

**Bottom-up Kostenmodell für den entbündelten
Zugang zur Teilnehmeranschlussleitung**

- Referenzdokument -

**erstellt durch das WIK
im Auftrag der
Telekom Control GmbH**

Autoren:

Dr. Frank Schmidt
Florentín González López

Stand Juni 2000

Inhaltsverzeichnis

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	II
1 Einleitende Bemerkungen	1
2 Investitionsrechnung für den entbündelten Teilnehmerzugang	3
2.1 Netzelemente und Netzstruktur	3
2.2 Investitionsmodellierung	5
2.2.1 Hauptverteiler	5
2.2.2 Amtskabelnetz	6
2.2.3 Verteilkabelnetz	6
2.2.3.1 Einführung	6
2.2.3.2 Kabelverzweiger	7
2.2.3.3 Kabelausmündungen (KA)	8
2.2.4 Gemeinsame Elemente des Amtskabel – und Verteilkabelnetzes	8
2.2.4.1 Abzweigmuffen (AM)	8
2.2.4.2 Verbindungsmuffen	10
2.2.5 Trassen und Kabel	10
2.2.5.1 Tiefbauinvestition	10
2.2.5.1.1 Erdkabelverlegung	11
2.2.5.1.2 Kabelkanalanlagen (Röhrenkabel)	13
2.2.5.1.3 Luftkabel	14
2.2.5.2 Kabelinvestitionen	15
3 Bestimmung der Netztopologie	15
3.1 Bestimmung der Anschlußlokationen	15
3.2 Bildung von Verteilbereichen und Festlegung der KV-Standorte	18
3.3 Bildung der Versorgungsbereiche und Standortfestlegung von Abzweigmuffen (AM) und Kabelausmündungen (KA)	21
3.4 Ermittlung der Abschnitte des Amtskabelnetzes	23
3.5 Ermittlung der Abschnitte des Verteilkabelnetzes	26
4 Fazit	30
5 Glossar	30
6 Literaturverzeichnis	31

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1:	Starres Netz und Schaltnetz	4
Abbildung 2:	Stilisierte Struktur eines Anschlussbereiches	5
Abbildung 3:	Stilisierte Struktur des Verteilkabelnetzes	7
Abbildung 4:	Effizienzgewinne durch Berücksichtigung von Abzweigmuffen	9
Abbildung 5:	Rasterung von bebauten Flächen	17
Abbildung 6:	Unterschiedliche Ausprägungen von Clustern	19
Abbildung 7:	Bildung von Verteilbereichen mittels Clusteralgorithmus	20
Abbildung 8:	Anbindung der KA an HV im starren Netz	21
Abbildung 9:	Bildung von Versorgungsbereichen	22
Abbildung 10:	Darstellung von Verteil – und Versorgungsbereichen	23
Abbildung 11:	Struktur des Amtskabelnetzes vor Optimierung	24
Abbildung 12:	Struktur des Amtskabelnetzes nach Optimierung	25
Abbildung 13:	Struktur des starren Netzes nach Optimierung	26
Abbildung 14:	Struktur der Trassenführung innerhalb eines Rasters	27
Abbildung 15:	Struktur der Trassenführung eines Verteilbereiches mit mehreren KA in einem Raster	28
Abbildung 16:	Struktur eines Verteilbereiches vor Optimierung	28
Abbildung 17:	Struktur eines Verteilbereiches nach Optimierung I	29
Abbildung 18:	Struktur des eines Verteilbereiches nach Optimierung II	29
Tabelle 1:	Inputparameter bei Erdkabelverlegung	11
Tabelle 2:	Klasseneinteilung nach ÖNORM B 2205	12

1 Einleitende Bemerkungen

Das österreichische Telekommunikationsgesetz (TKG) in Verbindung mit der ZusammenschaltungsVO verlangt, dass Entgelte für Zusammenschaltungsleistungen und für den entbündelten Zugang zu Netzelementen an den Kosten der effizienten Leistungsbereitstellung orientiert sind. Darüber hinaus schreibt die ZusammenschaltungsVO die Verwendung des Kostenkonzeptes der Forward Looking- Long Run Average Incremental Costs (FL-LRAIC)¹ fest.

Im Rahmen der ev. anstehenden Entgeltentscheidung zum Zugang zur entbündelten Teilnehmeranschlussleitung (TASL) will die Telekom-Control GmbH (TKC) ein Kostenrechnungsmodell nutzen, das die Bottom-up Bestimmung der Investitionskosten² für die TASL in der Ausführung Kupferdoppelader (CuDA) ermöglicht. Zur grundlegenden Vorgehensweise im Rahmen der Bottom-up Modellierung, zu deren Abgrenzung zu anderen Methoden der Kostenermittlung und zur generellen Motivation der Verwendung von Bottom-up Modellen sind an dieser Stelle keine weiteren Ausführungen notwendig. Verwiesen sei vielmehr auf entsprechende Veröffentlichungen³.

Ein der Bottom-up Methode entsprechendes Modell war bereits 1999 vom Verband alternativer Telekom-Netzbetreiber (VAT) eingebracht worden und wurde im Verfahren Z1/99 verwendet. Im Unterschied zum VAT-Modell wird das von der TKC nunmehr in Auftrag gegebene Modell eine detailliertere Kostenabschätzung auf Basis von realen Daten bezüglich der Verteilung von Teilnehmeranschlüssen liefern, wobei die notwendigen Daten von der TKC im Rahmen eines Geographischen Informationssystems (GIS) vorgehalten und für die Modellrechnung bereitgestellt werden. Das vorgestellte Modell entspricht einem „scorched node“ Ansatz, bei dem einerseits Hauptverteilerstandorte und Anschlussbereichsgrenzen übernommen werden, andererseits jedoch die Ausdehnung von Verteilbereichen sowie Kabel- und Trassenlängen modellendogen ermittelt werden. Bei der Bestimmung von Trassen- und Kabellängen wird im Modell auf Optimierungsalgorithmen zurückgegriffen, die es erlauben, die Praxis einer effizienten Netzplanung in umfassender Form abzubilden. Dieses Vorgehen erlaubt es, die Informationsanforderungen an die Netzbetreiber auf ein Mindestmaß zu beschränken. Hierdurch wird gewährleistet, dass das Modell bei der Anwendung nur in geringem Maße auf netzbetreiberspezifische Informationen angewiesen ist, deren Vorliegen einerseits nicht sicher vorausgesetzt werden kann, und die andererseits in der Regel als Betriebs- und Geschäftsgeheimnisse deklariert werden, was die öffentliche Diskussion über Modell und Modellergebnisse erheblich erschwert.

1 Zur FL-LRAIC siehe Belfin, Lukanowicz „Ansatz der Forward Looking Long Run Incremental Costs zur Berechnung von kostenorientierten Zusammenschaltungsentgelten“ www.tkc.at

2 sonstige Kosten wie Betrieb, Wartung, Instandhaltung, Instandsetzung, Umlagungen etc. werden bei der Bestimmung der monatlichen Mietkosten entsprechend einfließen.

3 Vgl. WIK 1998, 1999; Belfin/Lukanowicz, 1999.

Ziel des auf den folgenden Seiten vorgestellten Rechenmodells ist es, die Investitionskosten für die zukunftsgerichtete effiziente Bereitstellung von entbündelten Teilnehmerzugängen auf der Basis von Wiederbeschaffungskosten zu ermitteln. Diese Investitionskosten werden nach Anlageklassen differenziert dargestellt, um im Rahmen einer Annualisierungsrechnung unterschiedliche Abschreibungszeiträume und Betriebskostenzuschläge für die einzelnen Klassen berücksichtigen zu können.

In diesem Dokument wird in Kapitel 2 zunächst ein genereller Überblick über die Methode der Investitionsrechnung gegeben, wobei insbesondere die Annahmen hinsichtlich des technischen Aufbaus des Anschlussnetzes und der relevanten Kostenkomponenten und Kostentreibern im Vordergrund stehen. Das Kapitel verschafft zudem einen Überblick über die Eingabeparameter, die zur Durchführung der Investitionsrechnung angegeben werden müssen.

In Kapitel 3 wird die Struktur des entwickelten Modells dargestellt, insbesondere das Vorgehen bei der Lokalisierung der Teilnehmerstandorte, die Verfahren zur Zusammenfassung von Teilnehmern zu Verteilbereichen sowie die Algorithmen zur Bestimmung der Kabel und Trassenlängen. Im Konsultationsdokument wird um der besseren Lesbarkeit willen auf die Darstellung rechen technischer Details und umfangreicher Gleichungssysteme verzichtet, statt dessen wird die Modelllogik in verbaler Form erläutert. Tiefere Einblicke in die Arbeitsweise des Modells können sich die an den ev. Verfahren beteiligten Parteien im Rahmen konkreter Arbeiten mit der Modellsoftware selbst verschaffen.

Die beschriebenen Rechenvorgänge beziehen sich stets auf einen Anschlussbereich. Es ist unbestritten, dass die Investition, die für einen Teilnehmeranschluss aufgewendet werden muss, in großem Umfang mit den Charakteristika der jeweiligen Anschlussbereiche variiert. Relevant sind hier insbesondere die Anschlussdichte, aber auch die Besiedlungsmuster und sonstige Besonderheiten. Um auf Basis der Modellrechnungen einen nationalen Durchschnittswert zu ermitteln, bedarf es daher entweder einer Vollerhebung oder einer repräsentativen Stichprobe von Anschlußbereichen. Es soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass die möglichen Verfahren nicht in diesem Dokument dargestellt und diskutiert werden. Hierzu wird seitens der TKC eine signifikante Stichprobe repräsentativer Ortsnetze in Auftrag gegeben, bei der signifikante regionale Unterschiede berücksichtigt werden. Die Ergebnisse dieser Stichprobe sind die entsprechenden Ortsnetze, welche mittels des zu erstellenden Modells kalkuliert werden.

Einen integralen Bestandteil der Konsultation, bzw. dieses Referenzdokumentes bildet der Fragebogen zur Erhebung der Infrastrukturkosten „Infrastrukturkostenerhebung“, in dem die Kosten jener Anlagen abgefragt werden, welche hier im Referenzdokument angeführt, bzw. erläutert werden.

2 Investitionsrechnung für den entbündelten Teilnehmerzugang

2.1 Netzelemente und Netzstruktur

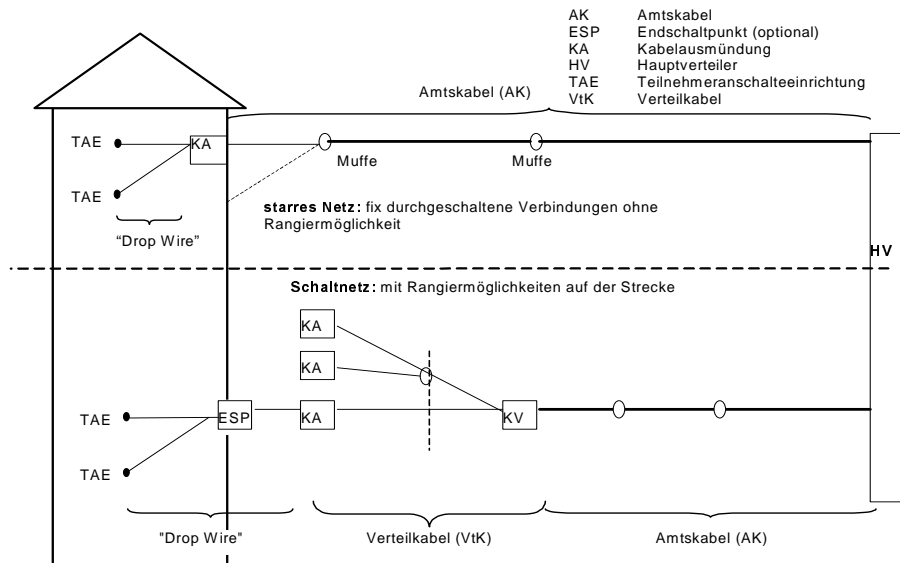
Die Funktion des Anschlussnetzes liegt in der Bereitstellung einer physikalischen Verbindung für Telekommunikationsdienstleistungen zwischen dem Abschlusspunkt der Linientechnik im Gebäude des Teilnehmers (Netzabschlusspunkt „NAP“, Telefonanschlussdose „TDo“, Teilnehmeranschaltseinrichtung „TAE“) und dem Hauptverteiler (HV), der sich entweder an einer lokalen Vermittlungsstelle oder an einer von dieser abgesetzten Konzentratoreinheit befindet. Die Dimensionierung des Anschlussnetzes ist, solange keine konzentrierenden Vorfeldeinrichtungen (sog. pair gain system) betrachtet werden, unabhängig von der Verbindungsnachfrage der einzelnen Teilnehmer. Im Rahmen der hier beschriebenen Modelllogik wird angenommen, dass die physikalische Verbindung durch Kupferdoppeladern bereitgestellt wird. Eine vorrangige Konzentration der Modellentwicklung auf diese Anschlussvariante ist aus regulatorischer Sicht trotz technischer Weiterentwicklungen im Bereich der Anschlusstechnik nach wie vor sinnvoll, da der Anspruch auf entbündelten Teilnehmerzugang sich in der deutlichen Mehrheit der Fälle auf vorhandene Kupferdoppeladern bezieht.

Mögliche Weiterentwicklungen des Modells wären die Berücksichtigung von

- Wireless Local Loop: Eine diesbezügliche Modellerweiterung stellt die Einführung eines Kostendeckels dar, bei dessen Erreichen räumlich extrem isolierte Einheiten nicht mehr terrestrisch, sondern funktechnisch angebunden werden und
- hybride Glasfaser/Kupfernetze: Dafür spricht, dass das Grundproblem der Netzplanung im Zugangsbereich, die kostenminimale Verbindung von Teilnehmern mit Netzknoten höherer Ebene, hier: Kabelverzweiger (KV) und Hauptverteiler in allen leitungsgebundenen Netzen prinzipiell gleich ist. Die unten beschriebenen Verfahren zur Clusterbildung und zur Längenermittlung für Trassen- und Kabelabschnitte sind – ggf. mit geringfügigen Modifikationen – weiterhin verwendbar. Lediglich die unterliegenden Investitionsfunktionen bedürfen der Anpassung.

Die Investitionsmodellierung des Modells umfasst das Netzsegment zwischen Hauptverteiler und der letzten Kabelausmündung (KA = Netzanschaltspunkt). Die Verbindung zwischen der KA und der TDo des individuellen Anschlusses (=Drop Wire) umfasst die Zuleitung zum und die Leitungsführung im Gebäude. Dieser Leitungszug ist durch das „Herstellungsentgelt“ lt. AGB abzudecken und wird folglich im Modell nicht behandelt.

Abbildung 1: Starres Netz und Schaltnetz



WIK

Im starren Netz führt eine **direkte** Verbindung **ohne Rangiermöglichkeit** vom HV bis zur KA.

Im Gegensatz dazu wird im Schaltnetz eine Schaltstelle eingefügt – der Kabelverzweiger (KV). Im KV können Schaltpunkte des Amtskabelnetzes (HV - KV) mit Schaltpunkten des Verteilnetzes (Versorgungsbereich des KV) durch Rangierdrähte verbunden werden.

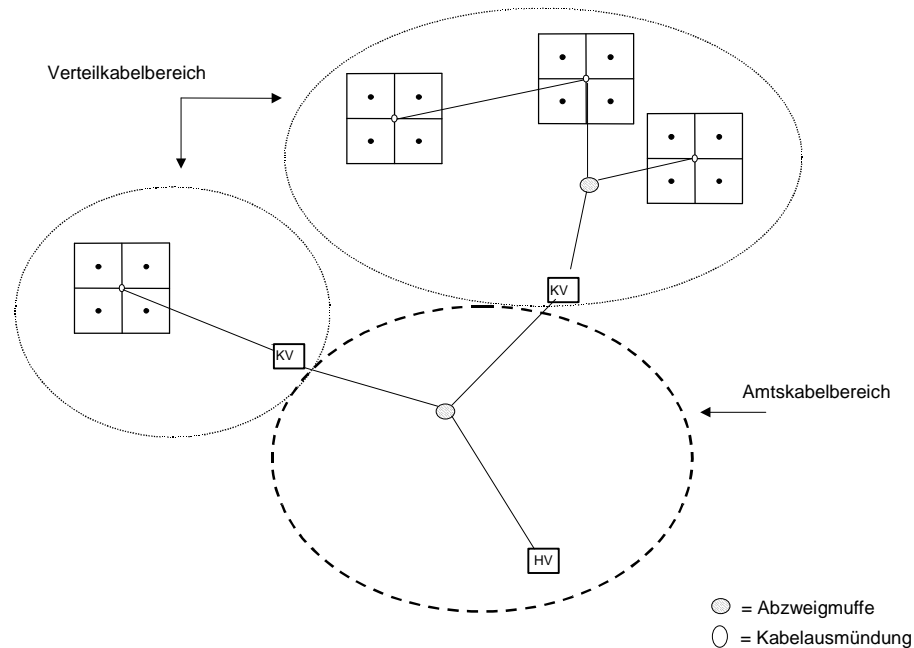
Sowohl im starren als auch im Schaltnetz kann man sich des zugrundeliegenden Topologieproblems im Sinne einer kostenminimalen Anbindung von KA zu HV bzw. KV durch die Berücksichtigung von zusätzlichen Netzelementen, Abzweigmuffen (AM)⁴, annähern.

Das Amtskabel wird linienseitig mit dem Hauptverteiler abgeschlossen. Die Schnittstelle zwischen Amtskabelnetz und Verteilkabelnetz bildet der Kabelverzweiger (KV). Das Verteilkabelnetz kann theoretisch weiter in das Verteilkabelnetz i.e.S. und das Endkabelnetz zerlegt werden. Schnittstellen sind hier Verzweigerpunkte in Form von Abzweigmuffen im Verteilkabel, die ein oder mehrere Gebäude versorgen.

⁴ Abzweigmuffen (AM) sind keine Verzweigerpunkte im Sinne von „Schaltstellen“, sondern fix gepleisste Verbindungspunkte im Zuge jedes Kabelnetzes

Folgende Darstellung soll die Struktur des Amtskabel- und Verteilkabelnetzes verdeutlichen:

Abbildung 2: Stilisierte Struktur eines Anschlussbereiches im Schaltnetz



2.2 Investitionsmodellierung

2.2.1 Hauptverteiler

Am Hauptverteiler werden die Doppeladern des Anschlussnetzes auf sogenannten Trennleisten abgeschlossen. Von diesen Trennleisten, die auch als "senkrechte" Seite des Hauptverteilers (die „leitungsseitige“) bezeichnet werden und die das Anschlussnetz zur Vermittlungseinrichtung hin abschließen, werden die zu beschaltenden Doppeladern mittels Rangierdraht mit den waagrecht angebrachten Schaltstreifen (oder auch Anschlussleisten) der Vermittlungstechnik verbunden. Hierfür sind Investitionen anzusetzen, die sich aus einem fixen Betrag (Investitionen der Unterbringung des HV, Investitionen der Räume für die Hereinführung der Kabel in das Gebäude der Vermittlungsstelle, die Führung der Kabel im Gebäude, die Unterbringung der Aufteilungsmuffen und die Zuführung der Aufteilungskabel zu den senkrechten Abschlusseinrichtungen oder der Kabeleinführung und Aufschaltung in der Konzentratoreinheit) und einem

variablen Block, den Investitionen pro Doppelader am Hauptverteiler, zusammensetzen. Die Anzahl der Doppeladern je Hauptverteiler wird vom Modell auf der Basis aktueller Teilnehmerzahlen und dem Betriebsvorhalt (Reservekapazitäten) ermittelt.

2.2.2 Amtskabelnetz

Die Verbindung zwischen HV und KA (=starres Netz), bzw. HV und KV (=Schaltnetz) erfolgt über Amtskabel. Jeder Hauptverteiler repräsentiert mit dem zugehörigen Amtskabelnetz und der Summe aller Verteilkabelnetze der am HV angeschlossenen KV einen Anschlussbereich. Ziel der Kostenmodellierung ist alle endogen ermittelten KV kostenoptimal an den HV des ASB über Kabelkanalagen und Erdkabelverlegung anzubinden. Investitionen fallen neben diesen infrastrukturbezogenen Elementen auch für den HV selbst an, sowie für zusätzliche Abzweigpunkte.

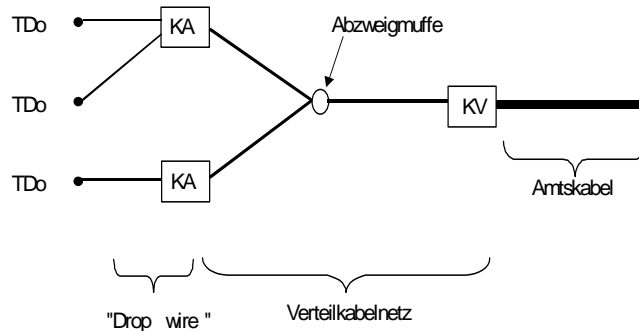
Wenngleich der Kabelverzweiger (KV) den Abschlusspunkt des Amtskabelnetzes bildet, wird er in der Investitionsmodellierung dem Verteilkabelnetz zugerechnet, da der KV zugleich auch Schnittstelle zum Verteilkabelnetz ist.

2.2.3 Verteilkabelnetz

2.2.3.1 Einführung

Das Verteilkabelnetz deckt den genau begrenzten Versorgungsbereich eines KV (Verteilbereich) ab. Es stellt die Verbindung zwischen den in der Form der Kabelausmündungen (KA) mit dem für diesen Bereich zuständigen Schaltpunkt im Netz, dem Kabelverzweiger, her. Alternativ können fixe Spleißstellen in Form von Abzweigmuffen modelliert werden, die das Verteilkabelnetz zu KA hin verästeln.

Abbildung 3: Stilisierte Struktur des Verteilkabelnetzes



Die Verteilkabel enden im Kabelverzweiger (KV), wo sie mittels Rangierdraht mit den Adern des Amtskabels verbunden werden können.

2.2.3.2 Kabelverzweiger

Kabelverzweiger sind im Schaltnetz oberirdische Schaltstellen (Rangierpunkte), in denen Doppeladern des Verteilnetzes auf Doppeladern des Amtskabelnetzes dauerhaft mittels Rangierdraht durchgeschaltet werden. Diese Schaltstellen werden eingesetzt, um die in der Netzperipherie gegebene Planungsunsicherheit nicht bis zum HV fortzuführen, sondern in wirtschaftlicher Weise im Versorgungsbereich des KV abzufangen⁵.

Im Rahmen der Modellierung wird der Versorgungsbereich eines KV durch ein Clusterverfahren ermittelt, in dem ein einzugebener Höchstabstand die Clustergrosse bestimmt. Es ist dabei zu beachten, dass bei grossen Versorgungsbereichen mit hoher Teilnehmerdichte c.p. die Planungsunsicherheit zunimmt und dementsprechend ein niedriger Beschaltungsgrad für den KV angesetzt werden sollte.

Jeder KV hat einen genau umgrenzten Versorgungsbereich. Überlappungen zweier oder mehrerer KV-Bereiche sind nicht gestattet. Im Umkreis von $\approx 400\text{m}$ (Radius) um

⁵ Im Verteilnetz muß generell mit niedrigeren Beschaltungsgraden (sprich: höheren Reservekapazitäten) geplant werden. Dies liegt daran, dass das Wirksamwerden zusätzlicher Anschlussnachfrage kleinräumig, d.h. auf Ebene von Straßenzügen/Blocks schwierig über die gesamte ökonomische Nutzungszeit von Kupferkabeln prognostiziert werden kann. Auf Ebene der Verteilbereiche gleichen sich Prognosefehler mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit aus, so dass Amtskabel höhere Beschaltungsgrade (sprich: niedrigere Beschaltungsreserven) aufweisen können, da nicht für jede Doppelader der Verteilkabel eine Verbindung zum Hauptverteiler vorgehalten werden muss.

einen HV wird im allgemeinen kein KV eingerichtet. Für nahe am HV befindlichen Teilnehmer (im Umkreis von $< \sim 400\text{m}$) besteht keine Verbindung über KV, so dass dort keine Investitionen für das Verteilkabel entstehen, die Teilnehmer werden direkt über das starre Netz an den HV angebunden.

Die Investitionen für Kabelverzweiger setzen sich aus einem fixen Block und einem variablen Block zusammen. Der fixe Block ergibt sich aus den Investitionen für Material und Aufstellung des Gehäuses. Die variablen Kosten ergeben aus den Investitionen für Endverschlüsse und die Arbeitszeit der Montage. Endverschlüsse schließen die Verteilkabel einerseits und die Amtskabel andererseits ab. Ihre Größe und Bauform variiert in Abhängigkeit von der Doppeladerzahl. Relevant sind nicht die beschalteten Doppeladern (DA), sondern die DA der im KV ankommenden Kabel des Amtskabel- und des Verteilkabelnetzes.

2.2.3.3 Kabelausmündungen (KA)

Die Kabelausmündungen dienen zum Anschluss der Drop-Wires des KA-Versorgungsbereiches (zur Versorgung von ein oder mehreren Gebäuden). Erfragt werden im Modell die Investitionen zur Einrichtung der KA sowie die maximale Zahl von Kupferdoppeladerzahl pro KA. Die Investitionen, die durch die Anbindung der Gebäude zu der KA entstehen, werden im Modell nicht behandelt.

2.2.4 Gemeinsame Elemente des Amtskabel – und Verteilkabelnetzes

Neben den hier dargestellten Elementen und den weiter unten aufgeführten infrastrukturanteiligen Elementen werden im Modell sowohl für das Amtskabelnetz als auch für das Verteilkabelnetz zusätzliche Elemente in Form von Abzweig- und Verbindungsmuffen gebildet, die das zugrundeliegende graphentheoretische Optimierungsproblem weiter umspannen.

2.2.4.1 Abzweigmuffen (AM)

Abzweigmuffen (AM) sind ein allgemeines Netzelement jedes baumstrukturierten Netzes, ungeachtet der Netzart. Sie können sowohl im starren Netz, wie auch im Schaltnetz zum Einsatz kommen. Es handelt sich dabei um fix verbundene Leitungsabzweige (Bündelführung), sog. Spleißstellen, die in entsprechenden Hohlkörpern (der eigentlichen Muffe, Muffengehäuse) untergebracht und im Erdreich eingegraben oder in Kabelschächten eingebaut sind. Graphentheoretisch gesehen bilden Abzweigmuffen reine Verzweigungspunkte, die den HV mit mehreren KV oder den KV mit mehreren KA verbinden. Im Modell kann die Anzahl der Verästelungen sowie die Größe der Verteil- beziehungsweise der Versorgungsbereiche pro Abzweigmuffe angegeben werden. Ein Versorgungsbereich bildet im Amtskabelnetz der HV mit dem diesen angeschlossenen

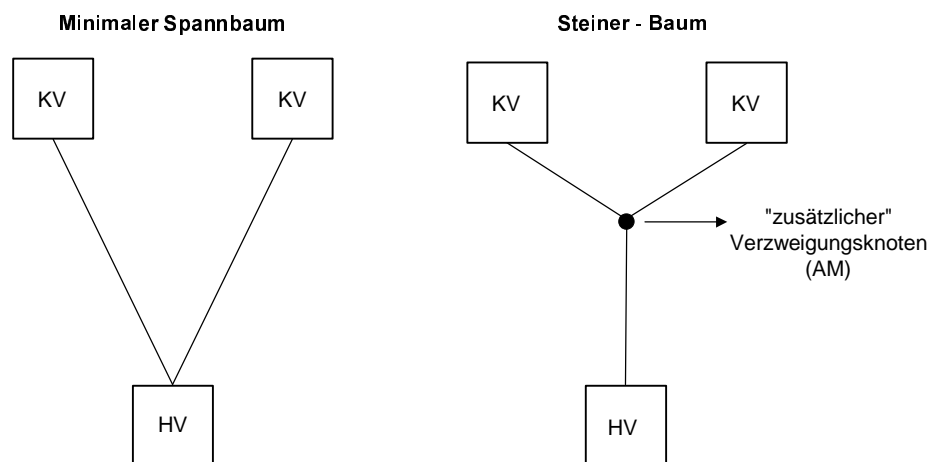
KV, im Verteilkabelnetz wird dieser durch den KV und dem diesen angeschlossenen KA gebildet.

Der Einfachheit halber werden die Standorte der Abzweigmuffen immer im Mittelpunkt des Verteilbereiches angeordnet. Durch dieses Vorgehen wird die Lösung des sogenannten Steiner-Tree Problems approximiert, womit alle möglichen Effizienzsteigerungen ausgeschöpft werden.

Versorgungsbereiche definieren im Modell einen Teilgraphen zur Bestimmung der Standorte von Abzweigmuffen. Die Menge der KV mit dem HV bilden den Grundversorgungsbereich im Amtskabelnetz, die Menge der KA mit dem zugehörigen KV bilden den Grundversorgungsbereich im Verteilkabelnetz.

Ins Modell fließen Preise für Abzweigmuffen, gestaffelt nach der Bündelstärke der Kabel ein. Die Investitionen je Muffe ergeben sich aus einer Komponente je Kabel für die Muffe i.e.S. zuzüglich einer doppeladerabhängigen Komponente für Material und Arbeitslohn bzw. Eigenleistung für die Verbindung der einzelnen Doppeladerpaare (Spleiß- und Montagearbeiten).

Abbildung 4: Effizienzgewinne durch Berücksichtigung von Abzweigmuffen



2.2.4.2 Verbindungsmuffen

Verbindungsmuffen verbinden starr ohne zusätzliche Verzweigungen Kabelsegmente innerhalb des Amtskabel – und Verteilkabelnetzes

Für jeden Trassenabschnitt kann die Anzahl der Muffen berechnet werden, wenn der maximal erreichbare Abstand zwischen zwei Muffen vorgegeben wird. Die Anzahl der Verbindungsmuffen entspricht im Übrigen per Definition der Anzahl der Kabelschächte bzw. Gruben, die je Abschnitt bei der Ermittlung der Tiefbauinvestition berücksichtigt werden.

Die Investitionen je Muffe ergeben sich aus einer Komponente je Kabel für die Muffe i.e.S. zuzüglich einer doppeladerabhängigen Komponente für Material und Arbeitslohn bzw. Eigenleistung für die Verbindung der einzelnen Doppeladerpaare (Spleiß- und Montagearbeiten).

2.2.5 Trassen und Kabel

2.2.5.1 Tiefbauinvestition

Die Kabel werden unter- oder oberirdisch geführt. Bei unterirdischer Verlegung kann zwischen Erdkabel- und Röhrenkabelverlegung (in sogenannten Kabelkanalanlagen) unterschieden werden. Wir gehen davon aus, dass die oberirdische Verlegung im Amtskabelsegment keine Rolle spielt. Hinsichtlich der Anteile von Erd- bzw. Röhrenkabeln müssen im Rahmen der Investitionsanalyse Annahmen getroffen werden bzw. entsprechende Daten dem linientechnischen Dokumentationssystem entnommen werden. Eine Ermittlung dieser Anteile anhand von Effizienzüberlegungen scheidet aus, da die Wahl der Verlegungsart auch von Faktoren abhängt, die im Modell nicht erfasst werden können, wie etwa kommunalen Planungsaufgaben.

Im Modell wird für jeden Trassenabschnitt (und damit de facto für das gesamte Netz) die Investitionssumme für die beiden alternativen Verlegearten ermittelt. Diese Summen werden mit den angenommenen Anteilen der Erdkabel- bzw. Kabelkanalverlegung an den gesamten Kabeltrassen gewichtet und zu einem Investitionswert addiert.

Im Folgenden sind die Komponenten dargestellt, die bei der Investitionsrechnung für einen Trassenabschnitt zunächst im Fall der Erdkabelverlegung, dann im Fall der Verlegung als Kabelkanal zu berücksichtigen sind. In beiden Fällen ist neben Tiefbau- und Materialinvestitionen zu berücksichtigen, dass für Netzplanung und Genehmigungsverfahren, Flurschadens- und Duldungsabgeltung sowie Netzdokumentation ebenfalls Kosten je Trassenmeter in Ansatz zu bringen sind, die aber als klassische Overheadkosten in die Baukosten eingerechnet werden können.

2.2.5.1.1 Erdkabelverlegung

Bei Erdkabelverlegung sind folgende Arbeiten grundsätzlich zu unterscheiden, für die im Rahmen der Modellrechnung Preise angegeben werden müssen:

Tabelle 1: Inputparameter bei Erdkabelverlegung

Tätigkeit:	Basispreis ausgedrückt als:
Aufbruch befestigter Verkehrsflächen samt Lagerung/Entsorgung des Aufbruchmaterials	Euro/m ²
Ausheben und Verfüllen des Kabelgrabens/Lagerung des Auszugs bzw. Materialaustausch	Euro/m ³
Einbringen eines Sandbettes (Vorsanden und Betten)	Euro/m ³
Besondere Bauwerke wie Straßenquerungen, Schutzverrohrungen	Euro/m ³
Wiederherstellen der Oberfläche samt Materialbeistellung	Euro/m ²
Kabelverlegung selbst samt Nebentätigkeiten wie Zudecken usw.	Euro/m

Anhand dieser Basispreise können Preise je Trassenmeter ermittelt werden, wenn die Grabenmaße bekannt sind. Zur Sicherung der Modellflexibilität werden die Maße im Modell als nutzerdefinierte Variablen behandelt. Als üblich wird ein Grabenmaß von 40cm*80cm erachtet.

Bei einigen Positionen sind darüber hinaus weitere Differenzierungen notwendig. So hängen die Kosten der Oberflächenarbeiten von der Art der Oberflächen ab. Die geringsten Investitionen sind bei unbefestigten Oberflächen zu veranschlagen. Die höchsten Investitionen entstehen bei Arbeiten im Bereich von Fahrbahnen und für die Wiederherstellung von aufwendig gestalteten Oberflächen in Fußgängerzonen und Zentren. Bei der Investitionsrechnung für einen Trassenabschnitt könnten die Oberflächen theoretisch im Einzelfall erhoben werden, was aber aufgrund der hohen Aufwandes selbst stichprobenweise nicht opportun erscheint. Einen weiteren relativ hohen Einfluß auf die Grabungskosten hat die Beschaffenheit des Bodens. Um diesen Effekt zu berücksichtigen, könnte im Modell vorgesehen werden, bei der Dateneingabe zwischen insgesamt sieben Bodenklassen gemäß nachstehender Tabelle zu unterscheiden (gemäß den Bodenklassen 1-7 der Allgemeinen Verdingungsordnung für Bauleistungen nach ÖNORM B 2205):

Tabelle 2: Klasseneinteilung nach ÖNORM B 2205

Boden- / Felsklasse	Faktor
Klasse 1: Mutterboden (Humus, Oberboden) und Zwischenboden	
Klasse 2: wasserhaltiger Boden (Schöpfungsboden)	
Klasse 3: leichter Boden (loser Boden)	1,0*
Klasse 4: mittelschwerer Boden (Stichboden)	
Klasse 5: schwerer Boden (Hackboden)	
Klasse 6: leichter Fels (Reißfels) und Schrämboden	
Klasse 7: schwerer Fels	

Es ist davon auszugehen, dass diese Informationen nicht in im GIS-System für jeden potentiellen Trassenabschnitt vorliegen. Eine Vor-Ort Erhebung scheidet aus Kosten- und Zeitgründen selbst für die Stichprobe aus, deshalb muß ein gemittelter Wert je Dichtegebiet (siehe Infrastrukturkostenerhebung) erhoben werden.

Es ist klarzustellen, dass die Angaben zur Bodenart sich stets auf die geologische Bodenbeschaffenheit (den "gewachsenen" Boden) beziehen. Die meisten Tiefbauarbeiten im Bereich der Kabelverlegung berühren demgegenüber aufgrund der meist relativ geringen Verlegetiefe (ca. 80cm) und der Orientierung der Trassen an Straßenverläufen entweder bereits in früheren Zeiten bearbeiteten Boden oder Bodenschichten, die nicht gewachsen sondern durch die historische Besiedlung (sog "Kulturschutt") bzw. Bewuchs (Humus) aufgebaut worden sind (vgl. Klasse 1). Nicht zu vernachlässigende Abweichungen vom Basispreis treten darüber hinaus vor allem bei den Bodenklassen 2, 6 und 7 auf, während die Klassen 1,3,4, und 5 in der Praxis zu einheitlichen Preisen abgerechnet werden können.

Der Einfluss unterschiedlicher Bodenarten auf die Tiefbauinvestition ist in der Praxis sicherlich nicht zu vernachlässigen. Aufgrund der Vielzahl der bereits getätigten Bauvorhaben ist es sicherlich möglich, die unterschiedliche Beschaffenheit des Bodens in die Grabungskosten je Dichtegebiet einzurechnen bzw. die Kosten je nachzubildendem Ortsnetz anhand der Stichprobe anzugeben. In diesem Sinne werden die angesprochenen Probleme der Datenbeschaffung wesentlich entschärft und letztendlich scheint es vertretbar, Tiefbaupreise im diesem Sinne zu erfragen und im Rahmen der Modellrechnungen gemittelte Kosten über die diversen geologischen Beschaffenheiten einzusetzen.

Bei Tiefbauarbeiten fallen noch weitere Leistungen bzw. Erschwernisfaktoren an, deren Umfang und Relevanz ex-ante schwer zu ermitteln sind. Es sind dies exemplarisch:

- Weitere Leistungen: Aufnehmen und Einsetzen von Bord- und Randsteinen, Rodungs- und Pflanzarbeiten sowie Verkehrsbsperrungen und Sicherungen der Baugrube, besondere Schutzbauten, Brücken- und Gerinnequerungen.
- Mögliche Erschwernisse: Mauer- und Wurzelreste, Bodenkontamination, vorhandene Kabel und Rohrleitungsanlagen, klebrige oder gefrorene Böden, Mehrtiefen, Grabeneinengungen.

Um diese Faktoren angemessen zu berücksichtigen, halten wir einen Abgleich der Investitionssummen je lfd. Meter, die anhand der im Modell verwendeten Stückliste ermittelt werden können, mit Gestehungspreisen für kürzlich realisierte Bauvorhaben für sinnvoll. Die kostenrelevanten Auswirkungen dieser Faktoren sind in die gemittelten Grabungskosten einzurechnen.

Im Modell werden Trassenlängen abschnittsweise ermittelt (vgl. Abschnitt 3). Ein Trassenabschnitt verbindet zwei Knotenpunkte des Netzes, z.B. Hauptverteiler mit dem Kabelverzweiger oder mit einer KA (oder KV bzw. HV mit einem zusätzlichen Abzweigpunkt im Netz, falls diese berücksichtigt würden). Die Entfernungen werden mit den errechneten durchschnittlichen Tiefbaukosten pro Meter bewertet. Für jeden Trassenabschnitt müssen zusätzlich Bau- und Montagegruben (anders ausgedrückt: Verbreiterungen und Vertiefungen des Kabelgrabens) für die Montage von Verbindungs- bzw. Abzweigmuffen berücksichtigt werden. Der Abstand, der in der Praxis ohne Verbindungsmuffen überbrückt werden kann, ist von der verwendeten Kabel- oder Rohrdimension abhängig und wird vom Benutzer vorgegeben. Das Modell berücksichtigt Muffen für alle Trassenabschnitte, die diese Länge überschreiten und darüber hinaus an allen Kabelverzweigerstandorten.

2.2.5.1.2 Kabelkanalanlagen (Röhrenkabel)

Beim Bau von Kabelkanalanlagen sind folgende Leistungen zu bewerten: Zunächst fallen prinzipiell die gleichen Tiefbauarbeiten an wie bei der Erdkabelverlegung. Zu beachten ist allerdings, dass Kabelkanalanlagen mehrere Rohrzüge umfassen, und daher das Volumen der Erd- und Oberflächenarbeiten entsprechend größer anzusetzen ist. Unter Umständen muss der Graben zusätzlich während der Arbeiten abgestützt werden.

Zusätzlich zu bewerten sind Material und Verlegung der Rohre (eine geschlossene Rohrlinie = Rohrzug, mehrere parallel verlaufende Rohrzüge = Rohrverband), sowie die notwendigen vertikalen Kabelschächte, die das Einziehen von Kabeln und den Zugriff auf die eingezogenen Kabel ermöglichen. Für die Rohrzüge werden i.d.R. PVC-Rohre mit 100mm bzw. 125mm Durchmesser verwendet. Als Kabelschächte kommen Betonfertigschächte oder aus Ortsbeton gefertigte Schächte zum Einsatz, die dem Zweck des Kabelschachtes und der Zuganzahl der Anlage angepasst sind. Weiterhin können verschiedene Ausführungen und Brückenklassen (Belastbarkeit) unterschieden werden

(dies gilt insbesondere für die Statik der Schachtdecke und der Schachtdeckel über der Einstiegsöffnung). Der maximale Abstand zwischen zwei Schächten ergibt sich u.a. aus der Zugbelastbarkeit der hochpaarigen Nachrichtenkabel und dem Verlauf des Rohrverbandes (viele oder wenige vertikale und horizontale Krümmungen. Im Modell wird der Schachtabstand, der in der Praxis erreichbar ist, vorgegeben, so dass für jeden Trassenabschnitt im Kabelsegment die Zahl der zu berücksichtigenden Kabelschächte ermittelt werden kann. Kabelschächte sind darüber hinaus annahmegemäß an den Kabelverzweigerstandorten lokalisiert.

Kabelkanalanlagen beherbergen in der Regel Kabel verschiedener Netze bzw. Netzsegmente sowie leere Rohre für zukünftigen Bedarf (Betriebsvorhalt). Es stellt sich folglich das Problem der Zurechnung der gesamten Investitionen zu den einzelnen Netzen bzw. Kabeln (Ortsvermittlungskabel, Weitverkehrskabel). Im Rahmen der Investitionsmodellierung wird so vorgegangen, dass jedem Kabel auf einem Trassenabschnitt ein Rohrzug zugerechnet wird. Die Zurechnung der Investitionen folgt also dem Kriterium der tatsächlichen Inanspruchnahme der Rohrzüge, Größenvorteile werden durch die tatsächliche Anzahl der Rohrzüge realisiert.

Die auf einen Kabelzug entfallenden Investitionen ergeben sich durch Division der Investitionen je lfd. Meter durch die Anzahl der Züge insgesamt. Da letztere nicht direkt für jeden Trassenabschnitt ermittelt werden kann, weil die Zahl der mitverlegten Kabel nicht bekannt ist, soll so vorgegangen werden, dass Investitionen je Zug und Meter für die am häufigsten errichteten Kanalanlagen verschiedener Zugzahlen errechnet und anschließend Durchschnittswerte je lfd. Zugmeter ermittelt werden (lfdm/Rohrzugkostenanteil).

Diese Werte werden dann mit der Länge des betrachteten Trassenabschnittes und mit der Anzahl der dort parallel verlaufenden Kabel des Access-Netzes multipliziert.

2.2.5.1.3 Luftkabel

Luftkabeln sind typischerweise im sogenannten „niederpaarigen Bereich“, von 2 bis 20 DA üblich. Diese Art der Kabelverlegung ist aufgrund der günstigen Kosten in den „Netzausläufern“ des Anschlussnetzes (starres Netz und Schaltnetz) relevant. In seltenen, durch besondere Landschaftsformen bedingten Fällen werden Luftkabel auch im Weitverkehrs-Bereich eingesetzt, solche Bauweisen sind jedoch für eine allgemeinstatistische Betrachtung von nachrangiger Bedeutung. Bei der Luftkabelverlegung fallen im allgemeinen nur geringe Tiefbauarbeiten an. Statt dessen müssen Investitionen für Material und Aufstellung von Masten berücksichtigt. Die verwendeten Kabel weichen von denen ab, die bei unterirdischer Verlegung benutzt werden. Die oberirdische Bauweise ist instandhaltungsintensiver (Wartung und Reparatur) als unterirdisch geführte Linien.

2.2.5.2 Kabelinvestitionen

Zur Bestimmung der Investitionen in Kupferkabel ist zunächst die Anzahl der Doppeladern zu bestimmen, die in einem Trassenabschnitt geführt werden sollen. Diese Zahl errechnet sich aus der Summe der Anschlüsse der Verzweigerbereiche (Versorgungsbereiche), die über einen bestimmten Trassenabschnitt zum Hauptverteiler geführt werden sollen zuzüglich einer Beschaltungsreserve für zukünftige Nachfrage sowie einer begrenzten technischen Reserve (Betriebsvorhalt). Da Kabel nur in fix abgestufter Paarigkeit verfügbar sind, ist die nächsthöhere verfügbare Kabelpaarigkeit zu bestimmen und im Rahmen der Investitionsrechnung anzuwenden. Werden z.B. 260 Doppeladern benötigt, so wird ein Kabel mit 300 DA verlegt. Neben den Materialkosten sind Verlegekosten anzusetzen, die in begrenztem Umfang mit der Kabelpaarigkeit degressiv zunehmen.

3 Bestimmung der Netztopologie

Die bis hierher beschriebenen Investitionsfunktionen setzen zu ihrer Anwendung voraus, dass Informationen über die Struktur des Teilnehmeranschlussnetzes im Detail vorliegen. Im einzelnen handelt es sich hierbei um

- die Koordinaten der Hauptverteiler, die Versorgungsbereiche und die Anzahl der angeschlossenen Teilnehmer der Hauptverteiler;
- die Koordinaten, Versorgungsbereiche und die Anzahl der angeschlossenen Teilnehmer der Kabelverzweiger;
- die Koordinaten und angeschlossenen Teilnehmer aller anschlussnahen Abzweigmuffen;
- eine Liste der Amtskabelabschnitte mit Länge und Doppeladerzahl;
- eine Liste der Verteilkabelabschnitte mit Länge und Doppeladerzahl;

Im Rahmen der Modellberechnungen wird zum ersten Punkt auf Angaben der TA zurückgegriffen werden können. Alle anderen für die Investitionsrechnung notwendigen Informationen werden bottom-up im Rahmen der Modellrechnungen anhand der der TKC zur Verfügung stehenden geographischen und demographischen Daten ermittelt. Die verschiedenen Rechenschritte werden in den nächsten Abschnitten erläutert.

3.1 Bestimmung der Anschlußlokationen

Da das Grundproblem der Netzplanung die Verbindung von Teilnehmern mit Netzknoten ist, müssen für eine disaggregierte Investitionsrechnung in einem ersten Arbeits-

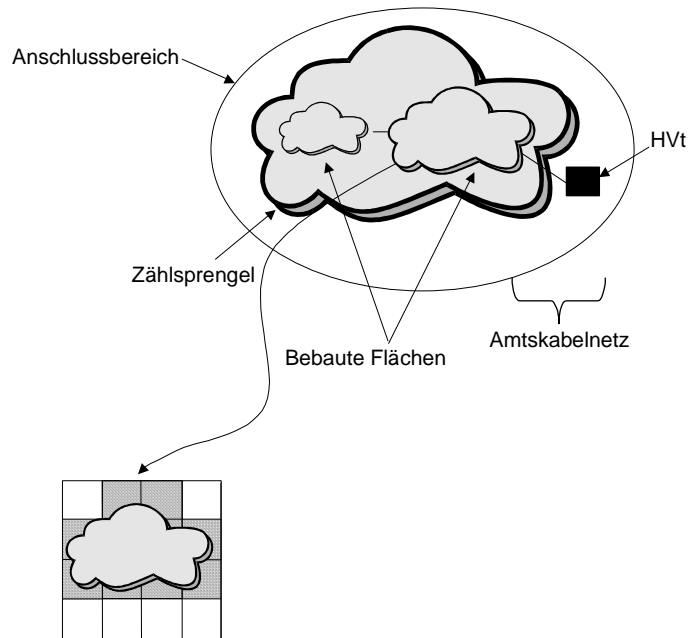
schrift die Koordinaten der Teilnehmer innerhalb der Grenzen eines zu untersuchenden Anschlussbereichs bestimmt werden. Es wird davon ausgegangen, dass jedes Wohngebäude und jedes Geschäftsgebäude mit dem Anschlussnetz verbunden ist. Die Zahl der Anschlüsse, die in jedem Gebäude liegen, variiert mit Größe und Art des Gebäudes und eines ev. darin befindlichen Betriebes. Im Idealfall liegen für die Berechnungen hierzu Koordinaten aller Wohn- und Geschäftsgebäude zusammen mit den jeweiligen Anschlusszahlen vor. Derartige Daten liegen unseres Wissens für Österreich derzeit nur punktuell für Ballungsräume vor. Die Anzahl der Anschlüsse je Gebäude ist nicht so sehr ausschlagkräftig wie die Anzahl der Gebäude an sich, da der Hauptkostentreiber die Kosten der Grabung sind, die Kosten des Kabels und der Leiter hingegen weniger ins Gewicht fallen.

Geographische und sozio-demographische Daten (Wohnbevölkerung, Haushalte, Wohngebäude, Flächennutzung, ...) sind bis hinunter auf die Abgrenzung der Zählsprenkel verfügbar. Die ca. 8700 österreichischen Zählsprenkel umfassen im Durchschnitt 832 Einwohner, wobei der Median bei 749 Einwohnern liegt. In einem Zählsprenkel liegen im Schnitt 225 Häuser, im Median 191. Angaben zur internen Struktur der Zählsprenkel, also etwa zur Verteilung der Wohngebäude in der Fläche liegen nicht vor. Annahmen müssen folglich zu Gebäudestandorten innerhalb der Fläche der demographischen Aggregationseinheiten (Zählsprenkel oder Baublöcke) getroffen werden, wenn eine Detailmodellierung des Anschlussnetzes vorgenommen werden soll. Im Kern werden also hypothetische Gebäudekoordinaten bestimmt, welche die nicht bekannte Verteilung der Gebäude in der Realität möglichst zutreffend approximiert.

Da die Zählsprenkel nicht gleichmäßig bebaut sind, scheidet die Annahme der Gleichverteilung u.E. aus, da so die Besonderheiten und Unterschiede der Besiedlungsstrukturen insbesondere im ländlichen Raum nicht angemessen wiedergegeben werden können. Zur Festlegung plausibler Gebäudekoordinaten wird daher der bisher verwendete Ansatz⁶ wie folgt modifiziert. Vorerst erfolgt die Ermittlung der Zählsprenkel, welche sich mit dem zu untersuchenden Anschlussbereich überschneiden. Die Fläche dieses Anschlussbereichs wird mit einem 300x300 Meter Raster bedeckt, welcher noch einmal geviertelt werden kann. Anhand einer digitalisierten Karte möglichst kleinen Maßstabes (1:50.000) werden im nächsten Schritt die bebauten Gebiete identifiziert. Die für jeden Zählsprenkel dokumentierten Gebäude werden sodann gleichmäßig auf die bebauten Raster des Anschlussbereichs verteilt (siehe **Abbildung 5**: Rasterung von bebauten Flächen).

6 Vgl. WIK, 1998.

Abbildung 5: Rasterung von bebauten Flächen



Dabei werden die Anteile der verschiedenen Gebäude für jedes Raster entsprechend der Anteile im Sprengel angenommen. Daten (aus den jeweiligen Datenbanken) liegen zu folgenden Kategorien vor:

1. Wohngebäude mit Sitz eines landwirtschaftlichen Betriebs,
2. Wohngebäude mit 1 oder 2 Wohnungen,
3. Wohngebäude mit 3 oder mehr Wohnungen,
4. Wohngebäude mit anderer zusätzlicher Nutzung,
5. Geschäfts-, Bürogebäude,
6. Werkstattegebäude, Fabriks-, Lagerhalle,
7. Hotel, Gasthof, Pension,
8. Öffentliches Gebäude,
9. Sonstiges Gebäude.

Um jedem Gebäude eine Anschlussnachfrage zuzuordnen, gehen wir wie folgt vor: Nachdem die Gebäudezahlen für einen Anschlussbereich bestimmt worden sind, werden den Kategorien 1, 2 und 4 jeweils 1,5 Privatanschlüsse als erste Modellannahme zugewiesen. Die restlichen Privatanschlüsse werden durch die Gebäudezahl in Kategorie 3 geteilt und gerundet, um die Privatanschlüsse je Mehrfamilienhaus zu ermitteln.

Die Anzahl der Geschäftsanschlüsse wird durch die Gebäudezahl der Kategorien 5,6,7, und 8 geteilt und gerundet, um die Anzahl der Anschlüsse je Geschäftsgebäude zu ermitteln. Folglich arbeitet das Modell mit den drei Haustypen Ein- oder Zweifamilienhaus, Mehrfamilienhaus und Geschäftsgebäude, wobei die Anschlusszahlen für die beiden letztgenannten zwischen Anschlussbereichen variieren können.

Dieses Vorgehen geht zwar von einer gleichförmigen Bebauung der Siedlungsflächen in einem Zählsprenkel aus, was der Realität nicht entsprechen kann, erlaubt aber eine Unterscheidung zwischen Freiflächen und bebauten Flächen und spiegelt zudem Unterschiede in der Siedlungsdichten zwischen Zählsprenkeln korrekt wieder.

Damit wird der wesentliche Kostentreiber des Anschlussnetzes, nämlich die Trassenlänge korrekt erfasst, da davon auszugehen ist, dass in jedem Falle alle bebauten Flächen zu erschließen sind. Der Fehler, der aus der Annahme der gleichmäßigen Verteilung der Gebäude über die bebauten Flächen resultiert, wirkt sich dann nur auf die Kabelinvestitionen, nicht aber auf die Tiefbauinvestitionen aus. Der Fehler im Bereich der Kabelinvestition geht darauf zurück, dass dichtbesiedelte Flächen mit Bürogebäuden und Mehrfamilienhäusern tendenziell in den Siedlungszentren und damit in der Nähe der Hauptverteiler angesiedelt sind. Man kann daher erwarten, dass die Annahme einer gleichmäßigen Verteilung die Investitionen in Kupferkabel überschätzt.

Wenn zukünftig für einige oder alle zu untersuchenden Anschlussbereiche Daten auf niedrigerer Aggregationsebene (z.B. Baublöcke oder Gebäudekoordinaten) vorliegen, kann die Vorgehensweise prinzipiell beibehalten werden, wobei die Differenzierung hinsichtlich unterschiedlicher Bebauungsdichte entsprechend weiter getrieben werden kann. Hierdurch wird auch der potentielle Fehler im Bereich der Kabelinvestitionen verringert.

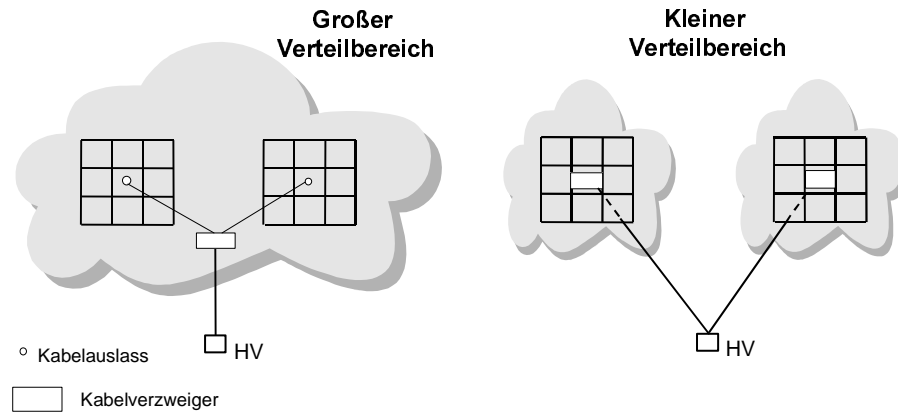
3.2 Bildung von Verteilbereichen und Festlegung der KV-Standorte

Nachdem im ersten Schritt für Wohn- und Geschäftsgebäude Koordinaten festgelegt worden sind, erfolgt in einem zweiten Schritt die Zusammenfassung der Gebäude, bzw. der bebauten Raster zu Verteilbereichen mittels eines Clusterverfahrens. Ein Verteilbereich ist im Schaltnetz durch das Vorhandensein eines Kabelverzweigers definiert. Die Clusterung kann anhand der bebauten Raster vorgenommen werden. Es ist dann vertretbar, alle Gebäude eines Rasters theoretisch dem gleichen Verteilbereich zuzuordnen.

Die Zuordnung der Gebäude zu Verteilbereichen wird folgendermaßen vorgenommen: Nachdem alle Gebäude innerhalb eines Anschlussbereiches ermittelt wurden, wird geprüft ob der Abstand eines Rasters (in dem sich die Gebäude befinden) zu einem anderen (bebauten) Raster nicht eine vorzuziehende Entfernung überschreitet. Wenn dies nicht der Fall ist, werden beide Raster dem selben Verteilbereich zugeordnet. Aufgrund des einzugebenden Abstandsmaßes können sich somit sehr große Verteilbereiche -

auch bei weniger dicht besiedelten Gebieten - bilden. Bei der Bildung der Verteilbereiche ist jedoch darauf zu achten, dass es aus netzplanerischen Sicht nicht sinnvoll ist, alle im Schaltnetz befindlichen Teilnehmer über - im Extremfall - einen Kabelverzweiger an den HV anzubinden, da höhere Investitionen für Kabel und Doppeladern anfallen.

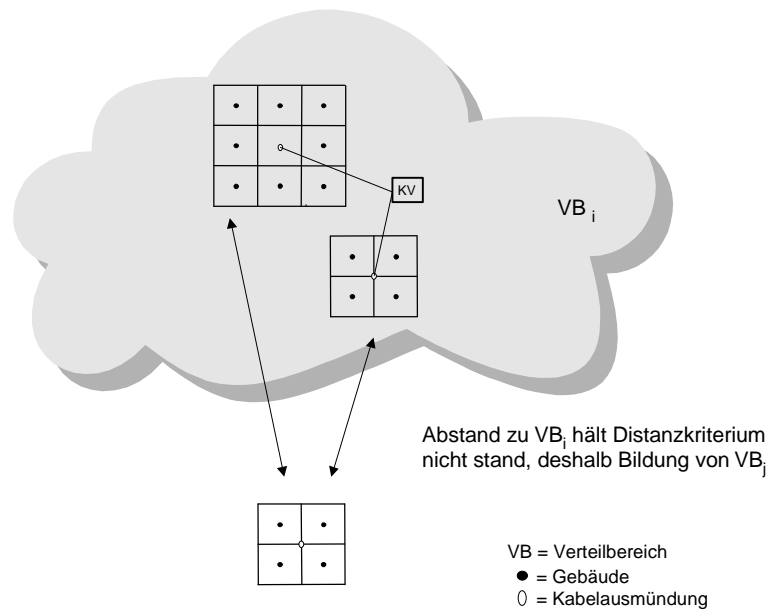
Abbildung 6: Unterschiedliche Ausprägungen von Clustern



Als weitere Nebenbedingung für die Bildung von Verteilbereichen wird die maximale und minimale Anschlusszahl pro Verteilbereich eingegeben. Der Nutzer kann eine Obergrenze und Untergrenze für die Zahl der anzuschließenden Teilnehmer je Cluster (Verteilbereich) vorgeben. Übersteigt die Teilnehmerzahl eines Clusters diesen einzuhaltenden Höchstwert, so wird dieser weiter zerlegt. Bei der Zerlegung eines Clusters streben wir eine gleichmäßige Aufteilung an. Anhand von Optimierungsalgorithmen zur Standortwahl werden die Kabelverzweiger an das Ende des 1. Drittels des Versorgungsbereiches (vom Standort der Vermittlungsstelle aus gesehen) plaziert, um die Gesamtkabellänge zu optimieren (Rückversorgung).

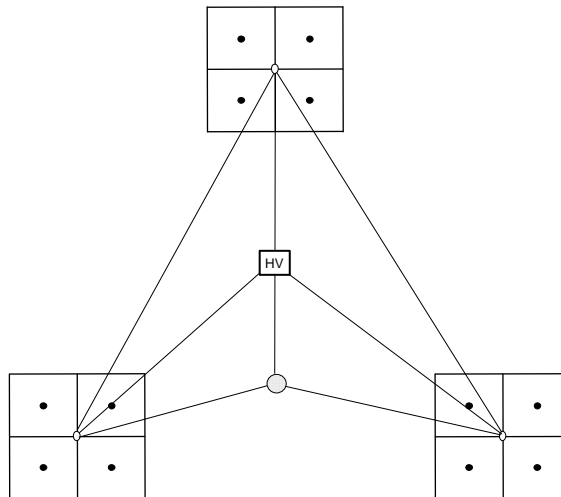
Umgekehrt werden viele Cluster so klein sein, dass sie für sich genommen keinen selbständigen Verteilbereich konstituieren sollten. Daher kann bei Anwendung des Modells auch eine Mindestteilnehmerzahl festgelegt werden, die nach Möglichkeit erreicht werden soll. Cluster, die diese Teilnehmerzahl nicht erreichen, werden mit einem oder mehreren benachbarten Clustern zusammengefasst, solange ein einzuhaltender Höchstabstand nicht überschritten wird.

Abbildung 7: Bildung von Verteilbereichen mittels Clusteralgorithmus



Nach endgültiger Festlegung der Verteilbereiche werden die noch offenen Standpunkte für die Kabelverzweiger im Schwerpunkt der jeweiligen Bereiche lokalisiert.

Im starren Netz sind Teilnehmer über die KA direkt oder über Abzweigmuffen an den HV angebunden. Nach Festlegung der Einzugsbereiches des starren Netzes werden alle KA und Abzweigmuffen mit dem HV voll vermascht. Alle Kanten bilden somit potentielle Verlegungsstrecken, wobei jedoch die kostenmäßig effiziente verwirklicht wird.

Abbildung 8: Anbindung der KA an HV im starren Netz

3.3 Bildung der Versorgungsbereiche und Standortfestlegung von Abzweigmuffen (AM) und Kabelausmündungen (KA)

Wie bereits erwähnt sind die genauen Gebäudestandorte eben sowenig bekannt wie die zugehörigen Grundstücksgrenzen. Daher sind zum Zwecke der Modellrechnungen Annahmen zur Grundstücksgröße und zur Lokation von Gebäuden zu treffen.

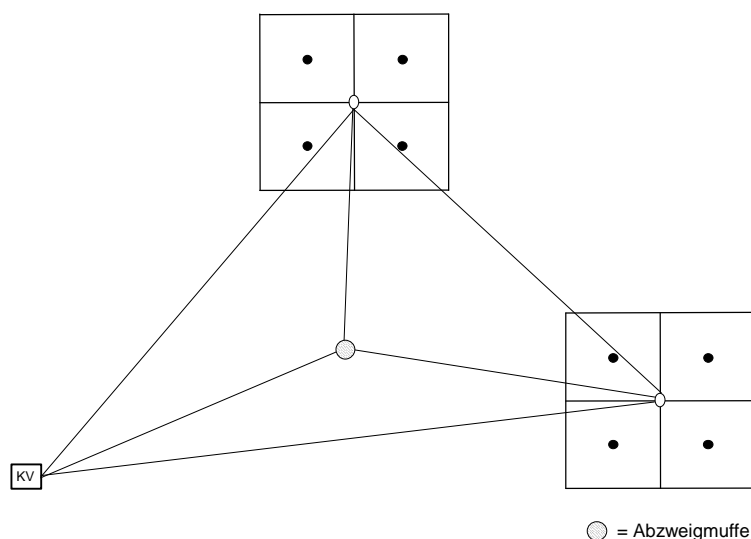
Aus den Vorberechnungen ist bekannt, wie viele Gebäude durchschnittlich auf ein Raster entfallen. Wir unterteilen nun dieses Raster weiter in gleich große Quadrate, die die einzelnen Grundstücke darstellen. Da bei einer Aufteilung der Raster in Quadrate immer nur n^2 Felder, also 1,2,4,9,16,25 etc, möglich sind, wählen wir die jeweils nächsthöhere Anzahl an Quadraten und verteilen die Gebäude zufällig auf diese Felder. Entfallen also auf ein Raster 20 Gebäude, so wird dieses in $5^2=25$ Felder aufgeteilt. Mit dem hier beschriebenen Verfahren wird den gewachsenen Siedlungsstrukturen (urbanner, suburbaner Raum) Rechnung getragen.

Nach der Bildung von Verteilbereichen ist die Anzahl der Gebäude, die auf einem Verteilbereich entfallen, bekannt. Im Anschluss der Bildung von Verteilbereichen werden die Gebäude mittels des oben beschriebenen Clusteralgorithmus zu Versorgungsbereichen des KAs zusammengefasst. Ein Versorgungsbereich umfasst die durch der KA zu versorgenden Gebäude sowie die Anbindung der KA an den KV selber. Verteil- und Versorgungsbereich definieren somit die gleichen Elemente, graphentheoretisch definieren sie jedoch zwei unterschiedliche Optimierungsprobleme. Der Verteilbereich wird aus der Gesamtmenge eines Anschlußbereiches (ASB) gebildet, der Versorgungsbe-

reich detailliert die im Verteilbereich befindlichen Gebäuden und faßt mehrere Gebäude zu KA – Clustern zusammen. Ziel der Bildung von Versorgungsbereichen ist die möglichst nahe Lokation von Abzweigmuffen an den Quellknoten, also dem HV im Amstka-belnetz und dem KV im Verteilkabelnetz.

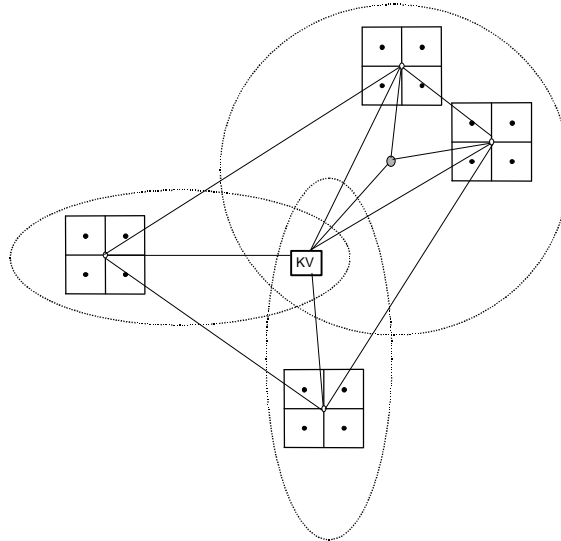
Durch die Vorgabe der maximal erreichbaren Gebäude (beziehungsweise der Anzahl der Kupferdoppeladern) können pro KA in ruralen, isolierten Verteilbereichen beginnend mit der ersten KA mehrere Gebäude versorgt und somit die Grösse eines Versorgungsbereiches bestimmt werden.

Abbildung 9: Bildung von Versorgungsbereichen



Der KV ist hier stilisiert eingezeichnet, da er bei der Clusterbildung der KV in der Mitte eines Verteilbereiches gebildet wird. Zur grundsätzlichen begrifflichen Unterscheidung zwischen Verteil – und Versorgungsbereich soll folgende Abbildung beitragen.

Abbildung 10: Darstellung von Verteil – und Versorgungsbereichen



Der hier dargestellte Graph umfasst einen Verteilbereich mit drei innenliegenden Versorgungsbereichen, die durch die gestrichelten Kreise abgegrenzt werden.

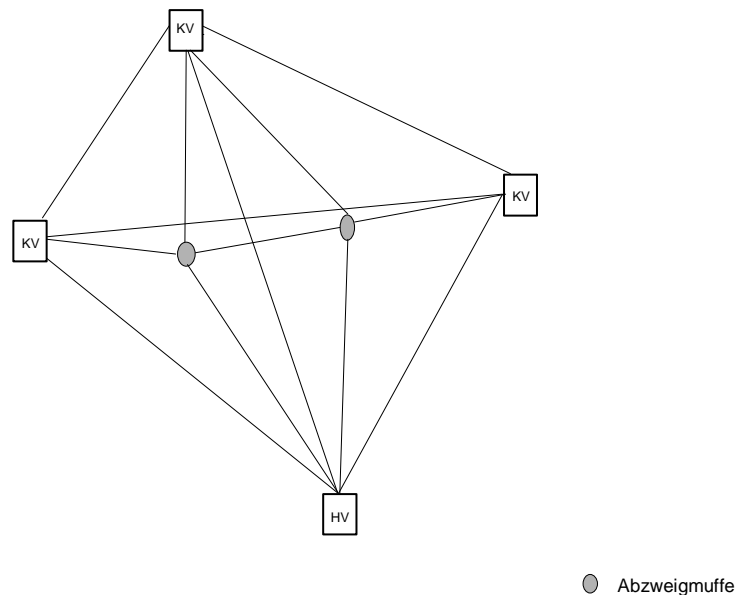
3.4 Ermittlung der Abschnitte des Amtskabelnetzes

Bei der Amtskabelnetzplanung liegt ein trade-off zwischen der Minimierung der Tiefbauinvestition und damit der Trassenlänge und der Minimierung der Kabel- oder präziser der Doppeladerlängen vor. Ein hinsichtlich der Trassenlängen optimiertes Netz weist eine ausgeprägte Baumstruktur auf, während ein hinsichtlich der Doppeladerlängen optimiertes Netz eine Sternstruktur aufweist. Beide Topologien führen jedoch in aller Regel zu höheren Investitionen als ein ausgewogen geplantes Netz, wenn nicht eine der beiden Investitionskategorien die andere überdeutlich dominiert. Der im Modell zur Bestimmung der Netztopologie verwendete Algorithmus berücksichtigt den beschriebenen trade-off und nähert daher eine unter den vorgegebenen Randbedingungen effiziente Netztopologie an.

Dieser Algorithmus, der als shortest-path Algorithmus bekannt ist, bindet die Netzknoten (hier die Kabelverzweigerstandorte) sukzessive an den Basisknoten bzw. die Wurzel an. Zuerst angeschlossen wird der Knoten, dessen Anbindung die geringsten Investitionen verursacht. Dies ist immer der dem HV (bzw. dem KV) am nächsten liegende Knoten. Im folgenden Schritt wird geprüft, welcher der verbleibenden Knoten nunmehr zu geringsten Kosten angebinden werden kann. Dabei prüft der Algorithmus nicht nur die direkte Verbindung zum HV, sondern auch die Verbindung über den bereits ange-

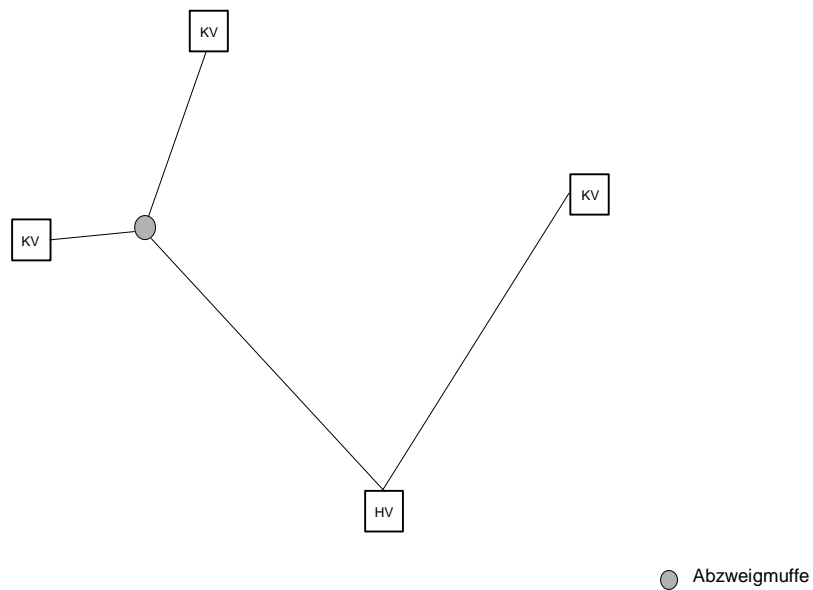
geschlossenen Knoten. Hierbei sind die inkrementellen Kosten maßgeblich, d.h. es wird nicht nur die direkte Verbindung zu einem bereits angeschlossenen Kabelverzweiger bewertet (klassischer minimum spanning tree), sondern auch die Zusatzinvestition durch die nunmehr erforderlichen höherpaarigen Kabel von diesem Knoten zurück zum HV. Dieser Schritt wird wiederholt, bis alle Knoten mit dem Hauptverteiler verbunden sind. Als Ergebnis liegt eine Liste aller Trassenabschnitte mit Längenangaben und den benötigten Doppeladerzahlen vor. Natürliche geografische Gegebenheiten (z.B.: Flüsse, Gewässer, Berge,...) bleiben dabei nicht außer Acht, sondern werden mittels eines Umwegfaktors berücksichtigt.

Abbildung 11: Struktur des Amtskabelnetzes vor Optimierung



Nach Optimierung des Amtskabelnetzes kann die Trassenführung folgendermaßen gestaltet sein:

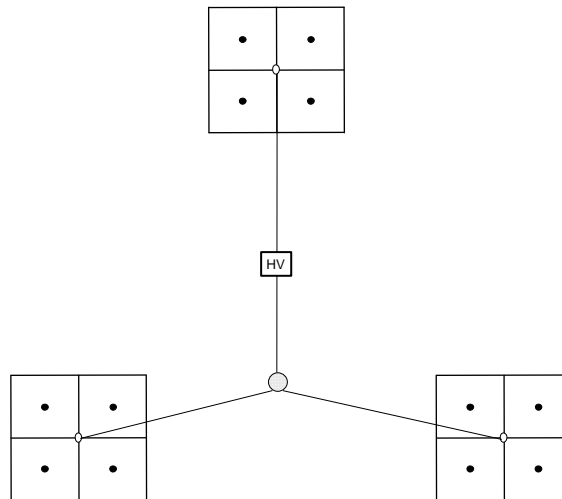
Abbildung 12: Struktur des Amtskabelnetzes nach Optimierung



Wie oben beschrieben, werden für die Berechnung die Trassenlängen mit einem Umwegfaktor für das Amtskabelnetz für jeden betrachteten ASB multipliziert.

Nach der Optimierung des Amtskabelnetzes sind auch alle Trassenlängen im starren Netz bekannt.

Abbildung 13: Struktur des starren Netzes nach Optimierung



3.5 Ermittlung der Abschnitte des Verteilkabelnetzes

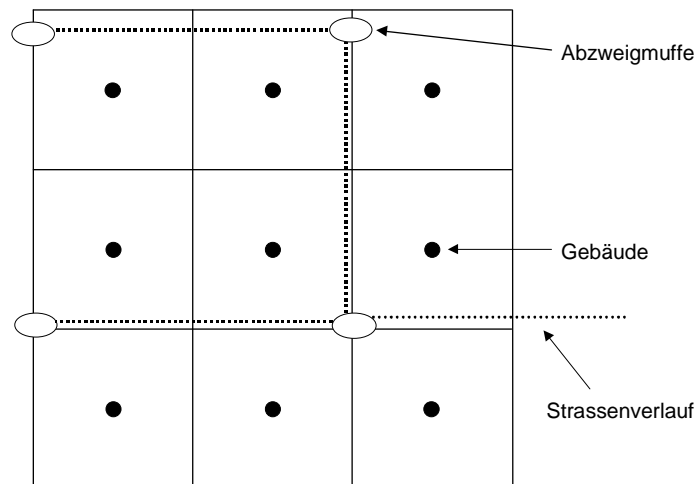
Bei der Ermittlung der Abschnitte des Verteilkabelnetzes wird abermals das Verfahren des shortest-path zur Berechnung des Amtskabelabschnittes angewandt. Nachdem wie oben beschrieben die Lage der Abzweigmuffen und der KA bestimmt worden ist, sind diese im nächsten Schritt mit dem Kabelverzweiger zu verbinden. Ein KV kann immer nur für einen (seinen) geschlossenen Verteilbereich zuständig sein, Überlappungen zweier oder mehrerer KV-Bereiche sind unzulässig. Auch das Überschneiden von Netzbereichen des starren Netzes und des Schaltnetzes ist nicht erlaubt.

Nach der Bildung von Verteilbereichen und der Standortfestlegung von Abzweigmuffen als potentielle Verzweigungsknoten, wird der Graph vollständig mit dem KV vermascht. Der shortest-path Algorithmus prüft dann alle Kanten auf ihre Wirtschaftlichkeit, in dem es wie bei der Ermittlung des Amtskabelnetzes die Grabungs- und inkrementellen Kabelkosten berücksichtigt. Resultat der Berechnung ist ein minimaler Spannbaum, der alle KA mit ihren jeweiligen KV versorgt.

Es ist davon auszugehen, dass jeweils zwei Grundstücke auf verschiedenen Straßenseiten liegen. Im allgemeinen wird danach getrachtet, Kabelgräben nur auf einer Straßenseite zu errichten. Eine Bauweise, die zwei Abzweigmuffen (eine auf jeder Straßenseite) vorsieht würde von den Kommunen und den Wegeunterhaltungspflichtigen nicht zugelassen werden, sie wäre auch unwirtschaftlich. An netzstrategisch günstigen Stellen werden Straßenquerungen gebaut, die ein sparsames Erreichen der gegenüberliegenden Grundstücke (Objekte) ermöglichen. Zweiseitige Aufgrabungen sind ausschließlich

an sehr breiten und/oder verkehrsreichen Straßen üblich (z.B.: Autobahnen, Schnellstraßen).

Abbildung 14: Struktur der Trassenführung innerhalb eines Rasters



Es ist zu beachten, daß die Standorte der KA in bebauten Rastern immer in der Mitte eines KA-Clusters alloziert werden um von einem einzugebenen Radius aus, möglichst viele Gebäude anbinden zu können. Jeder KA – Standort stellt somit auch einen potentieller Verzweigungspunkt im Verteilnetz dar.

Ein mögliches Resultat für einen Verteilbereich könnte folgendermaßen charakterisiert sein :

Abbildung 15: Struktur der Trassenführung eines Verteilbereiches mit mehreren KA in einem Raster

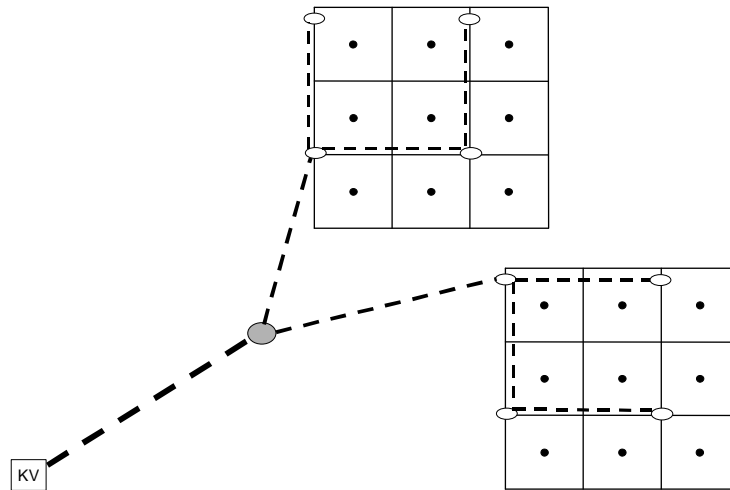


Abbildung 16: Struktur eines Verteilbereiches vor Optimierung

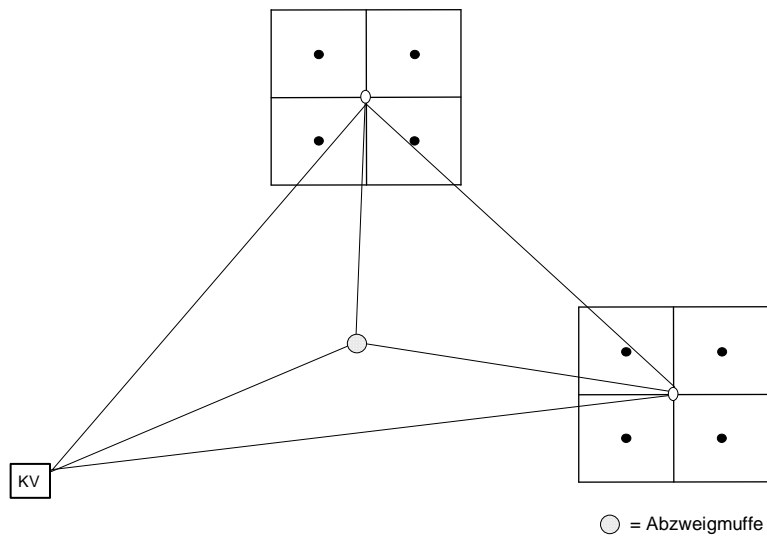
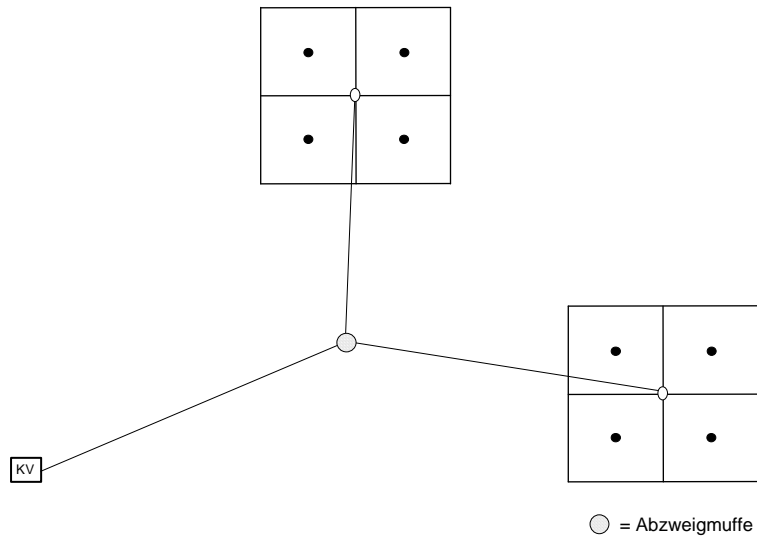
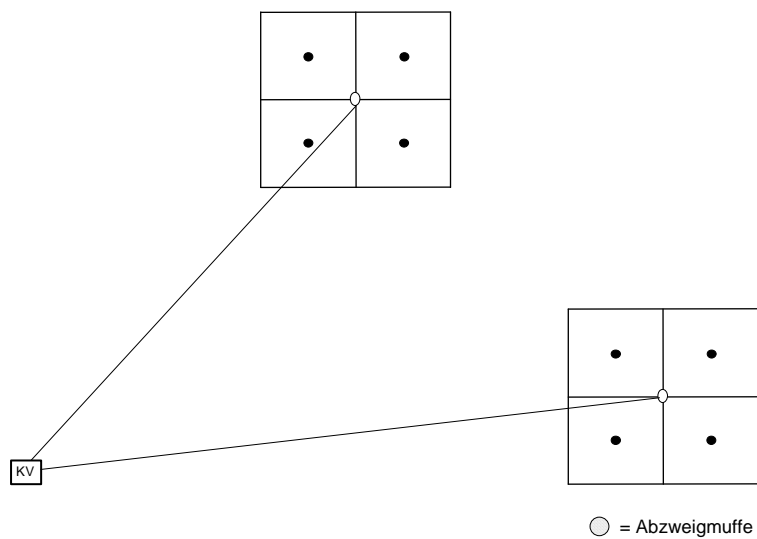


Abbildung 17: Struktur eines Verteilbereiches nach Optimierung I



Ein mögliches Resultat der Optimierung könnte aber auch folgendermaßen aussehen, je nach Ausgestaltung der Abzweigmuffen und den spezifischen Investitionspreisen.

Abbildung 18: Struktur des eines Verteilbereiches nach Optimierung II



Wie im Falle des Amtskabelnetzes wird auch im Verteilkabelnetz die Trassenlänge mit einem Umwegfaktor für den entsprechenden ASB multipliziert. Durch die Berücksichtigung von zwei Umwegfaktoren für das Amtskabel – und Verteilkabelnetz im Modell, können Strassenverläufe in dem Verteilkabelnetz besser berücksichtigt werden.

4 Fazit

Anhand der beschriebenen Rechenschritte wird eine vollständige Liste der Haupt- und Verteilkabelabschnitte, erzeugt. Für jeden Abschnitt wird darüber hinaus die geforderte Doppeladerzahl bestimmt. Diese Informationen ermöglichen nunmehr die Bewertung jedes Abschnittes mit den in Abschnitt zwei beschriebenen Investitionen in Kabel, Tiefbauleistungen und Sonstiges (KV, HV). Durch Addition ergeben sich die Investitionen je Anschlussbereich, die abschließend auf einzelne Doppeladern heruntergebrochen werden können.

Zum Zweck der anschließenden Annualisierung ist es zweckmäßig, die Investitionen nach Anlagekategorien zu trennen. Sinnvoll ist dabei die Unterscheidung in:

- Erdkabel (Material, Verlegung und Tiefbau),
- Röhrenkabel (Material und Verlegung),
- Kabelkanalanlagen (Material und Errichtung),
- Masten (Material und Errichtung) (ist zu überlegen, ob Masten nicht mit den Kabeln in eine Kategorie zusammengefasst werden können, da sich zumindest die Lebensdauer nicht sehr unterscheiden dürfte),
- Sonstiges (Hauptverteiler, Kabelverzweiger, Endverteiler).

5 Glossar

AK	AmtsKabel
AM	AbzweigMuffe
ASB	Anschlußbereich
AZM	AbZweigMuffe
DA	Doppelader(n)
ESP	EndSchaltPunkt
HV	HauptVerteiler (auch HV)
KA	KabelAusmündung
KV	KabelVerzweiger (auch KV)
NAP	NetzAbschlussPunkt
TAE	TeilnehmerAnschalteEinrichtung

TDo TelefonanschlußDOse
VtK VerteilKabel

6 Literaturverzeichnis

Belfin, Roland., Lukanowicz, Martin, Dr. (1999) : Ansatz der Forward Long Run Incremental Costs zur Berechnung von kostenorientierten Zusammenschaltungsentgelten (TKC Positionspapier).

WIK (1998) : Ein analytisches Kostenmodell für das Ortsnetz.

WIK (1999) : Ein analytisches Kostenmodell für das nationale Verbindungsnetz