

**Analytisches Kostenmodell  
Anschlussnetz**

**- Referenzdokument 2.0 -**

**erstellt durch das WIK  
im Auftrag der  
Reg TP**

Stand 8. November 2000



## Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>II</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>III</b>
<b>1 Einleitende Bemerkungen</b>	<b>1</b>
1.1 Allgemeines	1
1.2 Kontext	2
<b>2 Investitionsrechnung für den entbündelten Teilnehmerzugang</b>	<b>3</b>
2.1 Netzelemente und Netzstruktur	3
2.2 Investitionsfunktion	6
2.2.1 Hauptkabelnetz	6
2.2.1.1 Hauptverteiler/Druckluftüberwachung	8
2.2.1.2 Trassen und Kabel	8
2.2.1.3 Kabelinvestitionen	12
2.2.2 Verzweigernetz	13
<b>3 Bestimmung der Netztopologie</b>	<b>15</b>
3.1 Bestimmung der Teilnehmerlokationen und Anschlussnachfrage	15
3.2 Bildung von Verzweigerbereichen und Festlegung der KVz-Standorte	18
3.3 Bildung der Versorgungsbereiche und Standortfestlegung von Abzweigmuffen	19
3.4 Ermittlung der Abschnitte des Hauptkabelnetzes	20
3.5 Ermittlung der Abschnitte des Verzweigerkabelnetzes	22
3.6 Ermittlung der Abschnitte des Endkabelnetzes	23
3.7 Investitionswertermittlung	24
<b>4 Annualisierung</b>	<b>24</b>
4.1 Kapitalkosten	25
4.2 Betriebskosten	25
<b>5 Kosten der Teilnehmeranschlussleitung</b>	<b>26</b>
5.1 Leistungsbeschreibung	26
5.2 Durchschnittskostenermittlung	26
<b>Anhang A: Änderungskatalog</b>	<b>27</b>
<b>Anhang B: Fragen zu Eingabedaten</b>	<b>28</b>

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b>	Schematische Darstellung eines reinen Kupferkabelnetzes	5
<b>Abbildung 2:</b>	Aufbau eines Teilnehmeranschlussnetzes	6
<b>Abbildung 3:</b>	Hybrides Teilnehmeranschlussnetz	7
<b>Abbildung 4:</b>	Schematische Darstellung eines starren Anschlussnetzes	14
<b>Abbildung 5:</b>	ASB auf einer digitalen Karte	17
<b>Abbildung 6:</b>	Geokoordinaten der Netzknoten	17
<b>Abbildung 7:</b>	Netztopologien	19
<b>Abbildung 8:</b>	Optimierung der Hauptkabelnetztopologie	21
<b>Abbildung 9:</b>	Netztopologie des ASB	23

## Abkürzungsverzeichnis

AK	=	Abgesetzter Konzentrator
APL	=	Abschlusspunkt im Liniennetz
ASB	=	Anschlussbereich
CuDa	=	Kupferdoppelader
DA	=	Doppelader
DSV2	=	Digitalsignalverbindung 2 Mbit/s
EVz	=	Endverzweiger
FITL	=	Fibre in the Loop
FTTB	=	Fibre to the Building (Gf zum Kunden gebündelt)
FTTC	=	Fibre to the Curb (Gf zum KVz)
Gf	=	Glasfaser
HVt	=	Hauptverteiler
HK	=	Hauptkabel
ISIS	=	Integriertes System zur Bereitstellung der Netzinfrastruktur auf optischer Basis
KBF	=	Kapital- und Betriebskostenfaktor
KKF	=	Kapitalkostenfaktor
KKS	=	Kapitalkostensatz
KVz	=	Kabelverzweiger
LT	=	Linientechnik
n	=	Anzahl der Verzeigerbereiche im Anschlussnetz
OF	=	Oberflächenbeschaffenheit
OLT	=	optical line termination
ONU	=	optical network unit
OPAL	=	optisches Anschlussleitungssystem
TAE	=	Teilnehmeranschlusseinheit
TAN	=	Teilnehmeranschlussnetz
VSt	=	Vermittlungsstelle
VK	=	Verzweigerkabel
ZWR	=	Zwischengenerator



# 1 Einleitende Bemerkungen

## 1.1 Allgemeines

Die Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (Reg TP) hat am 8. Februar 1999 entschieden, dass die Deutsche Telekom AG (DT AG) bis zum 31. März 2001 25,40 DM (12,99 Euro) als monatlichen Mietpreis für die Überlassung der Kupferdoppelader von ihren Wettbewerbern verlangen darf. Dieser Entscheidung ging ein intensiver öffentlicher Diskurs über die Kosten, die gemäß TKG durch eine effiziente Bereitstellung der Teilnehmeranschlussleitung entstehen, voraus. Ein Ergebnis dieses Prozesses war das vom WIK entwickelte analytische Kostenmodell für das Ortsnetz, welches zur Bestimmung des Investitionswertes der symmetrischen Kupferdrahtleitung herangezogen wurde.

Ursprünglich bezog sich die Kostenanalyse des am 4. März 1998 veröffentlichten Referenzdokumentes auf das gesamte Ortsnetz einschließlich der lokalen Vermittlungstechnik. Die Auswertung der zum Referenzdokument eingegangenen Kommentare führte dann jedoch einerseits zur integrierten Modellierung von Orts- und Fernverbindungsnetzen, m.a.W. zur Analyse des nationalen Verbindungsnetzes, und andererseits zur strikten Trennung von Teilnehmeranschluss- und Verbindungsnetz. Die vorgenommene Trennung, deren Ergebnis das vorliegende Dokument ist, begründet sich durch die Existenz unterschiedlicher Kostentreiber in den beiden Netzbereichen: Im Teilnehmeranschlussnetz bestimmt die Anschlussnachfrage die Netzgröße und die Dimensionierung des Verbindungsnetzes hängt von der Verkehrsnachfrage ab.

Die Behörde hat das WIK beauftragt, das auf einer Bottom-up Investitionsrechnung basierende Kostenmodell weiterzuentwickeln. Aufbauend auf die Modellversion 1.0 vom Februar 1999 sollte bei der Modellierung der Kosten für den Teilnehmeranschluss ferner eine Schnittstelle zu geografischen Informationssystemen (GIS) hergestellt, eine detaillierte Kostenanalyse im Verzweigerbereich vorgenommen, ggf. technologische Veränderungen berücksichtigt werden. Eine katalogisierte Gegenüberstellung der alten mit der neuen Modellversion erfolgt im Anhang A.

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 Kostenmodellen sind an dieser Stelle keine weiteren Ausführungen notwendig. Verwiesen sei vielmehr auf entsprechende Veröffentlichungen.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Vgl. Belfin, R. / Lukanowicz, M. (1999), Ansatz der Forward Looking Long Run Incremental Costs zur Berechnung von kostenorientierten Zusammenschaltungsentgelten, Positionspapier, Wien; Reg TP/WIK (1998), Ein analytisches Kostenmodell für das Ortsnetz, Referenzdokument, Bonn; Vogelsang, I., Analytische Kostenmodelle – ein notwendiges Übel, MMR 1998, 594 ff.

Das vorgestellte Modell entspricht einem modifizierten „scorched node“ Ansatz, da einerseits Hauptverteilerstandorte und Anschlussbereichsgrenzen einschließlich der zugehörigen Anschlusszahlen entsprechend den Angaben der DT AG übernommen werden, andererseits jedoch die Ausdehnung von Verzweigerbereichen sowie Kabel- und Trassenlängen modellendogen ermittelt werden. Dieses Vorgehen gewährleistet die Kompatibilität mit dem ebenfalls vom WIK entwickelten "Analytischen Kostenmodell – Nationales Verbindungsnetz" und trägt zugleich der Tatsache Rechnung, dass auch in der langen Frist die Möglichkeiten einer Restrukturierung der Teilnehmeranschlussnetze auf Grund von geographischen und städtebaulichen Gegebenheiten begrenzt sind.

## 1.2 Kontext

Ziel des auf den folgenden Seiten vorgestellten Rechenmodells ist es, einen Investitionswert für die zukunftsgerichtet effiziente Bereitstellung von entbündelten Teilnehmerzugängen auf der Basis von Wiederbeschaffungswerten zu ermitteln. Dieser Investitionswert wird nach Anlageklassen differenziert dargestellt, um im Rahmen einer Annualisierungsrechnung unterschiedliche Abschreibungszeiträume und Betriebskostenzuschläge für die einzelnen Investitionsgüterklassen 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 Kostentreiber im Vordergrund stehen. Das Kapitel verschafft zudem einen Überblick über die Inputparameter, die zur Durchführung der Investitionsrechnung angegeben werden müssen.

In Kapitel 3 wird die Struktur des entwickelten Modells, insbesondere das Vorgehen bei der Lokalisierung der Endverzweigerstandorte, die Verfahren zur Zusammenfassung von Teilnehmern zu Verzweigerbereichen sowie die Algorithmen zur Bestimmung der Netzstruktur und die davon abgeleiteten Kabel- und Trassenlängen dargestellt. Die Darstellung verzichtet um der besseren Lesbarkeit willen auf die Verwendung rechnerischer Details und umfangreicher Gleichungssysteme, sondern stellt die Modelllogik ausschließlich in verbaler und grafischer Form dar. Tiefere Einblicke in die Arbeitsweise des Modells wird die Modellsoftware nebst begleitender Dokumentation bieten.

Das 4. Kapitel beschreibt die Schritte zur Annualisierung der Investitionen. Es werden Investitionsgüterkategorien zur Bestimmung der spezifischen Kapitalkosten gebildet und Fragen zur Ermittlung der Betriebskosten erörtert.

In Kapitel 5 wird die zu erbringende Leistung definiert und die Ermittlung der Durchschnittskosten für die Teilnehmeranschlussleitung beschrieben.



Die beschriebenen Rechenvorgänge beziehen sich stets auf einen Anschlussbereich. Es kann als unbestritten gelten, dass der Investitionsaufwand, der für einen Teilnehmeranschluss anfällt, in hohem Maße 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 für die Investitionen zu ermitteln, sollte entweder eine Vollerhebung oder die Untersuchung einer repräsentativen Stichprobe vorgenommen werden.

Eine Vollerhebung würde bedeuten, dass für jeden einzelnen Anschlussbereich das entsprechende Netz modelliert und die Kosten der Teilnehmeranschlussleitungen für den jeweiligen Bereich berechnet werden. Bei 7861 Anschlussbereichen, denen mehr als 17 Mio. Endverzweiger zugeordnet sind, wäre dies in Anbetracht der notwendigen Ressourcen und Rechenzeit momentan jedenfalls ein nicht zu rechtfertigender Aufwand. Die Entwicklung eines Stichprobenplans und Durchführung eines Schätzverfahrens ist demnach unerlässlich, um diejenigen Anschlussbereiche zu identifizieren, die notwendig sind, um eine hinreichend genaue Aussage über die durchschnittlichen Kosten der Kupferdoppelader im gesamten Bundesgebiet treffen zu können und gleichzeitig den Rechenaufwand auf ein Mindestmaß zu beschränken.

Im Anhang B werden alle interessierten Parteien aufgerufen, Angaben zu den für die Modellrechnung notwendigen Preis- und Kostendaten sowie zur Netzstruktur zu machen.

## **2 Investitionsrechnung für den entbündelten Teilnehmerzugang**

### **2.1 Netzelemente und Netzstruktur**

Die Funktion des Teilnehmeranschlussnetzes (TAN) liegt in der Bereitstellung einer Infrastruktur für die Nachrichtenübertragung zwischen dem Abschlusspunkt der Linientechnik im Gebäude des Teilnehmers und dem netzseitigen Leitungsabschluss, der Schnittstelle zum Verbindungsnetz des Netzbetreibers. Die Dimensionierung des Anschlussnetzes ist unabhängig von der Verbindungsnachfrage der einzelnen Teilnehmer, somit endet das Netz an der konzentrierenden Einrichtung eines Verbindungs- bzw. Servicenetzes. D.h., das Teilnehmeranschlussnetz endet genau an der Stelle, wo der Teilnehmer nicht mehr auf ihm allein vorbehaltene Netzressourcen zurückgreifen und bei Erreichen von Kapazitätsgrenzen von der Nutzung ausgeschlossen werden kann.

Im Rahmen der hier beschriebenen Modelllogik nehmen wir an, dass sich sowohl die konzentrierenden Einheiten des PSTN/ISDN als auch die der Breitbandnetze in den Gebäuden der klassischen Hauptverteiler befinden. Horizontal gesehen, erstreckt sich

das Teilnehmeranschlussnetz folglich vom Standort des Hauptverteilers (HVt) bis zum Netzabschlusspunkt.

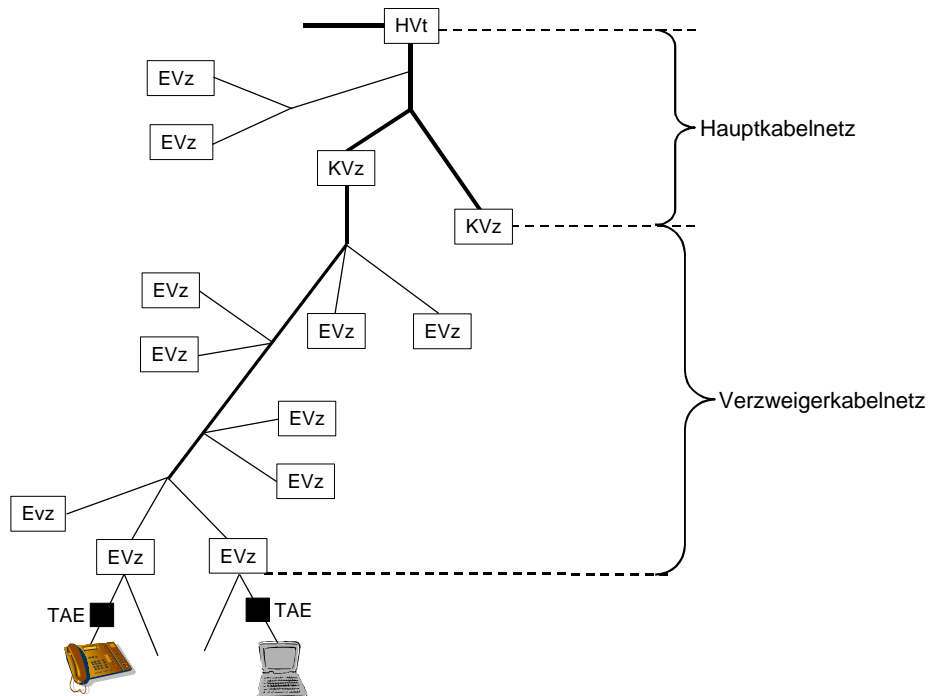
Derzeit wird die Übertragungsfunktionalität noch überwiegend durch die Verwendung von zweidrahtigen Kupferleitungen bereitgestellt. Auf Grund der steigenden Nachfrage nach Breitbanddiensten, ergo der Nachfrage nach Teilnehmeranschlüssen mit Übertragungsraten im Mbit/s-Bereich, und der technologischen Entwicklungen wird künftig eine zunehmend größere Anzahl von Anschlussbereichen aus hybriden Kupferkabel/Glasfasernetzen, zum Teil aus Funknetzen und ebenso Breitbandkabelnetzen bestehen. Im Gegensatz zu den traditionellen, rein auf der Kupferdoppelader basierenden Teilnehmeranschlussnetzen können mit Hilfe dieser alternativen Technologien heute schon Übertragungsgeschwindigkeiten von bis zu 50 Mbit/s pro Teilnehmer realisiert werden.

Der Fokus bei der Modellentwicklung liegt auf der Kostenermittlung der Anschlussvariante Kupferdoppelader zwischen der Funktion des Hauptverteilers und der Funktion des Abschlusspunktes der Linientechnik bzw. Endverzeiger (EVz) bzw. der Teilnehmeranschlusseinheit (TAE). Dabei wird die Zweidraht-Kupferleitung nach dem Hauptverteiler zum Kollokationsraum geführt und dort an einen Verteiler des alternativen Teilnehmernetzbetreibers (TNB) übergeben.

Die Entwicklung der breitbandigen digitalen Anschlüsse (xDSL) spricht allerdings dafür, dass ein effizient operierender Netzbetreiber heute bereits zumindest Abschnitte des Teilnehmeranschlussnetzes durch Glasfaser (Gf) ersetzen oder ergänzen würde. Der Aufbau von Glasfasernetzstrukturen im TAN, auch Fibre in the Loop (FITL) genannt, kann sich dabei bis zum Kabelverzweiger, Fibre to the curb (FTTC), oder darüber hinaus bis zum Teilnehmer, Fibre to the Building (FTTB), erstrecken.

Im Modell nehmen wir an, dass die Hauptkabellinie sowohl aus Kupfer- als auch Glasfasertechnik und die Infrastruktur des Verzweigerbereichs nur aus Kupferkabeln besteht, d.h. die Glasfasern enden am KVz. Die beiläufig zum Kupferkabel verlegte Glasfaser trägt somit - entsprechend der angeschlossenen Teilnehmer - den Anteil an den im Hauptkabelnetz anfallenden Tiefbauinvestitionen. Die Zahl der Teilnehmeranschlüsse, die komplett über Glasfasertechnologien realisiert wird, ist unseres Wissens sehr gering. Infolgedessen werden diese Anschlüsse im Modell in Form von Beiliefaktoren für den Verzeigerkabelbereich berücksichtigt. Die Topologie der von uns unterstellten effizienten hybriden Netzstruktur wird im nächsten Kapitel beschrieben.

Zunächst soll der Einfachheit halber – da die Verfahren zur Clusterbildung und zur Längenermittlung für Trassen- und Kabelabschnitte prinzipiell gleich sind – die Struktur eines reinen Kupferkabelnetzes in der nachstehenden Abbildung illustriert werden.

**Abbildung 1:** Schematische Darstellung eines reinen Kupferkabelnetzes


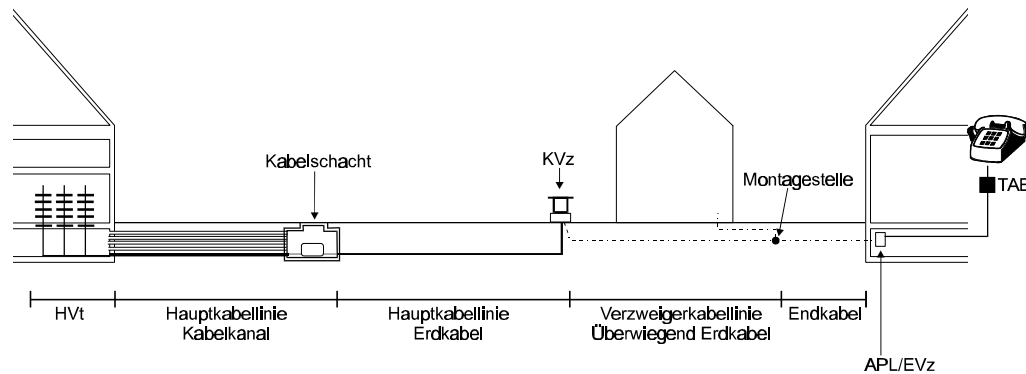
Die Investitionsmodellierung des Modells umfasst das Netzsegment zwischen dem Hauptverteiler und dem im Gebäude des Teilnehmers angebrachten Endverzweiger. Die Verkabelung innerhalb des Gebäudes, also das Netzsegment zwischen Endverzweiger und der Anschlusseinrichtung für die Endgeräte in den Räumen des Teilnehmers (i.d.R. der TAE), wird nicht explizit modelliert, da dieses Segment einerseits in vielen Fällen Eigentum der Kunden oder Hauseigentümer ist und andererseits die Investitionen hierfür aufgrund der vielfältigen Bedingungen am Ort des Anschlusses nicht mit einer allgemeinen Investitionsfunktion erfasst werden können, bzw. die für eine Investitionsrechnung notwendigen Informationen für die Modellierung nicht verfügbar sind.

Für den Fall, dass sich das im Eigentum der DT AG befindende Netz bis zur TAE erstreckt, können die Investitionen in die Inhouse-Infrastruktur durch eine Funktion, die die Zahl der Wohneinheiten je angeschlossenen Gebäude als Argument verwendet, abgeschätzt werden. Der durchschnittliche Investitionswert für die Inhouse-Infrastruktur kann dann den Investitionen für die Zweidrahtleitung zwischen HVt und EVz zugerechnet werden.

Das Teilnehmeranschlussnetz wird horizontal in Haupt- und Verzweigerkabelnetz zerlegt. Das Hauptkabelnetz schließt linienseitig mit dem Hauptverteiler ab. Die Schnittstelle zwischen Hauptkabelnetz und Verzweigerkabelnetz bildet der Kabelverzweiger (KVz).

Das Verzweigeretz kann weiter in das Verzweigerkabelnetz i.e.S. und das Endkabelnetz zerlegt werden. Schnittstellen sind hier Verzweigerpunkte in Form von Abzweigmuffen im Verzweigerkabel, die ein oder mehrere Gebäude versorgen. (siehe Abbildung 2)

**Abbildung 2:** Aufbau eines Teilnehmeranschlussnetzes



## 2.2 Investitionsfunktion

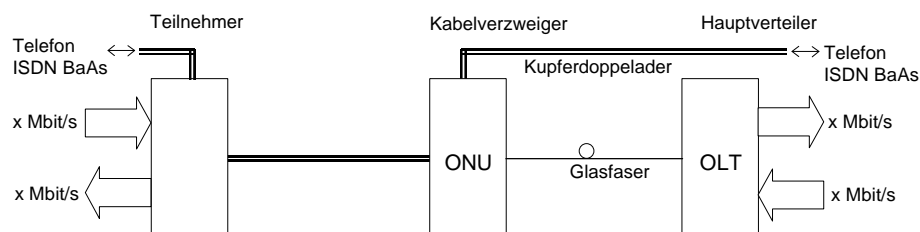
### 2.2.1 Hauptkabelnetz

Die Verbindung zwischen Kabelverzweiger (KVz) und Hauptverteiler (HVt) erfolgt über Hauptkabel. Jeder Hauptverteiler repräsentiert mit dem zugehörigen Haupt- und Verzweigerkabelnetz einen Anschlussbereich (ASB). Kabelverzweiger sind überirdische Rangierpunkte, in denen Doppeladern des Verzweigeretzes auf Doppeladern des Hauptkabelnetzes dauerhaft mittels Schaltdraht durchgeschaltet werden. Diese Schaltpunkte werden eingesetzt, da im Verzweigeretz generell mit niedrigeren Beschaltungsgraden (sprich: höheren Reservekapazitäten) geplant werden muss. Dies liegt daran, dass die - durch Migration der Teilnehmer bedingte - sich ändernde Anschlussnachfrage kleinräumig, d.h. auf Ebene von Straßenzügen/Blocks, mitunter auch für die kurze Frist nicht präzise prognostiziert werden kann. Auf der Ebene der Verzweigerbereiche gleichen sich Prognosefehler mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit aus, so dass Hauptkabel höhere Beschaltungsgrade (sprich: niedrigere Beschaltungsreserven) aufweisen können, da nicht für jede Doppelader der Verzweigerkabel eine Verbindung zum Hauptverteiler vorgehalten werden muss.

Im Modell nehmen wir an, dass der Ausbau von Glasfaserstrukturen sich in erster Linie auf das Hauptkabelnetz begrenzt. Beginn bzw. Ende der Glasfaser-Leitung im Hauptkabelabschnitt bilden netzseitig die optischen Leitungsabschlüsse (engl.: optical line termination (OLT)) und teilnehmerseitig die Glasfaserabschlüsse (engl.: optical network unit (ONU)). Dazwischen besteht das optische Netz aus passiven Koppel- und Verzweigungselementen (optische Splitter), die das von einer Faser kommende Licht auf mehrere Fasern verteilen. Wir unterstellen weiterhin, wie in Abbildung 3 veranschaulicht, dass die Glasfasern parallel mit den Kupferkabeln verlegt werden, da einerseits das passive optische Netz (PON), wie das Kupfernetz, eine Doppelsternstruktur aufweist und andererseits die schmalbandigen Anschlussdienste, wie ISDN, auch in Zukunft zum überwiegenden Anteil über die klassische Kupferdoppelader (vom Teilnehmer bis zum HVt) realisiert werden.

Die DT AG hatte 1997 bundesweit bereits 10 % der Teilnehmer über ein hybrides Teilnehmeranschlussnetz, für das die Abkürzung HYTAS benutzt wird, an das Verbindungsnetz angebunden.<sup>2</sup> Dabei kommen sog. ISIS-outdoor Systeme, über die KVZ und HVt miteinander verbunden sind, zum Einsatz.

**Abbildung 3:** Hybrides Teilnehmeranschlussnetz



ASB, deren Hauptkabelnetz ausschließlich auf Glasfasertechnik beruht, besitzen annehmegemäß ebenfalls eine Doppelsternstruktur des Glasfasernetzes. Der Verzweigerbereich basiert jedoch nach wie vor auf der Kupferdoppelader; die vereinzelt nachgefragten Glasfaseranschlüsse werden in der Kalkulation in Form von Beilauf berücksichtigt. In solchen ASB können demzufolge nur die von der DT AG ebenfalls angebotenen gebündelten Anschlussvarianten OPAL und ISIS-outdoor von den Wettbewerbern nachgefragt werden.

<sup>2</sup> Vgl. Ranft, R., Optische Zugangsnetze der Deutschen Telekom, Deutsche Telekom Unterrichtsblätter 1997, 212 ff.

### 2.2.1.1 Hauptverteiler/Druckluftüberwachung

Am Hauptverteiler werden die Doppeladern auf sogenannten Trennleisten abgeschlossen. Von diesen Trennleisten, die auch als "senkrechte" Seite des Hauptverteilers bezeichnet werden und die das Anschlussnetz zur Vermittlungseinrichtung hin abschließen, werden die zu beschaltenden Doppeladern mittels Schaltdraht mit den - zumindest traditionell – waagrecht angebrachten Schaltstreifen der Vermittlungstechnik verbunden. Hierfür sind Investitionen anzusetzen, die aus pragmatischen Gründen direkt in der Form FIXINVEST + INVEST/DA abgefragt und in die Modellrechnungen eingebracht werden sollten. Die Anzahl der Doppeladern je Hauptverteiler wird vom Modell auf der Basis aktueller Teilnehmerzahlen ermittelt.

Die Kabel zwischen Hauptverteiler und Kabelverzweiger werden druckluftüberwacht. Dabei wird eine Schicht zwischen Kupferkern und Kabelmantel durch entsprechende Einrichtungen am Hauptverteiler laufend unter einem Überdruck von ca. 1,5 bar gehalten. Dieser Überdruck verhindert bei kleineren Beschädigungen des Kabelmantels das Eindringen von Feuchtigkeit und erhält die Funktionsfähigkeit des Kabels. Überdies weist der auftretende Druckabfall auf Beschädigungen hin, bevor Funktionsmängel eintreten, und erleichtert die Lokalisierung von Problemstellen.

Im Rahmen der Investitionsrechnung schlägt sich die Druckluftüberwachung derart nieder, dass für jeden Hauptverteilerstandort fixe Investitionen für die Druckluftüberwachungsanlage sowie Investitionen je abgeschlossenem Hauptkabel zu berücksichtigen sind (FIXINVEST + INVEST/KABEL). Die Anzahl der Hauptkabel an einem Hauptverteiler wird vom Modell unmittelbar ermittelt. Weiterhin beeinflusst die Druckluftüberwachung die Spezifikation der im Hauptkabelbereich eingesetzten Kabel sowie der Kabelverbinder und Muffen.

Für die Unterbringung des Hauptverteilers sind weiterhin entweder Investitionskosten bei selbsterstellten Gebäuden oder Mietkosten bei angemieteten Gebäuden je Standort zu berücksichtigen. Im Modell kann hier mit ASB-spezifischen Werten oder mit nationalen Durchschnittswerten gearbeitet werden.

### 2.2.1.2 Trassen und Kabel

#### *Tiefbauinvestition*

Die Hauptkabel können unter- oder oberirdisch geführt werden. Bei unterirdischer Verlegung kann zwischen Erdkabel- und Röhrenkabelverlegung unterschieden werden. Wir gehen davon aus, dass die oberirdische Verlegung im Hauptkabelsegment keine Rolle spielt. Hinsichtlich der Anteile von Erd- bzw. Röhrenkabeln müssen im Rahmen der Investitionsanalyse Annahmen getroffen werden bzw. entsprechende Daten dem linientechnischen Dokumentationssystem der DT AG entnommen werden. Eine Ermittlung dieser Anteile anhand von Effizienzüberlegungen scheidet u.E. aus, da die

Wahl der Verlegungsart auch von Faktoren abhängt, die im Modell nicht erfasst werden können, wie etwa kommunale 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 Erd- bzw. Röhrenkabelverlegung 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 Röhrenkabel zu berücksichtigen sind. In beiden Fällen ist neben Tiefbau- und Materialinvestitionen zu berücksichtigen, dass für Netzplanung und Genehmigungsverfahren ebenfalls eine Investitionssumme je Trassenmeter in Ansatz gebracht werden sollte.

### *Erdkabelverlegung*

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

- Aufnehmen und Lagern/Entsorgen der vorhandenen Oberfläche, z.B. Asphalt, Verbundpflaster (Euro/m<sup>2</sup>)
- Ausheben des Kabelgrabens/Lagerung des Aushubs (Euro/m<sup>3</sup>)
- Einbringen eines Sandbettes (Euro/m<sup>3</sup>)
- Verfüllen und Verdichten des Grabens (Euro/m<sup>3</sup>)
- Wiederherstellen der Oberfläche (Euro/m<sup>2</sup>)

Anhand dieser Basispreise können Preise je Trassenmeter ermittelt werden, wenn die Grabenmaße bekannt sind. Zur Sicherung maximaler Modellflexibilität werden die Maße im Modell als nutzerdefinierte Variablen behandelt. Als üblich erachten wir ein Grabenmaß von 30cm\*60cm. Der Anwender hat ebenso die Möglichkeit, unterschiedliche Breiten für den Graben und die wiederherzustellende Oberfläche anzugeben.

Bei einigen der genannten Positionen sind darüber hinaus weitere Differenzierungen notwendig. So hängen die Kosten der Oberflächenarbeiten von der Art der Oberfläche ab. Die geringsten Investitionen sind bei unbefestigten Oberflächen zu veranschlagen. Die höchsten Investitionen entstehen bei Arbeiten im Bereich von Fahrbahnen. Bei der Investitionsrechnung für einen Trassenabschnitt könnten die Oberflächen theoretisch im Einzelfall erhoben werden. Diese Informationen liegen uns als GIS-Datenbank jedoch nicht vor und eine Erhebung vor Ort scheidet aus Kosten- und Zeitgründen selbst in Form einer Stichprobe aus.

Im Modell werden Preise für die Aufnahme/Wiederherstellung der folgenden vier Oberflächentypen abgefragt:

- Unbefestigt/Grünfläche,
- Pflaster,
- Asphalt/Gehweg und
- Asphalt/Straße.

Für die vier Typen können dann Anteile an der gesamten Trassenlänge im Anschlussbereich angegeben werden, mit Hilfe derer ein gewichteter Herstellungspreis je lfd. Meter errechnet werden kann.

Bei Aushubarbeiten kann demgegenüber die Bodenart die Preise der Tiefbauleistungen beeinflussen. Um diesen Aspekt zu berücksichtigen, kann im Modell, gemäß den Bodenklassen 1-7 der Allgemeinen Verdingungsordnung für Bauleistungen, zwischen insgesamt sieben Bodenklassen unterschieden werden (siehe Tabelle). Dabei können absolute Preise für die Bodenklasse 3 eingegeben und die Anpassung an andere Bodenarten über einen Erschwernisfaktor vorgenommen werden:

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

\*Normierungsfaktor

Es ist nicht auszuschließen, dass entsprechende Daten über die Beschaffenheit in geocodierter Form verfügbar gemacht werden können, so dass entweder kleinräumige Durchschnitte je ASB oder sogar je Trassenabschnitt gebildet werden könnten. Andernfalls wären die Anteile der Bodenarten an der besiedelten Fläche Deutschlands zu ermitteln, um einen durchschnittlichen Schwierigkeitsgrad zu bestimmen. Hierbei wären die Anteile allerdings nochmals mit den Trassenkilometern zu gewichten, die tatsächlich auf die jeweiligen Bodentypen entfallen. Es ist offensichtlich, dass diese Daten ohne eine Vollerhebung der Anschlussnetze nicht verfügbar sind, so dass auch hier entsprechende Annahmen getroffen werden müssen.



Weiterhin 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 relativ geringen Verlegetiefe (ca. 60 cm) und der Orientierung der Trassen an Straßenverläufen, lediglich 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: Oberboden). Nicht zu vernachlässigende Abweichungen vom Basispreis treten unseres Wissens darüber hinaus nur bei den Bodenklassen 2, 6 und 7 auf, während die Klassen 1, 3, 4 und 5 in der Praxis zu einheitlichen Preisen abgerechnet werden.

Da in den Bodenklassen 2, 6 und 7 nach unseren Informationen nur selten TAN-Kabel verlegt werden, ist der Einfluss unterschiedlicher Bodenarten auf die Tiefbauinvestition in der Praxis zu vernachlässigen. In diesem Sinne werden die angesprochenen Probleme der Datenbeschaffung wesentlich entschärft. Letztendlich halten wir es auch für vertretbar, einen einheitlichen Tiefbaupreis im Sinne der Unabhängigkeit von der geologischen Bodenbeschaffenheit im Rahmen der Modellrechnungen 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: Aufnahmen und Einsetzen von Bord- und Randsteinen, Rodungs- und Pflanzarbeiten sowie Verkehrsabsperrungen und Sicherungen der Baugruben.
- Mögliche Erschwernisse: Mauer- und Wurzelreste, Bodenkontamination, vorhandene Kabel und Rohrleitungsanlagen.

Um diese Faktoren angemessen zu berücksichtigen sollten sich die Tiefbaupreise je lfd. Meter an den Gestehungspreisen für kürzlich realisierte Bauvorhaben, die solcherlei Arbeiten enthielten, orientieren.

Im Modell werden Trassenlängen abschnittsweise ermittelt (vgl. Kapitel 3). Ein Trassenabschnitt verbindet zwei Knotenpunkte des Netzes, also entweder Hauptverteiler mit dem Kabelverzweiger oder zwei Kabelverzweiger untereinander oder KVz bzw. HVt mit einem zusätzlichen Abzweigpunkt im Netz. Zwischen den KVz bestehen jedoch keine logischen Verbindungen, die vom HVt kommenden Hauptkabel werden nur gemeinsam verlegt.

Die Entfernungen werden mit den errechneten durchschnittlichen Tiefbaukosten pro Meter bewertet. Für jeden Trassenabschnitt müssen zusätzlich Gruben (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, wird vom Benutzer vorgegeben. Das Modell berücksichtigt Muffen für alle Trassenabschnitte.

### *Röhrenkabel/Kabelkanalanlagen*

Bei der Verlegung von Röhrenkabeln 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. U.U. muss der Graben zusätzlich während der Arbeiten abgestützt werden.

Zusätzlich zu bewerten sind Material und Verlegung der Kabelröhren sowie die notwendigen Kabelschächte. Für die Kabelröhren werden i.d.R. flexible PVC-Rohre mit 100mm Durchmesser verwendet. Als Kabelschächte kommen Betonfertigschächte zum Einsatz, die der Zuganzahl der Anlage angepasst sind. Weiterhin können verschiedene Ausführungen und Brückenklassen (Belastbarkeit) unterschieden werden. Der maximale Abstand zwischen zwei Schächten ergibt sich u.a. aus der maximalen Zugbelastbarkeit der Kupferkabel. Im Modell wird der Schachtabstand, der in der Praxis erreichbar ist, vorgegeben, so dass für jeden Trassenabschnitt im Hauptkabelsegment die Zahl der zu berücksichtigenden Kabelschächte ermittelt werden kann. Kabelschächte sind darüber hinaus annahmegemäß an den Kabelverzweigerstandorten lokalisiert.

Kabelkanalanlagen enthalten in der Regel Kabel verschiedener Netze bzw. Netzsegmente sowie leere Rohre für zukünftigen Bedarf. Es stellt sich folglich das Problem der Zurechnung der gesamten Investitionen zu den einzelnen Netzen bzw. Kabeln. Im Rahmen der Investitionsmodellierung wird so vorgegangen, dass jedem Hauptkabel auf einem Trassenabschnitt genau ein Kabelzug zugerechnet wird. Die Zurechnung der Investitionen folgt also dem Kriterium der tatsächlichen Inanspruchnahme der Kabelkanalkapazitäten.

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 die Zugzahl des Hauptkabelnetzes entsprechend der angegebenen Beilauffaktoren für eigene und fremde Netzkabel erhöht, auf fixe Kanalanlagengrößen (z.B. 4, 8, 9 oder 12 Züge) aufgerundet wird und anschließend Investitionswerte je lfd. Kabelzugmeter ermittelt werden.

Diese Werte werden dann mit der Länge eines Trassenabschnittes und mit der Anzahl der dort parallel verlaufenden Hauptkabel des Kupfernetzes multipliziert.

#### 2.2.1.3 Kabelinvestitionen

Zur Ermittlung der Investitionen in Kupferkabel ist zunächst die Anzahl der Doppeladern zu bestimmen, die auf einem Trassenabschnitt geführt werden sollen. Diese Zahl errechnet sich aus der Summe der Anschlüsse (einschließlich der Festverbindungen) derjenigen Verzweigerbereiche, die über einen bestimmten Trassenabschnitt zum

Hauptverteiler geführt werden sollen, zuzüglich einer Beschaltungsreserve für Nachfrageänderungen sowie einer begrenzten technischen Reserve. Da Kabel nur in festen Paarigkeiten verfügbar sind, ist die nächst-höhere verfügbare Kabelpaarigkeit zu bestimmen und im Rahmen der Investitionsrechnung anzuwenden. Werden z.B. 260 Doppeladern benötigt, so wird ein Kabel mit 300 DA verlegt. Nicht zuletzt wegen der xDSL-Fähigkeit unterstellen wir für alle Kabel einen einheitlichen Durchmesser von 5 mm pro Kupferdraht. Neben den Materialkosten sind Verlegekosten anzusetzen, die in begrenztem Umfang mit der Kabelpaarigkeit zunehmen.

Darüber hinaus sind die Investitionen in Verbindungsmuffen und Doppeladerverbinder zu ermitteln. 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 für die Verbindung der einzelnen Doppeladerpaare.

### 2.2.2 Verzweigernetz

Das Verzweigernetz stellt die Verbindung zwischen dem Abschlusspunkt des allgemeinen Netzes im oder am Gebäude des Teilnehmers in der Form des EVz mit dem nächsten Schaltpunkt im Liniennetz dar, der in überirdischen Kabelverzweigern realisiert ist. Es kann weiter in das Endkabelnetz und das Verzweigernetz i.e.S. unterteilt werden.

Vom Endverzweiger verlaufen Hauszuführungen (im Folgenden als Endkabel oder Endkabelnetz bezeichnet) durch privaten Grund zum Verzweigerkabel (bzw. zum Verzweigernetz i.e.S.), das üblicherweise beidseitig entlang des Straßenverlaufs verlegt ist. Mehrere Endkabel werden in einer Abzweigmuffe zum weiterführenden Verzweigerkabel zusammengefasst. Die Verzweigerkabel enden im Kabelverzweiger (KVz), wo sie mittels Schaltdraht mit den Adern des Hauptkabels verbunden werden. Die Investitionen je Kabelverzweiger ergeben sich aus den Investitionen für Material und Aufstellung des Gehäuses sowie aus den Investitionen für Endverschlüsse, die die Verzweigerkabel einerseits und die Hauptkabel andererseits abschließen. Die Investitionen für Endverschlüsse variieren mit der Doppeladerzahl. Relevant sind nicht die beschalteten Doppeladern, sondern die DA der ankommenden Kabel insgesamt. Die Investitionsfunktion für Kabelverzweiger setzt sich daher aus den fixen Investitionen und aus den Investitionen in die Doppeladern des VzK sowie den entsprechenden Investitionen des HK zusammen, wobei sich die DA-Komponente aus dem Material und der Montage der Endverschlüsse ergibt.

Die Verbindung der in unmittelbarer Nähe der Teilnehmer liegenden Abzweigmuffen mit dem Kabelverzweiger, also die Verzweigerkabelnetzplanung, entspricht aus netzplanerischer Sicht weitgehend der Hauptkabelplanung (siehe Abschnitt 3.4), da es auch hier

gilt, eine Abwägung zwischen einer Minimierung der Trassenlänge und damit der Tiefbauinvestitionen und einer Minimierung der Investitionen in Kupferkabel vorzunehmen.

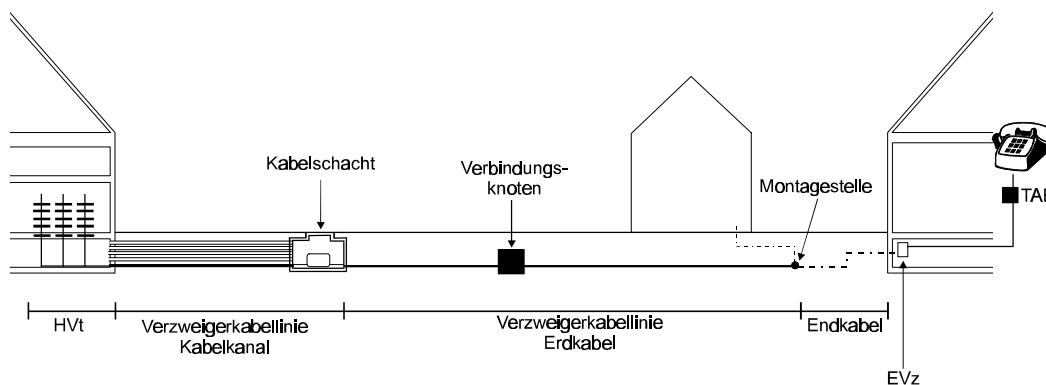
Die Kostenfunktionen für jeden Kabelabschnitt sowohl im Verzweigerkabel i.e.S. als auch im Endkabelsegment entsprechen im Grundsatz denen, die oben für den Bereich des Hauptkabels beschrieben worden sind. Zu beachten ist, dass im Gegensatz zum Hauptkabelsegment im Verzweigerkabel petrolatgefüllte Kabel benutzt werden und somit abweichende Preise anzusetzen sind. Auch die Technik der Kabelverbindung und deren Kostenstruktur weicht von der im HK-Bereich zur Anwendung kommenden geringfügig ab. Nichtsdestotrotz sind hierfür entsprechende Inputpreise zu erheben.

Im Endkabelsegment ist die Einführung des Kabels in das Gebäude sowie der dort angeordnete Endverzweiger bei der Investitionsrechnung zu berücksichtigen.

Im Verzweigerkabelbereich werden u.U. auch Luftkabel verlegt. Diese Art der Kabelverlegung hat in Deutschland jedoch nur eine sehr geringe Bedeutung und wird demnach in der Investitionsrechnung nicht berücksichtigt.

Für den Fall, dass sich die Teilnehmer in unmittelbarer Nähe des Hauptverteilers befinden, spricht in einem Radius von ca. 500 m, wird das Netz nicht in einen Haupt- und Verzweigerkabelbereich zerlegt. Das Anschlussnetz dieser Teilnehmer besitzt nicht die Rangierfunktion des KVz, anders gesagt der HVt wird im Nahbereich zum KVz, das Netz hat insofern eine starre Struktur. Wie die Teilnehmer in einem solchen Netz an den Hauptverteiler angebunden sind, soll die folgende Abbildung verdeutlichen. Anstelle der KVz existieren Verzweigungs- oder Verbindungsknoten, an denen die Kabel verjüngt oder zusammengeführt werden.

**Abbildung 4:** Schematische Darstellung eines starren Anschlussnetzes



### 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 geografischen Koordinaten und die Anzahl der angeschlossenen Teilnehmer pro Hauptverteiler,
- die geografischen Koordinaten und die Anzahl der angeschlossenen Teilnehmer pro Kabelverzweiger,
- die geografischen Koordinaten und angeschlossenen Teilnehmer aller Verzweigungsknoten und anschlussnahen Abzweigmuffen,
- die geografischen Koordinaten und angeschlossenen Teilnehmer aller Endverzweiger,
- eine Liste der Hauptkabelabschnitte mit Länge und Doppeladerzahl,
- eine Liste der Verzweigerkabelabschnitte mit Länge und Doppeladerzahl,
- eine Liste der Endkabelabschnitte mit Länge und Doppeladerzahl.

Im Rahmen der Modellberechnungen können wir, was die Zahl der Teilnehmeranschlüsse pro HVt betrifft, auf Angaben der DT AG zurückgreifen. Auch gehen wir davon aus, dass die DT AG Angaben zu den Versorgungsbereichsgrenzen, Anzahl der Kabel- und Endverzweiger je Anschlussbereich und zur Anzahl der Doppeladern pro KVz und EVz machen kann. Alle anderen für die Investitionsrechnung notwendigen Informationen werden im Rahmen der Modellentwicklung anhand der uns bzw. der Reg TP zur Verfügung stehenden geografischen und demografischen Daten ermittelt. Die verschiedenen Rechenschritte werden in den nächsten Abschnitten erläutert.

#### 3.1 Bestimmung der Teilnehmerlokationen und Anschlussnachfrage

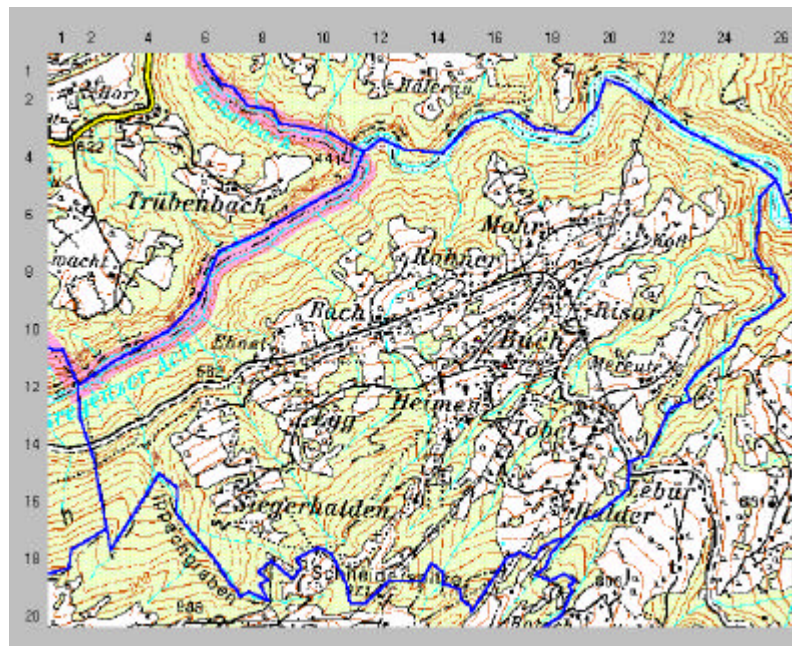
Da das Grundproblem der Netzplanung die Verbindung von Teilnehmern mit Netzknoten ist, müssen für eine disaggregierte Investitionsrechnung in einem ersten Arbeitsschritt die geografischen Koordinaten der teilnehmerseitigen Netzabschlusspunkte innerhalb der Grenzen eines zu untersuchenden Anschlussbereichs bestimmt werden. Es wird davon ausgegangen, dass in jedes Wohngebäude und Geschäftsgebäude ein Endverzweiger eingebaut wird. Die Zahl der Anschlüsse, die in jedem Gebäude liegen, variiert mit Größe und Art des Hauses. Im Idealfall liegen für die Berechnungen hierzu Koordinaten aller Wohn- und Geschäftsgebäude zusammen mit den jeweiligen Anschlusszahlen vor. Derartige Daten sind unseres Wissens derzeit jedoch nicht flächendeckend für Deutschland in Form von elektronischen Datenbanken verfügbar.

Es soll allerdings ein geografisches Informationssystem (GIS) verwendet werden, welches raumbezogene und demographische Daten für die gesamte Bundesrepublik zur Verfügung stellt. Die räumlichen Daten des GIS bestehen aus Liniendaten zur Darstellung von Straßen, Flüssen und Bahnlinien, Punktdaten, die die EVz und HVt abbilden, Polygondaten zur Nachbildung der Anschluss- oder Rufnummernbereichsgrenzen und Rasterbilddaten, die digitale Landkarten und Stadtpläne enthalten. Die digitale Deutschlandkarte liegt in einem Maßstab von 1:10.000 vor.

Mit Hilfe des GIS sind wir folglich in der Lage, die geo-referenzierten Gebäudestandorte des zu berechnenden Anschlussbereichs in der GIS-Datenbank einzulesen oder sie zu interpolieren. Die EVz können somit räumlich entlang den Ortsstraßen verteilt werden. Zusammen mit der Angabe der DT AG über die Anzahl der Kupferleitungen pro EVz gewährleistet diese Art der Vorgehensweise ein hohes Maß an Genauigkeit bei der Bestimmung der Anschlussnachfrage und demnach der Investitionen im Verzweigerkabelnetz. Mögliche Verzerrungen, die bei einer zufälligen Verteilung der Teilnehmerlokationen über die ASB-Fläche entstehen würden, werden so vermieden.

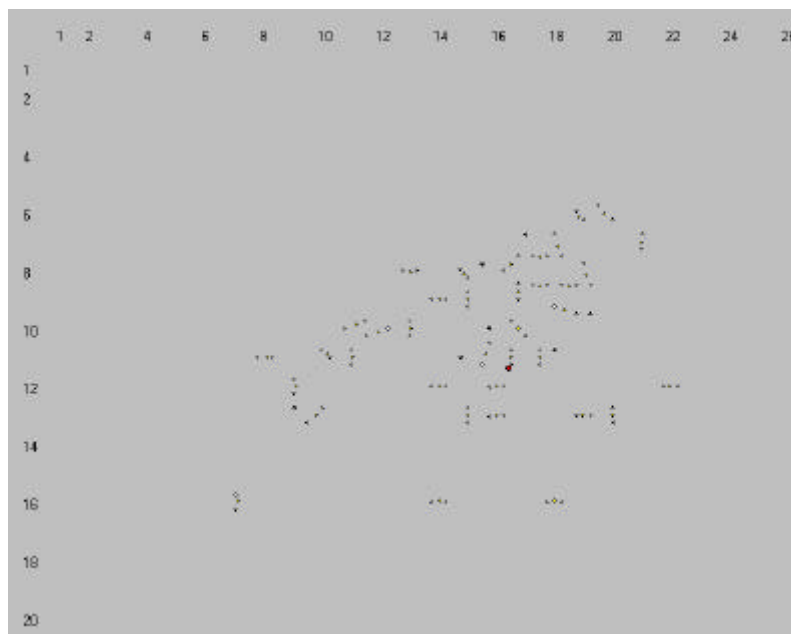
Im Modell wird zunächst auf der digitalen Karte, wie in Abbildung 5 zu sehen, die GIS-Schicht mit den Polygondaten der Anschlussbereichsgrenzen gelegt und danach werden die Punktdaten des Hauptverteilers und der Gebäudestandorte, die teilweise mittels Interpolation ausgehend von den Liniendaten über Anwohnerstraßen berechnet werden, hinzugefügt. Die XY-Koordinaten der Netzknoten werden eingelesen und für die Ermittlung der Linienlängen unter dem Namen des ASB abgespeichert (siehe Abbildung 6). Nachdem nun die Geokoordinaten der beiden Endpunkte des Teilnehmeranschlussnetzes vorliegen, wird dazu übergegangen, mit Hilfe von Clusteralgorithmen, die Menge der EVz pro Verzweigerbereich und die Anzahl der KVz im ASB zu determinieren.

**Abbildung 5:** ASB auf einer digitalen Karte



WIK

**Abbildung 6:** Geokoordinaten der Netzknoten



WIK

Quelle: WIK

### 3.2 Bildung von Verzweigerbereichen und Festlegung der KVz-Standorte

Clusterung bedeutet hier die Zusammenfassung von Gebäuden zu Verzweigerbereichen. Sog. Cluster sind Anhäufungen von eng benachbarten Objekten. Die Zerlegung einer Objektmenge (in diesem Fall umfasst die Objektmenge alle Gebäude eines Anschlussbereiches) in "n" Cluster wird als Partition bezeichnet.

Für das in das Modell zu integrierende Partitionsverfahren wird ein modifiziertes „Minimum-Distanz-Cluster-Verfahren“ angewendet. EVz bilden demnach ein Cluster dann und nur dann, wenn eine bestimmte Distanz zwischen Teilnehmern innerhalb eines Clusters nicht überschritten wird. Beginnend mit einem beliebigen Gebäude werden weitere solange in ein Cluster aufgenommen, bis die maximal erlaubte Distanz zu einem Gebäude, das bereits zum Cluster gehört, überschritten wird. D.h., es wird ein Gebäude dann nicht mehr in ein Cluster aufgenommen, wenn der Abstand zu allen anderen Elementen des betrachteten Clusters größer als der vom Anwender definierte Höchstabstand ist. Hiermit werden Gebäude auch dann zu einem Cluster zusammengefasst, wenn sie wie an einer „Perlenkette“ aneinandergereiht sind. (z.B. entlang von Flüssen oder Straßen).

Parallel zum Distanzverfahren wird bei der Clusterung geprüft, ob die vorgegebenen Nebenbedingungen für die maximale und minimale Anschlusszahl in den Verzweigerbereichen eingehalten worden sind. Dabei werden zunächst die Anschlusszahlen je EVz bzw. je Gebäude abgefragt. Werden die Nebenbedingungen erfüllt ist die Bildung eines Clusters erfolgt und das Verfahren wird für die noch nicht zugeordneten Gebäude fortgeführt. Die resultierende Partition spiegelt somit die Einteilung des Anschlussbereichs in Verzweigerbereiche wider.

Wird die vom Anwender vorgegebene Untergrenze für die Zahl der anzuschließenden Teilnehmer je Verzweigerbereich nicht erreicht, sind folglich die Cluster so klein, dass sie für sich genommen keinen selbständigen Verzweigerbereich konstituieren, werden sie mit einem oder mehreren benachbarten Clustern zusammengefasst, solange der einzuhaltende Höchstabstand nicht überschritten wird. Dabei kann es, wie in unserem ASB-Beispiel in den Abbildung 5,6 und 9 zu sehen, auch vorkommen, dass der ASB gleichzeitig den Verzweigerbereich darstellt und somit in diesem Teilnehmeranschlussnetz die Funktion des Kabelverzweigers entfällt.

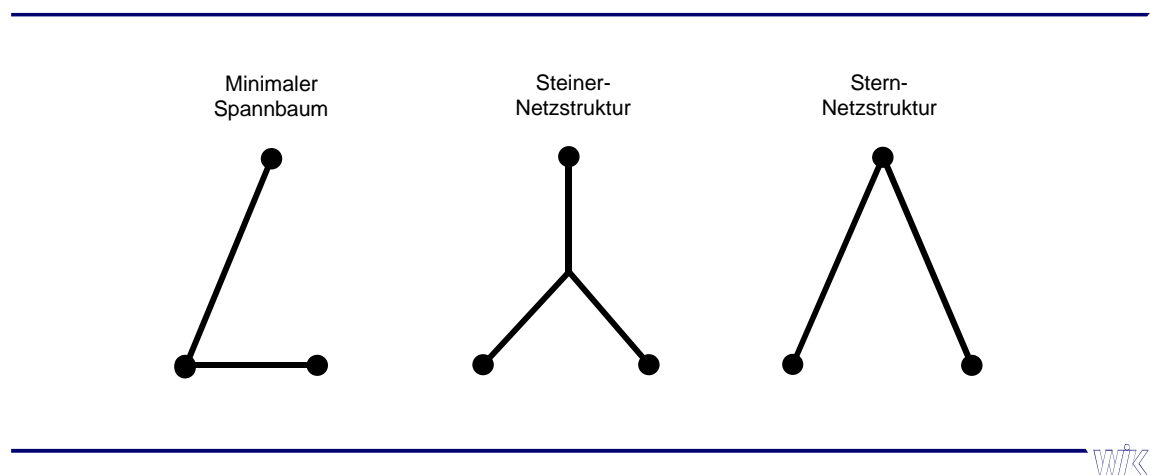
Nach der Festlegung der Verzweigerbereiche werden im Modell die Kabelverzweiger zunächst so platziert, dass ihr Standort den Mittelpunkt auf der Luftlinie zwischen HVt und dem Schwerpunkt des EVz-Clusters bildet. Durch diese Vorgehensweise soll der Knotenstandort in einem kostenminimalen Teilnehmeranschlussnetz approximiert werden. Die Variation des KVz-Standortes entlang der Strecke zwischen HVt und Clusterschwerpunkt ermöglicht dem Anwender verbleibende Effizienzpotentiale auszuschöpfen.



### 3.3 Bildung der Versorgungsbereiche und Standortfestlegung von Abzweigmuffen

An dieser Stelle stellt sich zunächst grundsätzlich die Frage, wie die EVz kostenminimal an die KVz angebunden werden können. Es gilt folglich, Vorüberlegungen über die effiziente Netztopologie im Verzweigerbereich anzustellen. Denkbar sind die in der Abbildung 7 dargestellten Netzstrukturen. Der Aufbau einer Sternstruktur würde bedeuten, dass jedes Gebäude über einen eigenen Graben/Kabel an den KVz angebunden ist. Verbundvorteile durch gemeinsame Verlegung der Kupferleitungen würden so verloren gehen. Die Topologie des minimalen Spannbaums nutzt diese Vorteile, bei gleichzeitiger Minimierung der Kantenlängen zwischen den vorhandenen Netzknoten. Das sog. Steiner-Netz löst das grafentheoretische Optimierungsproblem durch Einrichten von zusätzlichen Verbindungs-/Verzweigungsknoten, d.h. die Grabungskosten sind in einem solchen Netz am geringsten. Diese Knoten repräsentieren im Modell die Standorte der Abzweigmuffen, deren XY-Koordinaten Grundlage der Längeberechnungen im Verzweigerkabelnetz sind.

Abbildung 7: Netztopologien



Die hier so bezeichneten Abzweigmuffen dienen somit der Entnahme von Doppeladern zur Verbindung der im oder am Gebäude lokalisierten Endverzweiger mit dem im öffentlichen Grund verlaufenden Verzweigerkabel. Jede Muffe definiert demnach einen kleinräumigen Versorgungsbereich von einem oder mehreren Gebäuden. Die Zahl der Gebäude, die durch eine Abzweigmuffe versorgt werden, wird ähnlich wie bei der Festlegung der Verzweigerbereiche, durch den im vorherigen Abschnitt beschriebenen Clusteralgorithmus bestimmt. Dabei sind die maximale Anzahl von EVz pro Muffe und ein einzugebender Höchstabstand zwischen EVz und Abzweigmuffe die Determinanten der Clusterbildung. Neben diesen Abgrenzungskriterien kann im Modell auch eine Mindestanzahl von Kupferdoppeladern je Abzweigmuffe eingegeben werden. Die Änderung dieses Strukturparameters ermöglicht eine Verringerung der Anzahl Muffen

pro Verzeigerbereich und damit eine Reduzierung der nicht zu vernachlässigenden Spleißkosten.

Der Standort der Muffe liegt nicht im Schwerpunkt des Clusters. Im Modell wird der Abzweigknoten der Einfachheit halber so gelegt, dass er den Mittelpunkt zwischen KVz auf der einen Seite und dem Clusterschwerpunkt auf der anderen bildet. Durch dieses Vorgehen wird die Lösung des sog. "Steiner-Tree"-Problems approximiert. Während konkreter Modellrechnungen hat der Anwender jedoch die Möglichkeit den Steiner-Knoten zu versetzen, um somit iterativ das Optimum bestimmen zu können.

Dass Grundstücke i.d.R. an den gegenüberliegenden Seiten von Straßen liegen, findet im Modell Berücksichtigung durch die Anpassung der Kabelverlegung an den Straßenverlauf einerseits. Andererseits werden kreuzungsfreie Straßenabschnitte, zumindest im städtischen Bereich, als Hindernislinie betrachtet und somit der doppelseitigen Straßenverlegung Rechnung getragen. D.h. es müssen u.U. zwei Muffen (eine auf jeder Straßenseite) installiert werden.<sup>3</sup>

### 3.4 Ermittlung der Abschnitte des Hauptkabelnetzes

Bei der Hauptkabelnetzplanung ist eine Abwägung zwischen der Minimierung der Tiefbauinvestition und damit der Trassenlänge und der Minimierung der Kabel- oder präziser der Doppeladerlängen erforderlich. 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 HVt am nächsten liegende Knoten. Im folgenden Schritt wird geprüft, welcher der verbleibenden Knoten nunmehr zu geringsten Kosten angebunden werden kann. Dabei prüft der Algorithmus nicht nur die direkte Verbindung zum HVt sondern auch die Verbindung über den bereits angeschlossenen Knoten. Hierbei sind die auf der Kante entstehenden Kabelkosten maßgeblich, d.h. es wird nicht nur die direkte Verbindung zu einem bereits angeschlossenen Kabelverzweiger bewertet, sondern auch die Zusatzinvestition durch die nunmehr erforderlichen höherpaarigen Kabel von diesem Knoten zurück zum HVt. Dieser Schritt wird wieder-

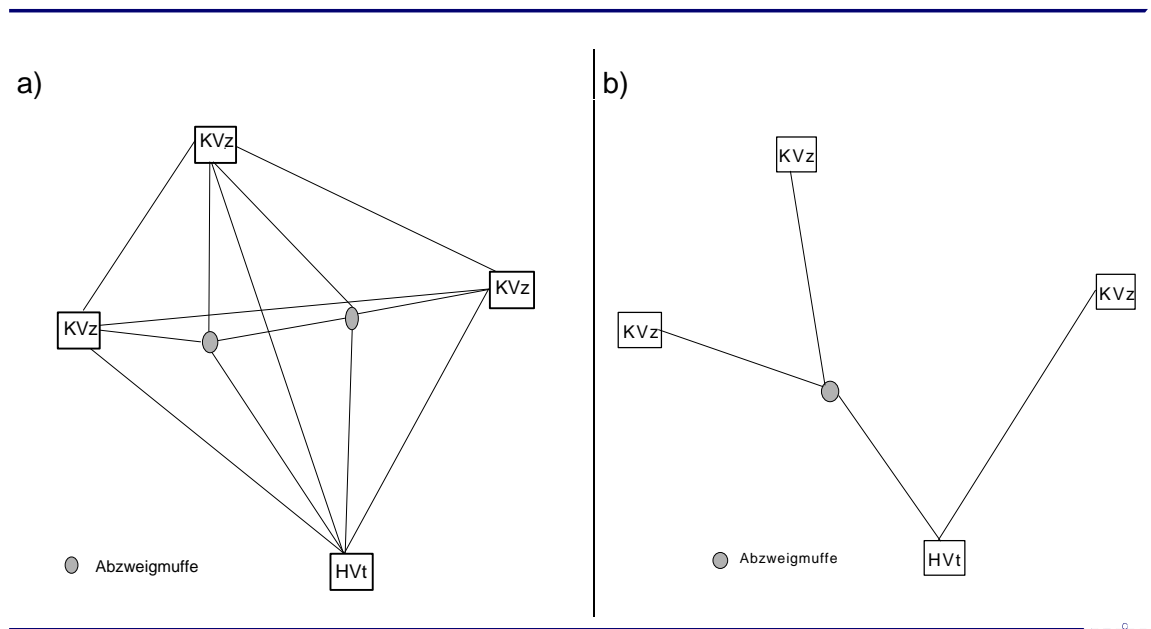
---

<sup>3</sup> Sollten in dem zur Verfügung stehenden GIS für den zu berechnenden ASB keine hinreichend genauen Straßenverlaufsdaten vorliegen, werden im Modell Umwegfaktoren definiert.

holt, bis alle Knoten mit dem Hauptverteiler verbunden sind. Als Ergebnis liegt eine Liste aller Trassenabschnitte mit Längenangaben und den geforderten Doppeladerzahlen vor.

Die Abbildung 8 zeigt die Modellmethodik bei der Optimierung des Hauptkabelnetzes: In der Grafik a) wird als Ausgangspunkt für die Optimierung ein Netz dargestellt, das über die komplette Vermaschung hinaus weitere Verzweigungsknoten aufweist, die nicht zugleich Kabelverzweigerstandorte sind. Durch diese Vorgabe werden denkbare Effizienzgewinne ausgeschöpft, die sich durch weitere Trassenverzweigungen an anderen Standorten ergeben können. Allerdings impliziert die Zulassung beliebiger weiterer Verzweigungsknoten eine erhebliche Zunahme des Rechenaufwandes zur Lösung des oben beschriebenen "Steiner-Tree"-Problems. Das unter Berücksichtigung von Tiefbau- und Kabelkosten optimierte Netz wird in der Grafik b) illustriert. Um die Anwendbarkeit des Modells allein aufgrund der notwendigen Rechenzeiten nicht unmöglich zu machen, wird im Modell ein Algorithmus verwendet, der für zwei KVz-Knoten die Anbindung über einen zusätzlichen Verbindungsknoten ermöglicht. Die Effizienzsteigerungen, die durch die Anbindung von mehr als zwei KVz möglich sind, können folglich nicht realisiert werden. Allerdings prüft der Optimierungsalgorithmus, inwiefern Anbindungen ohne zusätzliche Knoten mit dem Kostenminimum einhergehen.

**Abbildung 8:** Optimierung der Hauptkabelnetztopologie



In einem rein auf Glasfaser basierenden Netz ist der beschriebene trade-off nicht gegeben. Durch die geringe Anzahl von Fasern sind die Investitionen dafür bei der Optimierung der Netzstruktur vernachlässigbar. Da wir jedoch im Modell von einer

gleichzeitigen und parallelen Verlegung von Kupfer und Glas ausgehen, folgt die Faser dem Verlauf des Kupferkabelnetzes.

### 3.5 Ermittlung der Abschnitte des Verzweigerkabelnetzes

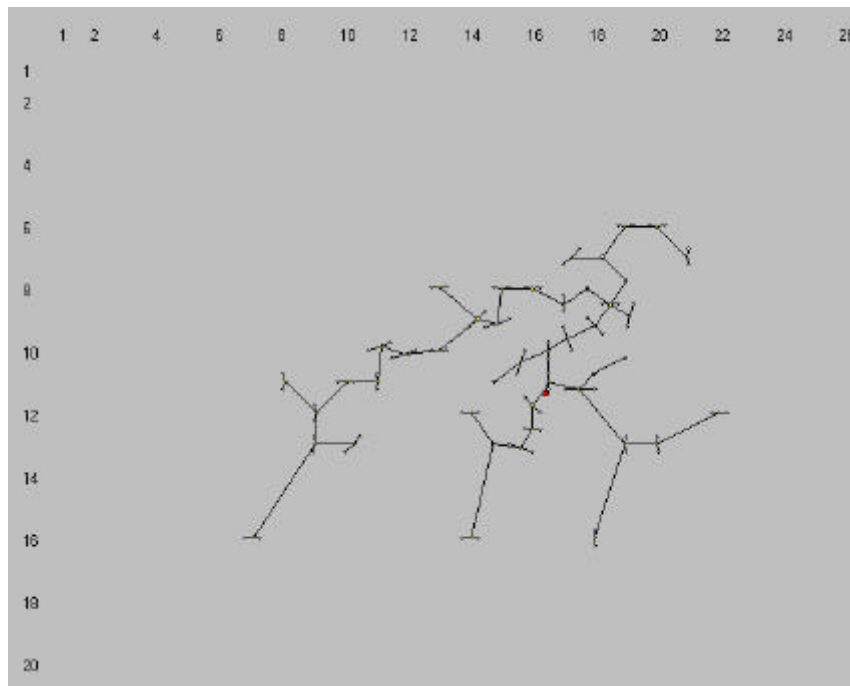
Die Ermittlung der Abschnitte des Verzweigerkabelnetzes wurde im Grunde schon in Abschnitt 3.3 über die Bestimmung der Standorte der Abzweigmuffen beschrieben. Auch unterscheidet sich die Ermittlung der Längen im Verzweigerkabelnetz kaum von der Vorgehensweise im Hauptkabelnetz.

Das Verzweigerkabelnetz verbindet den Kabelverzweiger mit den Abzweigmuffen als den Schnittstellen zum Endkabelnetz.

Nachdem die Lage der Abzweigmuffen bestimmt worden ist, sind diese im nächsten Schritt mit dem Kabelverzweiger zu verbinden. Der Kabelverzweiger kann dabei sowohl innerhalb wie außerhalb des Clusters angeordnet sein.

Die Verzweigerkabellinie wird, wie die Hauptkabellinie, durch den "shortest path"-Algorithmus bestimmt. Vom KVz beginnend, wird im ersten Schritt der nächste erreichbare Verzweigerpunkt angebonden. Dieser wird als Eintrittspunkt bezeichnet. Wir gehen davon aus, dass vom Eintrittspunkt beginnend der gesamte Verzweigerbereich in einer Topologie des minimalen Spannbaums angeschlossen wird. Diese Netztopologie ist nicht immer kongruent mit der geringsten Netzkantenlänge. Abweichungen vom Trassenlängenminimum sind dann zu erwarten, wenn die Investitionen in die Kupferkabel so ins Gewicht fallen, dass bei einer anderen Trassenführung die Gesamtkosten gesenkt werden können.

Die Abbildung 9 zeigt schließlich die Netztopologie des bereits aus den Abbildungen 5 und 6 bekannten ASB. Der besseren Übersicht wegen, wurde hier ein flächenmäßig kleiner und noch dazu durch eine dünne Besiedlung gekennzeichnete ASB ausgewählt. In diesem Netz existieren keine KVz, somit entfällt die Rangierfunktion. Der fett gedruckte Punkt, bei den Koordinaten 12 und 16, symbolisiert den Hauptverteiler. Alle Netzabschlusspunkte stellen gleichsam die Gebäudestandorte dar und die Abzweigmuffen werden durch die Verzweigungsknoten oder "Astgabeln" symbolisiert.

**Abbildung 9:** Netztopologie des ASB

Quelle: WIK

WIK

### 3.6 Ermittlung der Abschnitte des Endkabelnetzes

In einem letzten Schritt werden die Längen des Endkabelabschnittes bestimmt. Hierbei nehmen wir an, dass die Endkabel vom Verzweigerpunkt entlang der Straße bis zur Mitte der Grundstücksfront geführt werden. Von dort verläuft die Endkabeltrasse zur Gebäudefront. Der Mittelpunkt der Gebäudefront entspricht annahmegemäß dem Standort des EVz. Werden die EVz-Lokationen bei der Bestimmung der Anschlussnachfrage interpoliert ist für die Länge der Trasse innerhalb des Grundstücks im Modell ein einheitlicher Parameterwert anzugeben (z.B. 10 m). Je nach angegebenen Höchstabstand zwischen EVz und Abzweigmuffe und Zahl der Gebäude im Straßenabschnitt kann das Endkabel über mehrere EVz durchgeschaltet werden ehe es am Bestimmungsort endet. Diese Art der Verlegung erhöht zwar die Kabelinvestitionen eröffnet jedoch die Möglichkeit einer Ausgleichsschaltung zwischen nebeneinanderliegenden Gebäuden bzw. EVz und reduziert die Ausgaben für Spleißarbeiten. Die gesamte Kabellänge entspricht daher der Summe aus der Entfernung der Grundstücksfrontmitte zur Muffe und dem Abstand des Gebäudes zur Straße multipliziert mit der Zahl zwischengeschalteter EVz.

### 3.7 Investitionswertermittlung

Anhand der beschriebenen Rechenschritte wird eine vollständige Liste der Haupt-, Verzweiger- und Endkabelabschnitte erzeugt. Für jeden Abschnitt wird darüber hinaus die geforderte Doppeladerzahl bestimmt. Dabei wird zunächst die DA-Anzahl der jeweiligen Netzabschnitte durch die Berücksichtigung von Auslastungsgraden erhöht. Die Auslastungsgrade werden als Quotienten von der Anschlussnachfrage und der je Netzabschnitt zu berücksichtigenden DA-Kapazität bestimmt. Dieser Quotient ist in der Regel kleiner als Null, da zusätzlich zur Anschlussnachfrage Reserveadern für technische Mängel und für während der Genehmigungsfrist zu erwartende Nachfrageänderungen vorgehalten werden müssen. Die Kapazität des symmetrischen Kupfernetzes wird demnach von folgenden Faktoren determiniert:

- Erwartete Nachfrage nach Kupferdoppeladern im Genehmigungszeitraum,
- Prognoseunsicherheit der Nachfrage bedingt durch Teilnehmermigration,
- Unteilbarkeiten von Netzkomponenten (z.B. feste Kabelgrößen),
- Reservekapazität zur Sicherung der Netzverfügbarkeit und –qualität.

Die Informationen über die DA-Kapazitäten ermöglichen nunmehr die Bewertung jedes Abschnittes mit den in Kapitel 2 beschriebenen Investitionen in Kabel, Tiefbauleistungen und Sonstiges (KVz, HVt). Durch Addition ergeben sich die Investitionen je Anschlussbereich, die abschließend auf einzelne Doppeladern heruntergebrochen werden können.

Ebenfalls bei der Investitionswertermittlung pro DA zu berücksichtigen sind Festverbindungen oder parallel verlegte Gf-Anschlüsse. Sie erhöhen einerseits die Netzinvestitionen, andererseits sinken durch die - mit Hilfe von Beilauffaktoren ermittelten – höheren Anschlusszahlen die Investitionen pro Kupferdoppelader, da Größen- und Verbundvorteile zum Tragen kommen.

## 4 Annualisierung

Das nach Durchführung der Investitionsrechnung vorliegende zu Wiederbeschaffungspreisen bewertete Anlagevermögen für die einzelnen Komponenten des Teilnehmeranschlussnetzes kann nunmehr in einem abschließenden Schritt annualisiert werden. Zu diesem Zweck sind die Investitionen so weit wie möglich nach Anlagekategorien aufzuspalten. Sinnvoll ist dabei die Unterscheidung in:

- Kupfer-Erdkabel (Material, Verlegung und Tiefbau)
- Kupfer-Röhrenkabel (Material und Verlegung)

- Kabelkanalanlagen, inklusive der Kabelschächte (Material und Errichtung)
- Montagestellen/Abzweigmuffen (Material und Verlegung)
- Hauptverteiler
- Kabelverzweiger
- Endverzweiger

#### **4.1 Kapitalkosten**

Die Ermittlung der Kapitalkosten für das im Modell ermittelte betriebsnotwendige Anlagevermögen (kalkulatorische Verzinsung und Abschreibungen) ist nicht Gegenstand dieses Referenzdokumentes.

#### **4.2 Betriebskosten**

Die korrekte Berücksichtigung von anlagenbezogenen Betriebskosten im Rahmen eines Bottom-up Modells ist schwierig. Gründe sind die komplexen Arbeitsabläufe, die die Identifikation von Kostentreibern erschweren, und die Unternehmensspezifität der Prozesse: Während die Regeln für den Aufbau eines Telekommunikationsnetzes aufgrund internationaler technischer Standardisierung in weiten Bereichen gut dokumentiert sind, gilt dies nicht für die Betriebsabläufe, die einzelne Betreiber etabliert haben. In Analogie zur Ermittlung der Netzstruktur müssten Betriebsprozesse grundsätzlich im Sinne einer Prozesskostenrechnung beschrieben werden, die die relevanten Kostentreiber angemessen abbildet und somit eine Zurechnung zu einzelnen Leistungen oder Netzelementen erlaubt. Deshalb verwenden wir, wie auch im Kostenmodell für das Verbindungsnetz, Faktoren, die die Betriebskosten für verschiedene Anlagekategorien als Prozentsatz der Investitionssumme ausdrücken.

Die Zuschlagssätze werden anhand der dem Unternehmen entstandenen Kosten für Wartung und Instandhaltung des Teilnehmeranschlussnetzes und des zu Wiederbeschaffungswerten bewerteten Anlagevermögens ermittelt. Sollte die Differenzierung von Zuschlagssätzen nach den oben aufgelisteten Kategorien, anhand der aus dem Rechnungswesen zur Verfügung stehenden Daten, nicht möglich sein, so kann im Modell auch ein globaler Betriebskostenfaktor verwendet werden.

## 5 Kosten der Teilnehmeranschlussleitung

Die bis hierher vorgenommenen Modellberechnungen bilden die Basis für die Ermittlung der längerfristigen zusätzlichen Kosten von Netzzugangsleistungen auf der Ebene des Teilnehmeranschlussnetzes. Kosten werden in den bisher dargelegten Schritten als jährliche Kosten der gesamten Infrastruktur eines untersuchten Anschlussbereichs ausgewiesen.

### 5.1 Leistungsbeschreibung

In klassischen auf Kupferlinien basierenden Anschlussbereichen besteht die von den Wettbewerbern nachgefragte entbündelte Teilnehmeranschlussleitung aus einer symmetrischen Kupferleitung vom Endverzweiger bis zum Hauptverteiler. Auch in Anschlussnetzen, in denen im Hauptkabelbereich parallel zum Kupferkabel Glasfasern verlegt werden, kann der Netzzugang weiterhin über die Zweidraht-Kupferleitung, die am HVt endet, realisiert werden.

Die durchschnittlichen langfristigen inkrementellen Kosten einer Teilnehmeranschlussleitung ergeben sich durch Addition der Kosten, die für die verschiedenen Abschnitte des TAN unter Berücksichtigung von Reservekapazitäten errechnet worden sind, und die anschließende Division durch die Zahl der nachgefragten Kupferdoppeladern im Anschlussbereich.

### 5.2 Durchschnittskostenermittlung

Kosten werden im hier beschriebenen Ansatz grundsätzlich bezogen auf einzelne Anschlussbereiche ermittelt. Grundlage eines bundeseinheitlichen Überlassungsentgelts für die Teilnehmeranschlussleitung können demzufolge nur die gemittelten Ergebniswerte einer Stichprobe sein. Auf Basis der für die als aussagekräftig erachteten Teilnehmeranschlussnetze ermittelten Werte können Durchschnittsbildungen für die Kosten von Netzkomponenten und Zugangsleistungen erfolgen. Bei der Durchschnittsbildung sind die für die einzelnen ASB ermittelten Kosten mit den korrespondierenden Anschlusszahlen zu gewichten.



## Anhang A: Änderungskatalog

Im Folgenden sind die gegenüber der Version 1.0 des Kostenmodells vom Februar 1999 vorgenommenen Änderungen tabellarisch aufgelistet:

	Version 1.0	Version 2.0
1.	Analyse des Ortsnetzes: Es wurde sowohl die Kostenstruktur des Teilnehmeranschlusses als auch die Struktur von Teilen des Verbindungsnetzes untersucht.	Explizite Analyse des Teilnehmeranschlusses (TAN)
2.	Bestimmung der Anschlussnachfrage anhand von Landkarten/Stadtplänen und Rasterschablonen	Automatisierung der Anschlussnachfragebestimmung mit Hilfe eines geografischen Informationssystems (GIS)
3.	Festlegung der Anschlussbereichsgrenzen mit Hilfe von kartografischen Angaben über Gemeindegrenzen	Nachbildung der Anschlussbereichsgrenzen der DT AG
4.	Modellierung des TAN basiert ausschließlich auf Kupferanschlusstechnik	Modellierung von hybriden Anschlusstechniken (Kupfer u. Glasfaser); Der Aufbau von passiven Glasfasernetzen im Hauptkabelbereich wird bei der Kostenermittlung für die Kupferdoppelader mit berücksichtigt.
5.	Annahme der orthogonale Anbindung der KVz an den HVt bei der Berechnung der Trassenlängen	Verwendung von Clusteralgorithmen und "shortest path"-Algorithmen zur Bestimmung der effizienten Länge des Hauptkabelnetzes
6.	Analyse der Investitionen im Verzweigeretz durch Rasterung der ASB und Annahme einer Gleichverteilung der Teilnehmerlokationen innerhalb eines 300x300m Rasters	Detaillierte Analyse des Investitionsaufwands zwischen KVz und EVz durch präzise Lokalisierung der Teilnehmer mit Hilfe eines GIS
7.	Berücksichtigung städtebaulicher Gegebenheiten durch Umwegfaktoren	Verlegung der Netzkabel entlang des Straßenverlaufs mit Hilfe eines digitalen Anwohnerstraßennetzes

## Anhang B: Fragen zu Eingabedaten

Die im Rahmen dieser Befragung bereitgestellten Daten über Preise, Kosten und die Netzstruktur werden zur Festlegung der Inputwerte für das Kostenmodell herangezogen. Die ermittelten Ergebnisse werden der Reg TP zur Vorbereitung von Regulierungsentscheidungen im Rahmen der Entgeltregulierung dienen.

Bei der Bereitstellung des Datenmaterials ist folgendes zu beachten:

- Alle Fragen sind nach dem derzeitigen Kenntnisstand so umfassend wie möglich zu beantworten. Erläuterungen über die Quellen und Berechnungsmethoden sind beizufügen, so dass die Datenerhebung und -aufbereitung für die Zwecke der Auswertung nachvollziehbar sind. Relevant ist insbesondere, ob die Angaben auf durchgeführten Investitionsprojekten, Investitionsplanungen oder anderen Quellen beruhen. Sofern Ihr Unternehmen nicht zu allen Fragen Angaben machen kann, können auch zu Teilen des Fragebogens Angaben gemacht werden.
- Die Daten werden von der Reg TP vertraulich behandelt und Dritten nicht zugänglich gemacht. Das WIK als Auftragnehmer gilt nicht als Dritter in diesem Sinne, ist aber verpflichtet, die Daten ebenso zu behandeln wie die Reg TP selbst. Inputwerte, die ggf. zusammen mit Modellrechnungen veröffentlicht werden, basieren auf der Auswertung der Datenerhebung und werden so dargestellt, dass sie keine Rückschlüsse auf die Kostenstruktur einzelner Unternehmen zulassen.
- Ergeben sich im Rahmen der Kommentierung Modellmodifikationen, die zu anderen oder ergänzenden Parameterdefinitionen führen, erfolgt ggf. eine erneute Befragung.

## Teil A: Preise für Ausrüstungsinvestitionen

In diesem Teil A des Fragebogens werden Preise für Ausrüstungsinvestitionen erfragt, die für die Errichtung von Kupferanschlussnetzen relevant sind. In die Modellrechnungen gehen Werte der notwendigen Gesamtinvestition zur betriebsbereiten Installation der Anlagegüter ein. Diese setzen sich zusammen aus den Einkaufspreisen der Anlagegüter und gegebenenfalls den Kosten der Installation und Inbetriebnahme durch den Netzbetreiber (sog. aktivierte Eigenleistungen). Bitte geben Sie dort, wo aktivierte Eigenleistungen relevant sind, diese getrennt von den Material- bzw. Einkaufspreisen an.

### A1. Preise für Tiefbauleistungen: Kabelerdverlegung

Tätigkeit:	Einheit	Wert*
Durchführen von Planungs- und Genehmigungsverfahren	Euro/m	
Aufnehmen und Lagern/Entsorgen der vorhandenen Oberfläche		
Grünfläche	Euro/m <sup>2</sup>	
Asphalt	Euro/m <sup>2</sup>	
Pflaster	Euro/m <sup>2</sup>	
Ausheben des Kabelgrabens/Lagerung des Aushubs	Euro/m <sup>3</sup>	
Einbringen eines Sandbettes	Euro/m <sup>3</sup>	
Verfüllen und Verdichten des Grabens	Euro/m <sup>3</sup>	
Wiederherstellen der Oberfläche		
Grünfläche	Euro/m <sup>2</sup>	
Asphalt	Euro/m <sup>2</sup>	
Pflaster	Euro/m <sup>2</sup>	

\* Gehen Sie von einem Schwierigkeitsgrad der Tiefbauarbeiten aus, der einer Bodenbeschaffenheit der Klasse 3 entspricht.

Die Beschaffenheit des Bodens kann die Kosten der Tiefbauarbeiten beeinflussen. Bitte geben Sie für die folgenden sechs Boden- und Felsklassen einen Faktor an, um den sich die Tiefbaukosten im Vergleich zu den oben angegebenen Werten für die Bodenklasse 3 erhöhen oder vermindern. Geben Sie die Werte alternativ für die einzelnen Arbeiten in Form der vorstehenden Tabelle an.

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

\* Normierungsfaktor

## A2. Preise für Tiefbauleistungen: Kabelkanalanlagen

A2a) Geben Sie den Materialpreis für PVC-Kabelkanalröhren (Außendurchmesser 110 mm, Wandstärke 3,2 mm) pro Meter an.

A2b) Geben Sie den Preis für die Installation von Kabelkanalröhren pro Meter an.

A2c) Geben Sie Materialpreise und Einbaupreise für Kabelschächte an

Maß	Material	Einbau (Bodenklasse 3)
2,5m*1,5m*2,1m		
3,9m*1,5m*2,1m		
5,0m*1,8m*2,1m		

### A3. Kabelpreise

A3a) Geben Sie Material- und Verlegepreise sowie Preise für Doppeladerverbinder und Schutzmuffen für Kabel mit symmetrischen Kupferdoppeladern pro Meter an (Leiterdurchmesser 0,5 mm).

A3b) Kabel für **Erdverlegung**, petrolatgefüllt (A-02Y SF(L) 2Y)

Leiterpaare/ Kabel	Material und Verlegung /m	Material für DA-Verbinder	Arbeitslohn für DA-Verbinder	Material und Mon- tage für Schutz- muffe/Stck.
10 Paar				
20 Paar				
30 Paar				
40 Paar				
50 Paar				
100 Paar				
200 Paar				
300 Paar				
500 Paar				
800 Paar				
1000 Paar				
1200 Paar				
1500 Paar				
2000 Paar				

Kabel für **Röhrenverlegung**, druckluftüberwacht (A-02Y (L) 2Y)

Leiterpaare/ Kabel	Material und Verlegung /m	Material für Adernver- bindungsleisten	Arbeitslohn für AVL	Material und Mon- tage für Schutz- muffe/Stck.
10 Paar				
20 Paar				
30 Paar				
40 Paar				
50 Paar				
100 Paar				
200 Paar				
300 Paar				
500 Paar				
800 Paar				
1000 Paar				
1200 Paar				
1500 Paar				
2000 Paar				

**A4. Hauptverteiler**

- A4a) Geben Sie die Investitionssumme an, die pro Hauptverteiler unabhängig von der Zahl der beschalteten Doppeladern zu veranschlagen ist. Bitte erläutern Sie, wie sich die genannte Summe zusammensetzt (z.B. Kabelaufteilungsgestelle, etc.)
- A4b) Geben Sie die Investitionssumme (pro Doppelader) an, die in Abhängigkeit von der Zahl der beschalteten Doppeladern zu veranschlagen ist. Bitte erläutern Sie, wie sich die genannte Summe zusammensetzt (z.B. Trennleisten).
- A4c) Geben sie Investitionen für die Druckluftüberwachung an (Fixe Investition und Investition pro gehendem Kabel)
- A4d) Geben sie Investitionen oder Miete für die Unterbringung eines HVt an. Differenzieren sie ggf. zwischen Regionen.

**A5. Kabelverzweiger**

- A5a) Geben Sie Material- und Montagepreise von Kabelverzweigern (überirdische Installation) an.
- A5b) Geben Sie Material- und Montagepreise für Endverschlüsse pro beschalteter Doppelader (HK und VzK) an.

**A6. Endkabelsegment**

- A6a) Geben Sie Preise für Endkabel (Verbindung zwischen Montagestelle im Verzweigerkabel und Endverzweiger) an. Machen Sie bitte differenzierte Angaben zum Materialpreis und zum Preis der Verlegung pro Meter. Nennen Sie ggf. zusätzlich eine fixe Komponente für die Einführung des Kabels in das Gebäude.
- A6b) Geben Sie Material- und Montagepreis eines Endverzweigers bei Installation innerhalb eines Gebäudes an.
- A6c) Geben Sie Material- und Montagepreis für Endstellenkabel pro Meter an.
- A6d) Geben Sie Material- und Montagepreis einer Teilnehmeranschlusseinheit (TAE) an.

## A7. Sonstiges

A7a) Bitte geben Sie Kosten der Netzplanung und Bauvorbereitung für Teilnehmeranschlussnetze pro Trassenmeter an und erläutern Sie die Zusammensetzung dieser Kosten.

A7b) Bitte nennen Sie, falls relevant, sonstige hier nicht aufgeführte Investitionen (einschl. aktivierter Eigenleistungen), die für die Errichtung von Teilnehmeranschlussnetzen bis einschließlich der linientechnischen Seite des Hauptverteilers notwendig sind.

## Teil B: Betriebskosten

Das Modell berücksichtigt Betriebskosten als Prozentsatz der Investitionssumme. Dabei wird zwischen verschiedenen Anlagekategorien differenziert. Bitte nennen Sie entsprechende Prozentsätze für die nachstehend genannten Anlagekategorien:

Anlagekategorie	Jährlich anfallende Betriebskosten in v.H. der Investitionssumme
Kupfer-Erdkabel	
Kupfer-Röhrenkabel	
Kabelkanalanlagen	
Hauptverteiler	
Kabelverzweiger	
Montagestellen/Abzweigmuffen	
Endverzweiger/Endstellenkabel	
Endkabel	

Falls die Betriebskosten in Ihrem Unternehmen in dieser Systematik nicht ermittelt werden können, z.B. hinsichtlich der Einteilung in Anlagekategorien, modifizieren Sie die Tabelle entsprechend und erläutern Sie Ihr Vorgehen.

Wir gehen davon aus, dass die hier gemachten Angaben auf Daten der betrieblichen Kostenrechnung bzw. der Anlagenbuchhaltung beruhen. Um beurteilen zu können, ob die genannten Werte in die Modellrechnungen übernommen werden können, bitten wir Sie um eine möglichst detaillierte Beschreibung der Art und Weise, wie die von Ihnen genannten Betriebskostenfaktoren ermittelt worden sind.



Falls Sie Angaben zu Betriebs- und Wartungskosten machen können, die auf Prozessanalysen beruhen, so beziffern Sie diese Kosten bitte in bezug auf die von Ihnen identifizierten Kostentreiber. Erläutern Sie Ihre Berechnungen.

## Teil C: Netzstrukturdaten

### C1. Hauptkabelnetz

Kurzbeschreibung	Wert
Abstand zwischen Kabelschächten [m]	
Anteil der Erdkabelverlegung	
Anteil der Röhrenkabelverlegung	
Anteil der Tiefbauinvestitionen, der den Kupferdoppeladern zugerechnet wird (Mitverlegungsfaktor)	
Abstand zwischen Verbindungsmuffen [m]	
Steiner Faktor Hauptkabel	
Beschaltungsgrad	

## C2. Verzweigerkabelnetz

Kurzbeschreibung	Wert
Anteil der Erdkabelverlegung	
Anteil der Röhrenkabelverlegung	
Anteil der Tiefbauinvestitionen, der den Kupferdoppeladern zugerechnet wird (Mitverlegungsfaktor)	
Beschaltungsgrad	
Maximale Anzahl von Doppeladern pro Verzweigerbereich	
Minimale Anzahl von Doppeladern pro Verzweigerbereich	
Max Abstand [m] der ein Verzweigerbereichscluster determiniert.	
Maximale Anzahl von Doppeladern pro Abzweigmuffe (differenziert nach starren und Schaltnetz)	
Radius [m] der zu versorgenden EVz pro Abzweigmuffe (differenziert nach starren und Schaltnetz)	
Steiner Faktor KVz	
Steiner Faktor EVz	
Radius im starren Netz [m]	
Abstand zwischen Abzweigmuffen [m]	