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
1	4	16	1.635,00	1.635,00	70	114.450,00
2	5	32	2.970,00	2.970,00	0	0,00
Gesamtkosten Splitter =						114.450,00

Zusätzlich werden jene Cu-Komponenten beschrieben, die auf der Cu-Versorgungsstrecke zwischen ARUs und FTTC-versorgten Kabelauslässen anfallen:

Cu-Kabel und Cu-Komponenten (FTTc Versorgung ARUs zu Kabelauslässen)

[1] Kabel-Identifizierer bezogen auf die Cu-Kabelparameter

des Cu-Generators (siehe entsprechender Report)

[2] Installationslänge in Meter

[3] Kosten pro Meter in EUR [4] Kosten in EUR

[1]	[2]	[3]	[4]
1	119507,08	1,03	123.092,29
2	61061,92	2,34	142.884,90
3	28347,41	7,30	206.936,07
5	1369,55	45,80	62.725,23
Gesamtkosten Cu-Kabel =			535.638,50

[1] Komponenten-Identifizierer bezogen auf die Cu-Komponenten-
parameter des Cu-Generators (siehe entsprechender Report)

[2] Anzahl installierte Stück [3] Stückkosten in EUR

[4] Kosten in EUR

[1]	[2]	[3]	[4]
13	853	600,00	511.800,00
8	532	1.100,00	585.200,00
9	185	1.700,00	314.500,00
10	34	2.200,00	74.800,00
14	12	1.000,00	12.000,00
22	4	6.000,00	24.000,00
12	1	4.000,00	4.000,00
24	1	15.000,00	15.000,00
21	12	3.000,00	36.000,00
20	3	2.300,00	6.900,00
Gesamtkosten Cu-Komponenten =			1.584.200,00

6 Literaturverzeichnis

- Bachhiesl, P. (2005). *The OPT- and the SST-Problem for Real World Access Network Design - Basic Definitions and Test Instances*. Arbeitsbericht 01/2005; FH+ Vorhaben NETQUEST.
- Bachhiesl, P. (2006). *The OPT-Standard Problem with Redundancy Requirements; R-Join and Augmentation Approaches*. Arbeitsbericht 01/2006, FH+ Vorhaben NETQUEST.
- Bachhiesl, P. (2008). *Modeling of Passive Optical- and Hybrid Network Infrastructure within the City-Net Domain*. Arbeitsbericht 01/2008, FH+ Folgevorhaben NETQUESTIND.
- BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen. (2012). *Katastralmappe SHP Schnittstellenbeschreibung, v.2.3*. Von <http://www.bev.gv.at> abgerufen
- Ford, M., & Lew, H. (1998). *Handbuch Netzwerk-Technologien*. München: Software-Verlag.
- Jungnickel, D. (1999). *Graphs, Networks and Algorithms*. Heidelberg: Springer.
- Klein, R. (2005). *Algorithmische Geometrie*. Heidelberg: Springer.
- Koster, A. M., & Munoz, X. (2010). *Graphs and Algorithms in Communication Networks*. Heidelberg: Springer.
- Nemhauser, G. L., & Wolsey, L. A. (1999). *Integer and Combinatorial Optimization*. New York: John Wiley & Sons.
- NN. (2015). *Wikipedia, Digital Subscriber Line*. Abgerufen am 29. 01 2015 von http://de.wikipedia.org/wiki/Digital_Subscriber_Line
- Prosegger, M. (2014). Provide a Real-World Graph Suitable for the Mathematical Optimization of Communication Networks. *International Journal on Advances in Intelligent Systems*, S. 751-761.
- Riggert, W., Martin, C., & Lutz, M. (2014). *Rechnernetze: Grundlagen-Ethernet-Internet*. München: Hanser.

7 Index

- Abzweigmuffe.....8
- Access-Remote-Unit39
- Aktivierungskosten40, 44
- Amtskabelnetz.....13
- Anschlussbereich.....2
- Anschlussobjekt.....7
- ARU-Position
 - mögliche-41
 - zulässige-42
- ARU-Positionierungsmodell41
- Bedarf
 - eines Terminalknoten.....13
- Betriebsmodus
 - Infrastruktur-Emulator-38
- Bitratenmodell.....42
- CblOnTerminal.....20, 28, 29
- Cluster
 - Modell13
 - Terminal-16
- Cluster-Zentrum16
- Cu-Generator.....7
 - Hardware-Parameterfile7
 - Kontrollfile7
 - Kosten-Parameterfile7
- Cu-Generator-Report46
- Digitale Katastralmappe6
- Duct34, 40
- Einheit
 - potentielle7
- Einhüllrohr34, 40
- End-Verteilkabelnetz13
- Equalized9
- Fiber
 - Generator37
- FTTb
 - Quota.....39
 - Szenario.....39
 - versorgter Kabelauslass43
- FTTc
 - Quota.....39
 - Szenario.....39
 - versorgter Kabelauslass43
- Generator
 - Fiber-37
 - Leerrohr-.....34
- Gesamtlänge
 - Kupfer-35
- Graph
 - Netzwerk-3
- GrowFromHV35
- Hardwaremodell41, 44
- Hardware-Parameterfile
 - Cu-Generator7
- Hauptverteiler.....7
- Hauptverteilerkreis.....13
- Hierarchie
 - Netzwerk-13
- HrdWrOnSubNetw28
- HrdWrOnTerminal24, 28, 29
- HV
 - Kreis13
- Infrastruktur
 - Emulator2
- Infrastruktur-Emulator2
- Input-/Output-Daten2
- KA.....7
- Kabel
 - auslass7
- Kabelart....40
- Kabelauslass.....7
 - FTTb-versorgt.....43
 - FTTc-versorgt43
- Kabeldisjunktheit43
- Kabelverteiler.....8
- Kapazität
 - Gesamt-Leerrohr-34
 - Gesamt-Restrohr-34
 - Leerrohr-34
 - Restrohr-34
- Knoten
 - Terminal-.....12, 16
- Kontrollfile
 - Cu-Generator7
 - Leerrohr-Generator35
 - Leerrohr-Generator-36
 - Leerrohr-Generator-37
- Kosten
 - Aktivierungs-40
 - Report-46
 - Solver-46
 - Trassierungs-18
 - Verlege-7, 40
- Kosten-Parameterfile
 - Cu-Generator7
- Künettenbreite
 - maximale-8
 - Standard-8
- Kupfer
 - Gesamtlänge.....35
- Kupferbreite

Gesamt-	34	Report	46
Leerrohr ...	34	Cu-Generator-	46
-Generator	34	Reportkosten	46
Gesamt-Kapazität	34	Restrohr ...	34
-Kapazität	34	Gesamt-Kapazität	34
Leerrohr-Generator		-Kapazität	34
Kontrollfile	35	Solver	
MaintainObjects	9	NGA-	39
Maximal		Solverkosten	46
-Dämpfung	42	Standard	
Maximaldämpfung	39, 42	-Künettenbreite	8
Maximaldistanz	39, 42	super-adjazent	15
Mindestbitrate	39, 42	Szenario	
Modell		FTTb-	39
ARU-Positionierung	41	FTTc-	39
Bitraten-	42	TAE	7
Cluster-	13	TakeNrTwinWires	37
GrowFromHV	35	TASL-Länge	39
Hardware-	20, 28, 31, 41, 44	Teilnehmeranschlusseinrichtung	7
ProjectConnObj	11	Teilnehmer-Anschlussleitung	39
TakeNrTwinWires	37	Terminal	
Trassierungs-	18, 41, 44	-Cluster	16
Modell ModifyPE		TerminalCluster	16
ModifyPE	9	Terminalknoten	12, 16
ModifyPE	9	Bedarf eines	13
Netzwerk		Trassierungs	
Graph-	3	Bottom-up Modell	18
-hierarchie	13	-kosten	18
Netzwerkgraph	3	-Modell	18
Netzwerkhierarchie	13	Trassierungsmodell	41, 44
NGA		Übertragungsgüte	42
-Solver	39	-Maß	39, 42
Optimierung		Verbindungsstufe	8
Versorgungslängen-	14	Verlege	
Parameter		-kosten	7
Strategische-, Kontroll-	2	Verlegekosten	40, 44
Parameter-Modell	2	Versorgungslängen	
PE	7	-Optimierung	14
potentielle		Versorgungspfad	30
Einheit	7	Kabel-	30
ProjectConnObj	11	physikalischer	30
Quota		Wahlamtsbereich	2
FTTb-	39	Zwischen-Verteilkabelnetz	13
FTTc-	39		

8 Abkürzungsverzeichnis

AKNt.....	Kupfer-Amtskabelnetz
AM	Abzweigmuffe
ARU	outdoor DSLAM (DSLAM außerhalb des Hauptverteilerstandorts)
ASB.....	Anschlussbereich
B2B.....	Business-to-Business
BTS.....	Base-Transceiver-Station
Cu-	Kupfer-
DKM	Digitale Katastralmappe
DSLAM	Digital-Subscriber-Line-Access-Multiplexer
EVNt.....	Base-Kupfer-Endverteilkabelnetz
FTTb	fiber to the building
FTTc	fiber to the curb
HV	Hauptverteiler (für Zugangsbereich) oder Hauptverteiler-Standort
HV-Kreis...	Hauptverteilerkreis
KA	Kabelausschluss
KV.....	Kabelverteiler
NGA	Next-Generation-Access
PE.....	potentielle Einheiten (Anzahl an Teilnehmeranschlusseinrichtungen pro Kabelausschluss)
TAE.....	Teilnehmeranschlusseinrichtung
TASL	Teilnehmer-Anschlusslänge (Versorgungslänge vom Kabelausschluss bis zur Teilnehmeranschlusseinrichtung)
VM	Verbindungs-muffe
ZVNt.....	Kupfer-Zwischenverteilkabelnetz