

**Ein analytisches Kostenmodell
für das Ortsnetz**

- Referenzdokument -

**erstellt durch das WIK
im Auftrag der
Regulierungsbehörde für
Telekommunikation und Post**

Stand 4. März 1998

| | |
|---|------------|
| Inhaltsverzeichnis | |
| Abbildungsverzeichnis | V |
| Tabellenverzeichnis | VI |
| Abkürzungsverzeichnis | VII |
| Verzeichnis der Indizes | XII |
| 1 Einleitende Bemerkungen | 1 |
| 2 Konzeption der Kostenermittlung mit Hilfe eines analytischen Kostenmodells | 3 |
| 2.1 Zum Begriff der langfristigen zusätzlichen Kosten der Leistungsbereitstellung | 3 |
| 2.1.1 Langfristige zusätzliche Kosten | 3 |
| 2.1.2 Kosten von Netzelementen | 5 |
| 2.2 Schritte der Kostenermittlung | 7 |
| 2.2.1 Nachfragedefinition | 8 |
| 2.2.2 Investitionsvolumen für ein Referenznetz | 9 |
| 2.2.3 Kapitalkosten | 11 |
| 2.2.3.1 Wertansatz für Investitionsgüter: Wiederbeschaffungszeitwerte | 11 |
| 2.2.3.2 Abschreibungen | 13 |
| 2.2.3.3 Kalkulatorische Kapitalverzinsung | 15 |
| 2.2.4 Anlagenbezogene Betriebskosten | 15 |
| 2.2.4.1 Ermittlung durch Prozeßkostenrechnung | 16 |
| 2.2.4.2 Ermittlung auf Basis historischer Daten | 16 |
| 2.2.5 Konventionen für die Umrechnung von Spitzenlastkosten (Kapazitätskosten) in Kosten pro Minute oder pro Ereignis | 17 |
| 2.2.6 Nutzungsfaktoren | 17 |
| 2.3 Netzelemente für Zusammenschaltung und besonderen Netzzugang | 18 |
| 2.3.1 Generelle Netzarchitektur | 18 |
| 2.3.2 Teilnehmeranschlußnetz | 19 |
| 2.3.2.1 Verzweigernetz | 20 |
| 2.3.2.2 Hauptkabelnetz | 21 |
| 2.3.3 Teilnehmervermittlungsstelle und abgesetzte Konzentratoren | 21 |
| 2.3.4 Transport zwischen abgesetztem Konzentrator und Teilnehmervermittlungsstelle | 22 |
| 2.3.5 Vermittelter Transport zwischen Teilnehmervermittlungsstellen eines Ortsnetzes | 22 |
| 2.3.6 Vermittelter Transport zwischen Teilnehmervermittlungsstelle und Ortsnetzgrenze | 23 |
| 3 Die Logik der Kostenermittlung | 24 |
| 3.1 Vorarbeiten zur Bestimmung des Investitionsvolumens | 24 |
| 3.1.1 Einteilung der Ortsnetzfläche in Verzweigerbereiche | 25 |
| 3.1.2 Ermittlung der Nachfrage nach Teilnehmeranschlüssen in den einzelnen Verzweigerbereichen | 26 |
| 3.1.3 Einteilung der Verzweigerbereiche in Typklassen | 28 |

| | | |
|-----------|---|----|
| 3.1.4 | Zuordnung der Verzweigerbereiche zu Anschlußbereichen | 29 |
| 3.1.5 | Zuordnung von Verzweigerbereichen zu Hauptkabelabschnitten | 31 |
| 3.1.6 | Längenberechnung für Haupt- und Verzweigerkabelnetz | 33 |
| 3.1.6.1 | Längenberechnungen für das Hauptkabelnetz | 33 |
| 3.1.6.2 | Längenberechnungen für das Verzweigerkabelnetz | 34 |
| 3.1.7 | Ermittlung der notwendigen Durchmesser für Kupferdoppeladern | 36 |
| 3.1.8 | Ermittlung der Anzahl der Doppeladern | 38 |
| 3.1.9 | Ermittlung der Verkehrsmenge für Anschlußbereiche | 39 |
| 3.1.10 | Ermittlung der logischen Verkehrsbeziehungen zwischen Netzknoten | 41 |
| 3.1.10.1 | Verbindungen zwischen abgesetzten Konzentratoren und Teilnehmervermittlungsstelle | 41 |
| 3.1.10.2 | Verbindungen zwischen TVSt des Ortsnetzes | 42 |
| 3.1.11 | Ermittlung der DSV2 für Übertragungswege im Ortsnetz | 44 |
| 3.1.12 | Ermittlung der Verbindungskabellänge | 46 |
| 3.1.13 | Ermittlung der Kapital- und Betriebskostenfaktoren | 47 |
| 3.2 | Kostenermittlung für das Teilnehmeranschlußnetz | 48 |
| 3.2.1 | Kosten des Hauptkabelnetzes | 48 |
| 3.2.1.1 | Infrastrukturkosten | 48 |
| 3.2.1.1.1 | Tiefbaukosten | 49 |
| 3.2.1.1.2 | Materialkosten | 50 |
| 3.2.1.2 | Kabelkosten | 51 |
| 3.2.1.3 | Leiterkosten | 52 |
| 3.2.2 | Kosten des Verzweigerkabelnetzes | 53 |
| 3.2.2.1 | Infrastrukturkosten | 55 |
| 3.2.2.1.1 | Tiefbaukosten | 55 |
| 3.2.2.1.2 | Materialkosten | 55 |
| 3.2.2.1.3 | Kosten des Kabelverzweigers | 55 |
| 3.2.2.2 | Kabelkosten | 55 |
| 3.2.2.3 | Leiterkosten | 55 |
| 3.2.3 | Kosten des Endkabelnetzes | 56 |
| 3.2.4 | Kosten der Endstellenkabel | 57 |
| 3.2.5 | Hauptverteilerkosten | 57 |
| 3.3 | Kostenermittlung für Vermittlungseinrichtungen | 57 |
| 3.3.1 | Kosten der TVSt | 58 |
| 3.3.1.1 | Anschlußbezogene Kosten | 58 |
| 3.3.1.2 | Nutzungsabhängige Kosten | 58 |
| 3.3.1.2.1 | Verbindungsdauerabhängige Kosten | 59 |
| 3.3.1.2.2 | Ereignisabhängige Kosten | 60 |
| 3.3.1.3 | Kosten für Unterbringung und Ausstattung von Vermittlungseinrichtungen | 61 |

| | | |
|------------------|---|-----------|
| 3.3.2 | Kosten der abgesetzten Konzentratoren | 61 |
| 3.4 | Kostenermittlung für Übertragungswege im Ortsnetz | 61 |
| 3.4.1 | Verbindungen zwischen abgesetztem Konzentrator und TVSt | 61 |
| 3.4.1.1 | Kosten der Übertragungstechnik | 62 |
| 3.4.1.2 | Kosten der Zwischenregeneratoren | 62 |
| 3.4.1.3 | Kosten der Linientechnik | 63 |
| 3.4.1.3.1 | Kosten der Infrastruktur | 78 |
| 3.4.1.3.2 | Kabelkosten | 64 |
| 3.4.2 | Verbindungen zwischen TVSt im Ortsnetz | 64 |
| 3.4.2.1 | Kosten der Übertragungstechnik | 65 |
| 3.4.2.2 | Kosten für Zwischenregeneratoren | 65 |
| 3.4.2.3 | Kosten der Linientechnik | 65 |
| 3.4.2.3.1 | Kosten der Infrastruktur | 65 |
| 3.4.2.3.2 | Kabelkosten | 81 |
| 3.5 | Umrechnung der Netzkosten auf Kosten pro Nachfrageeinheit | 67 |
| 3.5.1 | Ermittlung der Kosten der Teilnehmeranschlußleitung | 67 |
| 3.5.2 | Ermittlung der Kosten für Verbindungsleistungen | 67 |
| 3.5.3 | Durchschnittsbildung | 69 |
| 4 | Abschließende Bemerkungen | 70 |
| 4.1 | Grundzüge der Kostenmodellierung | 70 |
| 4.2 | Zweck der Modellentwicklung | 71 |
| 4.3 | Anmerkungen zum weiteren Vorgehen | 71 |
| Anhang A: | Diskussionsthemen zum Kostenmodell für Telekommunikationsortsnetze | 87 |
| Anhang B: | Inputliste | 91 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|---------------------|--|----|
| Abbildung 3.1.1-A: | Einteilung eines Ortsnetzes in Planquadrate | 33 |
| Abbildung 3.1.2-A: | Zuordnung von Privatanschlüssen zu Planquadraten | 34 |
| Abbildung 3.1.4-A: | Struktur eines im Modell erfaßten Ortsnetzes | 38 |
| Abbildung 3.1.5-A: | Struktur eines Anschlußbereichs | 40 |
| Abbildung 3.1.6-A: | Durchschnittlicher Abstand eines Teilnehmers zum KVz | 43 |
| Abbildung 3.1.6-B: | Struktur der Kabeltrassen im Verzweigerbereich | 44 |
| Abbildung 3.1.7-A: | Graphische Darstellung der zu verwendenden Leiterdurchmesser | 45 |
| Abbildung 3.1.10-A: | Stilisierte Struktur eines Ortsnetzes | 50 |
| Abbildung 3.2.2-A: | Stilisierte Darstellung des Verzweigernetzes | 67 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 3.1.2-a: Auszug aus der Wohnplatzstatistik | 34 |
| Tabelle 3.1.10-a: Verkehrsmatrix des Orts-, Intern- und Fernverkehrs | 53 |
| Tabelle 3.1.11-a: Verkehrstabelle (Beispiel) | 55 |
| Tabelle 3.1.13-a: Kapitalgüterkategorien | 59 |

Abkürzungsverzeichnis

| | | |
|--------------------|---|---|
| # | = | Anzahl |
| α | = | Faktor, der das Verhältnis von erfolgreichen zu den gesamten Verbindungsversuchen angibt. |
| A | = | Verkehrsangebot in Erlang |
| Abs_ZWR | = | Einzuhaltende Maximalentfernung zwischen Zwischenregeneratoren |
| AbsSchacht | = | Durchschnittlicher Abstand zwischen Kabelschächten |
| AFV | = | Anteil Fernverkehr am gesamten Teilnehmerverkehr |
| AK | = | Abgesetzter Konzentrator |
| AKK _{HK} | = | Anteil der Kabelkanaltrassen an den gesamten Hauptkabeltrassen |
| AKK _{VZB} | = | Anteil der Kabelkanaltrassen an den gesamten Verzweigerkabeltrassen |
| AKK _{VK} | = | Anteil der Kabelkanaltrassen an den gesamten Verbindungskabeltrassen |
| ASB | = | Anschlußbereich |
| Asl_analog | = | Anzahl der analogen Teilnehmeranschlüsse |
| Asl_digital | = | Anzahl der Basisanschlüsse |
| Asl_PQ | = | Anzahl der Teilnehmeranschlüsse in einem Planquadrat |
| Asl_VZB | = | Anzahl der Teilnehmeranschlüsse im VZB |
| B | = | Verlustwahrscheinlichkeit |
| BHCA | = | Dynamische Verkehrslast in einer durchschnittlichen Hauptverkehrsstunde ("Busy hour call attempts") |
| BHCA _D | = | Dynamische Verkehrslast in der für die Netzdimensionierung relevanten Stunde |
| BHE | = | Verkehrsmenge in einer durchschnittlichen Hauptverkehrsstunde ("Busy hour Erlang") |
| BHE_G | = | Gehender Verkehr |
| BHE_G_F | = | Fernverkehr (gehend) |
| BHE_G_O | = | Ortsverkehr (gehend) |
| BHE_GK | = | BHE pro Geschäftskunde |
| BHE_I | = | Internverkehr |
| BHE_K | = | Kommender Verkehr |
| BHE_K_F | = | Fernverkehr (kommend) |
| BHE_K_O | = | Ortsverkehr (kommend) |
| BHE_PK | = | BHE pro Privatkunde |
| BHE _D | = | Verkehrsmenge in der für die Netzdimensionierung relevanten Stunde |

| | | |
|--------------|---|---|
| C | = | Kosten |
| CP | = | Koordinationsprozessor |
| Δp_u | = | Durchschnittliche Preisveränderungsrate der Kapitalgüterkategorie u |
| D | = | Geforderte Eigenkapitalrendite |
| DA | = | Doppeladern |
| DA_Asl | = | Doppeladern pro Anschluß im Endkabel |
| DSV2 | = | Digitalsignalverbindung 2 Mbit/s |
| DLU | = | Teilnehmerleitungseinheit ("Digital Line Unit") |
| eK | = | Eigenkapitalquote |
| EVz | = | Endverzweiger |
| EVz_Asl | = | Endverzweiger pro Anschluß |
| fK | = | Fremdkapitalquote |
| FV_Fkt | = | Faktor für bereitgestellte Festverbindungen im Übertragungsnetz |
| FV_Fkt_DA | = | Festverbindungsfaktor im Anschlußnetz |
| G_Asl | = | Graben pro Anschluß |
| GK_PQ | = | Anzahl der Geschäftskundenanschlüsse in einem Planquadrat |
| GK_VZB | = | Anzahl der Geschäftskundenanschlüsse in einem VZB |
| GKFkt | = | Geschäftskundenfaktor |
| HT | = | Durchschnittliche Verbindungsdauer ("Holding Time") |
| HVt | = | Hauptverteiler |
| HK | = | Hauptkabel |
| K_Tm | = | Kabel je Trassenmeter |
| Kap_CP | = | Verarbeitungskapazität in BHCA der VSt-Grundausrüstung |
| KBF | = | Kapital- und Betriebskostenfaktor |
| KKF | = | Kapitalkostenfaktor |
| KKS | = | Kapitalkostensatz |
| KVz | = | Kabelverzweiger |
| LA | = | Länge der Anschlußleitung im Hauptkabel-Ast |
| LE140 | = | Optische Leitungsendgeräte 140 Mbit/s |
| LG | = | Trassenlänge im VZB |
| LH | = | Durchschnittliche Länge der Hauszuführung |
| LL | = | Gesamtlänge der Anschlußleitung |
| LLHK | = | Länge der Anschlußleitung im Hauptkabel |
| LLVZB | = | Länge der Anschlußleitung im Verzweigerbereich |

| | | |
|--------------------|---|---|
| LS | = | Länge der Anschlußleitung im Hauptkabelstamm |
| LSF | = | Lastspitzenfaktor |
| LTG | = | Anschluß- oder netzseitige Anschlußgruppe ("Line Trunk Group") |
| LWL | = | Lichtwellenleiter |
| M_Asl | = | Muffen pro Anschluß |
| m_{ij} | = | Anzahl der Verzweigerbereiche in einem Quadranten j eines Anschlußbereichs i |
| $MUX_{x/y}$ | = | Multiplexerpaar x Mbit/s auf y Mbit/s |
| n | = | Anzahl der Anschlußbereiche im Ortsnetz |
| N | = | Anzahl der Leitungen / Kanäle |
| ND_u | = | Durchschnittliche wirtschaftlich-technische Nutzungsdauer der Kapitalgüterkategorie u |
| OF | = | Oberflächenbeschaffenheit |
| P_Band_m | = | Preis pro Meter Markierungsband |
| P_BHCA | = | Preis für zusätzliche 1.000 BHCA Verarbeitungskapazität |
| P_CP | = | Basispreis für die Prozessorsteuerung |
| P_DLU | = | Preis pro Teilnehmerleitungseinheit |
| P_EVz | = | Preis eines Endverzweigers |
| P_GF_m | = | Preis pro Meter für 12 faserige Glasfaserkabel |
| P_GrE_m | = | Tiefbaupreis pro Meter für Erdkabelinstallationen |
| P_GrK_m | = | Tiefbaupreis pro Meter für Kabelkanalanlagen |
| P_HVt_DA | = | Hauptverteilerinvestition pro Doppelader |
| P_HVt_Fix | = | Fixe Investitionen für den HVt |
| P_Kabel_fix_m | = | Fixer Preis von Kabeln pro Meter |
| P_Kabel_marginal_m | = | Preis pro Doppeladermeter |
| P_KN | = | Preis einer Koppelnetzbaugruppe für 120*2 Mbit/s |
| P_KVz | = | Preis pro Kabelverzweiger |
| P_LTG | = | Preis einer Anschlußgruppe |
| P_M | = | Preis einer Montagestelle (Muffe) |
| P_MUX | = | Preis eines Multiplexerpaares |
| P_Rohr_m | = | Preis pro Meter für Kanalrohre |
| P_Schacht | = | Preis eines Kabelschachtes |
| P_Schutzhaube_m | = | Preis pro Meter für Kabelschutzhauben |
| P_SLMA | = | Preis eines Anschlußmoduls für analoge Anschlüsse |
| P_SLMD | = | Preis eines Anschlußmoduls für Basisanschlüsse |
| P_ZWR | = | Preis eines Zwischenregenerators |

| | | |
|---------------------------|---|--|
| PK_PQ | = | Anzahl der Privatkundenanschlüsse in einem Planquadrat |
| PK_VZB | = | Anzahl der Privatkundenanschlüsse in einem VZB |
| Q | = | Quadrant |
| R | = | Zinssatz für Fremdkapital |
| Res_Fkt | = | Faktor für Reservekapazitäten im Übertragungsnetz |
| Res_Fkt_DA _{HK} | = | Ökonomischer Reservefaktor für DA im Hauptkabel |
| Res_Fkt_DA _{VZB} | = | Ökonomischer Reservefaktor für DA im Verzweigerkabel |
| s | = | Anzahl der TVSt im Ortsnetz |
| SLMA | = | Subscriber Line Module (analog) |
| SLMD | = | Subscriber Line Module (digital) |
| SX Verzweigerbereichs | = | X-Koordinate des Schwerpunktes eines Verzweigerbereichs |
| SY Verzweigerbereichs | = | Y-Koordinate des Schwerpunktes eines Verzweigerbereichs |
| T | = | Effektiver Ertragssteuersatz |
| TAE | = | Teilnehmeranschlußeinheit |
| t _a | = | Anzahl der AK an TVSt _a |
| TRes_Fkt_DA | = | Ökonomischer Reservefaktor für DA |
| TVSt | = | Teilnehmervermittlungsstelle |
| VK | = | Verbindungskabel |
| VZB | = | Verzweigerbereich |
| VZB-Typ | = | Typklasse des Verzweigerbereichs |
| X _i | = | X-Koordinate des Hauptverteilers |
| X _{ijk} | = | X-Koordinate des Kabelverzweigers des VZB _{ijk} |
| X _{or} | = | X-Koordinate der oberen, rechten Ecke eines Verzweigerbereichs |
| X _{ul} | = | X-Koordinate der unteren, linken Ecke eines Verzweigerbereichs |
| Y _i | = | Y-Koordinate des Hauptverteilers |
| Y _{ijk} | = | Y-Koordinate des Kabelverzweigers des VZB _{ijk} |
| Y _{or} | = | Y-Koordinate der oberen, rechten Ecke eines Verzweigerbereichs |
| Y _{ul} | = | Y-Koordinate der unteren, linken Ecke eines Verzweigerbereichs |
| ZG | = | Zugzahl von Kabelkanalanlagen |
| ZWR | = | Zwischenregenerator |

Verzeichnis der Indizes:

- a = Index der TVSt, mit $a = \{1 \dots s\}$
- d = Index des HVt, mit $d = \{0 \dots t_a\}$
- i = Index des Anschlußbereichs, mit $i = \{1 \dots n\}$
- j = Index des Quadranten, mit $j = \{1 \dots 4\}$
- k = Index des Verzweigerbereichs, mit $k = \{1 \dots m_{ij}\}$
- l = Index des Aderndurchmessers, mit $l = \{1(0,4 \text{ mm}); 2(0,6 \text{ mm}); 3(0,8 \text{ mm})\}$
- u = Index der Kapitalgüterkategorie, mit $u = \{1 \dots z\}$

1 Einleitende Bemerkungen

Das deutsche Telekommunikationsgesetz (TKG) vom 25. Juli 1996 verlangt, daß Entgelte für Zusammenschaltungsleistungen und andere besondere Netzzugänge wie auch andere Entgelte an den Kosten der effizienten Leistungsbereitstellung orientiert sind.

Im Falle des besonderen Netzzugangs erwirbt ein Anbieter von Telekommunikationsdienstleistungen Vorleistungen von einem anderen Unternehmen. Es ist unstrittig, daß neue Netzbetreiber und andere Anbieter von Telekommunikationsdiensten in bedeutendem Umfang auf Vorleistungen der Deutschen Telekom AG (DTAG) angewiesen sind. Dies gilt in besonderem Maße für den Bereich der Telekommunikationsortsnetze, da der Aufbau einer alternativen Netzstruktur im teilnehmernahen Bereich erhebliche Zeit in Anspruch nimmt und zudem ökonomisch nicht immer sinnvoll zu sein verspricht. Die Möglichkeit des Vorleistungserwerbs und dessen kostenorientierte Entgeltgestaltung soll gewährleisten, daß neue Anbieter durch den Mangel an eigener Netzinfrastruktur in ihren Wettbewerbsmöglichkeiten nicht unangemessen eingeschränkt werden. Dort, wo Vorleistungen nicht im Wettbewerb angeboten werden, muß durch Regulierungsentscheidungen eine Situation des Als-ob-Wettbewerbs herbeigeführt werden. Kosten und Preise sollen folglich einem wettbewerblichen Maßstab entsprechen. Dies stellt sicher, daß der Aufbau neuer Infrastrukturen nur dort erfolgt, wo eine Leistung zu geringeren Kosten erbracht werden kann, als auf der Basis des bestehenden Netzes. Ein aus volkswirtschaftlicher Sicht ineffizienter Bypass von Einrichtungen des etablierten Unternehmens wird vermieden. Zugleich garantiert eine strikte Kostenorientierung, daß das Leistungsangebot neuer Wettbewerber nicht durch den etablierten Anbieter subventioniert wird. Eine solche Subvention würde wiederum Anreize zu Investitionen in eigene Infrastrukturen auch dort mindern, wo diese zumindest in dynamischer Sicht Effizienzgewinne versprechen. Für einen regulierten Netzbetreiber gewährleistet eine kostenorientierte Entgeltregulierung im Sinne des oben genannten Kostenbegriffs Anreize zu effizienter Produktion.

Die hohe Relevanz von Zusammenschaltungsentgelten für die Kosten- und Erlössituation der Marktteilnehmer und für die sich entwickelnde Wettbewerbsdynamik macht es aus regulatorischer Sicht erforderlich, einen Maßstab für deren Ermittlung bzw. für die Bewertung vorgelegter Kostennachweise zu finden, der aufgrund seiner einfachen und nachvollziehbaren Struktur Entscheidungen transparent und dokumentierbar macht, um ihnen so eine breite Akzeptanz zumindest hinsichtlich der Art und Weise ihres Zustandekommens zu vermitteln.

Kosten der effizienten Leistungsbereitstellung können zunächst grundsätzlich mit Hilfe des Rechnungswesens der betroffenen Unternehmung ermittelt werden. Für dieses Verfahren sprechen prinzipiell die Verfügbarkeit und die Vollständigkeit der Daten. Problematisch ist der in vielen Bereichen zu beobachtende Vergangenheitsbezug von Kostenrechnungsdaten, der im Widerspruch zu der geforderten Kosteneffizienz stehen kann, da nicht gesichert ist, daß das rechnungslegende Unternehmen in den zurückliegenden Perioden effizient produziert hat. Die Kostenrechnungsdaten müßten gegebenenfalls um Ineffizienzen bereinigt werden. Gewährleistet werden muß darüber hinaus, daß die Zurechnung von Kosten, soweit mit vertretbarem Aufwand zu leisten, verursachungsgerecht erfolgt. Dies setzt die Anwendung einer Prozeßkostenrechnung voraus, eines Verfahrens, das vornehmlich zur Anwendung in personalintensiven Unternehmensbereichen geeignet erscheint. Nur die nicht mehr zurechenbaren, sogenannten leistungsmengenneutralen Gemeinkosten sollen und müssen gegebenenfalls mit Hilfe anderer Verfahren auf die einzelnen Produkte verteilt werden. Aus Sicht der Regulierungsbehörde ist ein Bewertungsverfahren, das allein auf Kostenrechnungsdaten beruht, nicht zuletzt deshalb problematisch, weil

Entscheidungen aufgrund der hohen Sensibilität der vorgelegten Daten nur in sehr beschränktem Umfang öffentlich begründet werden können. Kosten von Zusammenschaltungsleistungen werden in erster Linie durch die Kapitalkosten des Anlagevermögens und die anlagenbezogenen Betriebskosten bestimmt. Zu deren Ermittlung können zur Unterstützung der Angebots- und Investitionspolitik in Telekommunikationsunternehmen neben der konventionellen Kostenrechnung analytische Modelle verwendet werden, durch die der Netzbetrieb abgebildet wird und die Kosten einzelner Dienste oder Netzelemente ermittelt werden. Ein solches Verfahren kann auch von der Regulierungsbehörde bei der Entscheidungsvorbereitung und -begründung in sinnvoller Weise eingesetzt werden. Dieses alternative Verfahren der Kostenermittlung wird im folgenden für den Bereich der Ortsnetzinfrastruktur vorgestellt. Das beschriebene Modell ist einfach, da es lediglich wesentliche Leistungen eines Telekommunikationsnetzes für Zwecke des besonderen Netzzugangs, nämlich vermittelte schmalbandige Zusammenschaltungsleistungen und den Zugang zur entbündelten Teilnehmeranschlußleitung in der Form der Kupferdoppelader betrachtet.¹ Es ist nachvollziehbar, da alle relevanten Beziehungen zwischen Input- und Outputgrößen dokumentiert und somit einem kritischen Diskurs zugänglich gemacht werden. Es ist so konstruiert, daß Kosten auf der Basis von nicht unternehmensspezifischen Daten ermittelt werden können, es aber zugleich möglich ist, solche Daten, dort wo sie verfügbar sind, in die Berechnungen miteinzubeziehen. Es ist schließlich hinreichend flexibel, um die Wirkungen von Parameteränderungen schnell abschätzen zu können. Sind diese Änderungen bekannt, ermöglicht dies den beteiligten Parteien, deren mögliche Auswirkungen auf zukünftige Regulierungsentscheidungen zu beurteilen. Das auf den folgenden Seiten dargestellte Kostenmodell stellt einen analytischen Ansatz dar, der auf einer allgemein zugänglichen Wissensbasis die Kostenstruktur von Telekommunikations(orts-)netzen auf wesentliche Beziehungen reduziert. Über die Angemessenheit dieser Reduktion soll ein offener und kritischer Diskurs initiiert werden, dessen Ziel es ist, eine akzeptierte Methodologie zu entwickeln, die als Grundlage zukünftiger Regulierungsentscheidungen über die Höhe von Zusammenschaltungsentgelten dienen kann. Es ist evident, daß der angestrebte Konsens über die Methode nicht zugleich ein Konsens über sämtliche in die Modellrechnung einfließende Parameter sein kann. Ein solcher muß, wenn dies überhaupt möglich erscheint, nur in konkreten Einzelfällen gefunden werden. Zumeist wird es hier jedoch einer Entscheidung der Regulierungsbehörde bedürfen. Zentrale Bestandteile dieses Dokuments sind die folgenden zwei Kapitel. Zunächst wird in Kapitel 2 ein genereller Überblick über die Methode der Kostenermittlung einschließlich der abgebildeten Netzelemente gegeben, um grundlegende methodische Fragen, Probleme und Diskussionsfelder aufzuzeigen. Es wird verdeutlicht, daß eine Reihe von Konventionen über das angemessene Vorgehen zu treffen sind. Im Anschluß an die grundlegende Beschreibung wird in Kapitel 3 die Struktur des entwickelten Modells im Detail erläutert. Die Modelldarstellung basiert notwendigerweise auf den oben angesprochenen Konventionen, die im Rahmen des folgenden Kommentierungsprozesses gleichwohl kritisch hinterfragt werden sollten. Der Anhang A zu diesem Dokument enthält eine Liste von Diskussionsthemen, die als Leitfaden für die abgegebenen Stellungnahmen dienen soll. Anhang B listet die im Modell verarbeiteten Eingabegrößen auf, zu denen im weiteren Verlauf des Verfahrens gegebenenfalls Angaben angefordert werden.

¹ Kupferdoppeladern ermöglichen die Bereitstellung von Teilnehmeranschlüssen mit einer Übertragungsbandbreite von bis zu 2 Mbit/s (bei zwei Doppeladern).

2 Konzeption der Kostenermittlung mit Hilfe eines analytischen Kostenmodells

Kostenmodelle stellen die Reduktion des komplexen Produktionsprozesses für Telekommunikationsdienstleistungen auf eine überschaubare Zahl von für die Kostenbestimmung wesentlichen Beziehungen zwischen eingesetzten Produktionsfaktoren und Leistungsangebot dar. Diese Beziehungen sind sowohl technisch als auch betriebswirtschaftlich definiert. Der Modellbegriff impliziert die allgemeine Formulierung der für die Kostenbestimmung verwendeten Algorithmen, die es ermöglicht, Kostenrechnungen mit dem gleichen Verfahren für eine theoretisch unbegrenzte Zahl von Fällen durchzuführen, die sich hinsichtlich der zugrundegelegten Variablen unterscheiden können. Die Erarbeitung eines Kostenmodells ist folglich dort sinnvoll, wo, wie im Bereich der Telekommunikationsortsnetze, eine Vielzahl von Einzelfällen analysiert werden muß oder wo Parameter, wie Kapitalverzinsung, Abschreibungsdauer oder Umfang der Reservekapazität, hinsichtlich ihres Einflusses auf die Ergebnisse untersucht werden müssen.

Der Schwerpunkt der hier vorgestellten Kostenmodellierung liegt auf den Kosten der Netzinfrastruktur. Es sind dies die Kosten, die den weitaus größten Teil von Zusammenschaltungsleistungen und anderen besonderen Netzzugangsleistungen ausmachen. Kosten der technischen Ausrüstung zur Herstellung der Interoperabilität von Telekommunikationsnetzen und Kosten von speziellen Dienstleistungen, wie der Einstellung einer Verbindungsnetzbetreibervorwahl, werden in diesem Modell nicht erfaßt, da diese Leistungen nicht den Netzzugangsleistungen im engeren Sinne zuzurechnen sind und daher kein Bestandteil der Netzzugangsentgelte sein können. Kosten des Vertriebs und der Kundenverwaltung für den Bereich der besonderen Netzzugänge könnten als Bestandteil der relevanten Entgelte angesehen werden. Sie werden hier jedoch bei der Kostenermittlung nicht berücksichtigt, da diese Kosten nicht durch den Umfang der Nutzung von Netzelementen bestimmt werden, sondern der Höhe nach von der Art der Kundenbeziehung abhängen. Diese Kosten sind der Erfassung in einem allgemeinen Modell des Netzbetriebs nicht zugänglich. Falls die verursachungsgerechte Aufteilung dieser Kosten nicht mit vertretbarem Aufwand möglich ist, kann ein Zuschlag zu den Kosten der Netzelemente in Betracht kommen.

Die Kostenmodellierung erlaubt nicht die Ermittlung leistungsmengenneutraler Gemeinkosten. Letztere umfassen Kosten, die Leistungen nach dem Verursachungsmaßstab weder direkt noch indirekt zugerechnet werden können. Im Modell erfaßt werden Gemeinkosten nur dort, wo sie einer Gruppe von (Infrastruktur-) Leistungen zurechenbar sind, wie möglicherweise die Kosten der Unterbringung technischer Einrichtungen. Für Gemeinkosten, die auf anderen Ebenen der Unternehmenswertschöpfung entstehen, und die somit auch zu der Gesamtheit der modellierten Leistungen nicht in Beziehung gesetzt werden können, sind keine Bezugsgrößen bestimmbar, die in den Modellrahmen eingefügt werden können. Ziel der hier beschriebenen Kostenmodellierung ist es, den erfaßten Netzelementen Kosten weitestmöglich verursachungsgerecht als Einzelkosten zuzurechnen.

2.1 Zum Begriff der langfristigen zusätzlichen Kosten der Leistungsbereitstellung

2.1.1 Langfristige zusätzliche Kosten

Das TKG in Verbindung mit der Telekommunikations-Entgeltregulierungsverordnung (TEntgV) vom 1. Oktober 1996 fordert die Orientierung der Entgelte an den Kosten der effizienten Leistungsbereitstellung, die sich aus den langfristigen zusätzlichen Kosten

der Leistungsbereitstellung zzgl. eines angemessenen Zuschlages für leistungsmengenneutrale Gemeinkosten ergeben.

Der Kostenmaßstab der langfristigen zusätzlichen Kosten ist der Maßstab, den ein Unternehmen bei der Entscheidung darüber anlegt, ob eine bestimmte Leistung am Markt angeboten werden soll oder nicht. Ein Angebot ist dann sinnvoll, wenn die Kosten, die langfristig durch die Produktionsentscheidung verursacht werden, durch die erzielbaren Erlöse wenigstens gedeckt werden.

Die Kosten des zusätzlichen Angebotes sind Kosten, die einem Unternehmen entstehen, wenn es eine Leistung zusätzlich zu einem Portfolio anderer Leistungen erbringt. Sie schließen alle der Leistung direkt oder indirekt zurechenbaren Kosten ein, also auch solche, die durch Unteilbarkeiten in der Produktion der zusätzlichen Leistung entstehen. Da leistungsmengenneutrale Gemeinkosten bei dieser Betrachtung nicht berücksichtigt werden, sind sie in Form angemessener Zuschläge auf die zusätzlichen Kosten zu berücksichtigen, um die Gesamtkosten des Leistungsportfolios zu decken. Die Langfristigkeit der Angebotsentscheidung impliziert, daß das Unternehmen über die gesamte Menge der zusätzlichen Leistung und die zu ihrer Produktion notwendige Kapazität disponieren kann. Das zusätzliche Angebot ist daher als die gesamte absetzbare Produktionsmenge einer Leistung, d.h. in diesem Kontext, eines Dienstangebotes oder eines Netzelementes, zu interpretieren.

Ziel der Entgeltregulierung ist die Etablierung eines wettbewerblichen Maßstabes in denjenigen Bereichen, in denen kein Wettbewerb herrscht oder in denen dessen Intensität als zu gering erachtet wird. Ein Unternehmen, das in einem rigorosen Wettbewerb steht, ist gezwungen, dasjenige Produktionsverfahren zu wählen, mit dem eine Leistung zu minimalen Kosten erbracht werden kann. Darüber hinaus muß gewährleistet sein, daß bei gegebenem Produktionsverfahren nicht mehr Ressourcen eingesetzt werden als unbedingt erforderlich. Dies führt zu einer Interpretation des § 3 Abs. 2 TEntgV, nach der die langfristigen zusätzlichen Kosten dem zurechenbaren Teil der Kosten der effizienten Leistungsbereitstellung entsprechen.

Im folgenden ist die Operationalisierung des anzuwendenden Kostenbegriffs zu leisten. Mit dem gesetzlich festgelegten Begriff der Langfristigkeit korrespondiert der Gedanke, daß die Unternehmen bei ihren Produktionsentscheidungen keinen Restriktionen unterliegen, die ihnen etwa durch vergangene, nicht-reversible Investitions- und damit Kapazitätsentscheidungen auferlegt worden sind. Unter der Voraussetzung funktionierendem Wettbewerbs würde der Preisspielraum eines Unternehmens bei freiem Marktzugang durch die Kosten eines potentiellen Wettbewerbers beschränkt sein, der definitionsgemäß in der Wahl des Produktionsverfahrens und hinsichtlich zu treffender Kapazitätsentscheidungen keinen Restriktionen unterliegt.

Die somit gebotene Orientierung an den Kosten eines effizienten potentiellen Newcomers birgt allerdings das Problem, daß deren Ermittlung umfassendes Wissen über das beste einsetzbare Produktionsverfahren voraussetzt. Solides Wissen um die Leistungsfähigkeit und die Kostenstrukturen innovativer Technologien wird jedoch erst mit Zeitverzug, also nach dem erstmaligen Einsatz im Markt und damit auch nach tatsächlich erfolgten Markteintritten verfügbar sein.

Hinsichtlich der einer Kostenermittlung zugrundezulegenden Technologie und Netzstruktur sind daher Konventionen zu treffen, die einen Konsens über die gegenwärtig im obigen Sinne "beste" Technologie darstellen und die sicherstellen, daß Informationen vorliegen, die hinreichend verlässlich sind, um Regulierungsentscheidungen darauf basieren zu können. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, daß die Produktionsverfahren und -strukturen für Angebotsentscheidungen auch in einer langfristigen Perspektive noch relevant sein sollten.

In diesem Spannungsfeld sind die Prinzipien und Konventionen festzulegen, auf deren Basis die langfristigen zusätzlichen Kosten der Leistungsbereitstellung zu ermitteln

sind. Diese Konventionen umfassen in erster Linie die Frage nach der der Kostenermittlung unterliegenden Netzstruktur. Dies umfaßt Art, Zahl und Standorte von Konzentratoren und Vermittlungsstellen sowie die Art der Übertragungs- und Anschlußtechnologien. Hinzu kommen Fragen der Bewertung und Abschreibung des Anlagevermögens, Nachfragevolumina, Auslastungsgrade bzw. Reservekapazitäten sowie relevante Betriebskosten.

2.1.2 Kosten von Netzelementen

Mit Hilfe der hier beschriebenen Kostenmodellierung werden Kosten der Netzinfrastruktur grundsätzlich elementbezogen ermittelt. Hierbei wird das Telekommunikationsnetz in Elemente zerlegt, die durch die von ihnen bereitgestellte Funktionalität, wie Vermittlung oder Übertragung definiert werden. Angebote im Rahmen besonderer Netzzugänge werden dagegen häufig durch die Kombination der Funktionalitäten mehrerer Netzelemente beschrieben. Bei der Kostenermittlung von Netzzugangsleistungen wird davon ausgegangen, daß die einzelnen Leistungen entweder Netzelementen entsprechen oder ihre Kosten durch Addition der Kosten der genutzten Netzelemente ermittelt werden können. Die elementorientierte Kostenberechnung hat den Vorteil, daß auf einfache und nachvollziehbare Weise die Kosten von Leistungen an die tatsächlich in Anspruch genommenen funktional definierten Elemente gekoppelt werden können.

Der elementorientierte Rechnungsansatz bedeutet, daß zusätzliche Kosten als Kosten der Bereitstellung der gesamten nachgefragten Menge eines Netzelementes angesehen werden. Ermittelt werden folglich die Kosten eines Netzelementes als Differenz zwischen den Kosten eines Netzes einschließlich des relevanten Netzelementes und denen eines Netzes, in dem das Element nicht bereitgestellt wird. Unteilbarkeiten bei der Bereitstellung des Netzelementes werden daher im Gegensatz zu einer Grenzkostenbetrachtung grundsätzlich berücksichtigt. Bezogen auf eine Leistungseinheit eines solchen Elements werden daher langfristige Durchschnittskosten der zusätzlichen Bereitstellung ermittelt.

Dort, wo die Nutzung der Netzelemente durch verschiedene Dienste auf einen gemeinsamen Nenner oder präziser auf einen gemeinsamen Kostentreiber zurückgeführt werden kann, sind diesen Diensten die zusätzlichen Kosten des Netzelementes in gleicher Weise zuzurechnen. So nutzen Orts- und Fernverbindungen eine Ortsvermittlungsstelle in grundsätzlich gleicher Weise, nämlich durch die Belegung eines Kanals einschließlich der ein- und ausgehenden Schnittstellen zu Verbindungs- und Anschlußnetz. Als gemeinsamer Kostentreiber kann folglich die Zahl der Belegungsminuten in der Hauptverkehrsstunde identifiziert werden. Durch die elementbezogene Sichtweise wird erreicht, daß durch Unteilbarkeiten verursachte Fixkosten, z.B. Kosten der zentralen Einheiten der Vermittlungsstelle oder Kosten von Gräben und Glasfaserkabeln nicht in unangemessener Weise als Gemeinkosten mehrerer Dienste ausgewiesen werden, sondern als zurechenbare Kosten des Netzelementes, die wiederum verursachungsgerecht, d.h. nach Nutzung in der Lastspitze, auf die verschiedenen Dienste verteilt werden. Langfristige zusätzliche Kosten von Netzelementen sind in diesem Sinne "gemeinsame" Kosten verschiedener Dienste, aber keine leistungsmengenneutralen Gemeinkosten, die sich eben gerade dadurch auszeichnen, daß eine verursachungsgerechte Zurechnung prinzipiell nicht möglich ist.

Nicht auszuschließen ist jedoch, daß Gemeinkosten auch auf der Ebene von Netzelementen vorliegen. Hierunter fallen Kosten, die durch die gemeinsame Bereitstellung mehrerer Netzelemente entstehen. Hierbei könnte es sich etwa um die Kosten einer Kabelkanalanlage handeln, die von Hauptkabeln und Ortsverbindungskabeln gemeinsam genutzt wird. In diesen Fällen ist zu prüfen, ob nicht ein gemeinsamer Nutzungs-

maßstab gefunden werden kann, anhand dessen die Kostenzurechnung erfolgen kann. Dieser Maßstab könnte z.B. in der Anzahl der jeweils genutzten Züge liegen, anhand derer die Tiefbaukosten den Elementen zugerechnet werden. Nur wenn ein gemeinsamer Nutzungsmaßstab nicht gefunden werden kann oder sich als nicht handhabbar erweist, sind andere Aufteilungsmechanismen in Betracht zu ziehen.² Es soll nochmals betont werden, daß den Netzelementen nur solche Kosten durch Aufschlagssätze oder andere Verfahren zugeordnet werden sollen, die weder direkt noch - mit vertretbarem Aufwand - indirekt zurechenbar sind. Im genannten Beispiel können die Kanalrohre den Netzelementen direkt zugerechnet werden, so daß im wesentlichen Tiefbaukosten zwischen den Elementen aufzuteilen sind.

Abschließend ist darauf hinzuweisen, daß Möglichkeiten gemeinsamer Nutzung zwischen den hier abgebildeten Netzelementen des Sprachtelefonnetzes und anderen Netzen bestehen. Dabei ist an die gemeinsame Nutzung von Gebäuden und sonstigen Infrastruktureinrichtungen, insbesondere Gräben und Kabelkanalanlagen, zu denken. Die gemeinsame Nutzung von Infrastruktur ist denkbar zwischen Telekommunikationsnetzen für schmalbandige Dienste (PSTN) und

- Breitbandverteilnetzen (Kabelfernsehen),
- Breitband - Overlay Netzen,
- anderen Versorgungsnetzen (Gas/Wasser/Elektrizität).

Da in der Regel Größen- bzw. Verbundvorteile derart realisiert werden können, daß das Investitionsvolumen bei einer Ausdehnung der Kapazität nur unterproportional steigt, kann durch gemeinsame Nutzung von Gebäuden, Gräben und Kabelkanalanlagen ein beträchtliches Einsparungspotential ausgeschöpft werden. Für die Aufteilung dieser Kosten gilt das oben Gesagte. Das Ausmaß der angenommenen gemeinsamen Nutzung hat erhebliche Auswirkungen auf die den Elementen des Telefonnetzes zugerechneten Kosten. Dies gilt vor allem für den Bereich der Linientechnik, also den Anschlußnetzbereich sowie das Verbindungsnetz.

Die explizite Modellierung der gemeinsamen Infrastrukturnutzung zwischen Netzelementen und insbesondere zwischen verschiedenen Netzen verlangt eine Informationsbasis, die in der Regel nicht verfügbar ist. Bei zukunftsgerichteter Betrachtung müßte angenommen werden, daß die Netze von den verschiedenen Trägern gemeinsam unter maximaler Ausnutzung von Verbundvorteilen konstruiert werden.

In der Realität stehen der umfassenden Ausschöpfung potentieller Verbundvorteile vermutlich zu hohe Transaktionskosten gegenüber. Andererseits kann ebensowenig vermutet werden, daß Verbundvorteile generell nicht genutzt und somit Ver- oder Versorgungsnetze grundsätzlich "stand alone" konzipiert sind. Aufschluß über das Ausmaß gemeinsamer Infrastrukturnutzung können Netzbetreiberangaben über bestehende Verbundproduktion geben. Existieren darüber hinaus Kostenaufteilungsarrangements, so können diese gegebenenfalls Eingang in die

² Ein mögliches Verfahren der Gemeinkostenallokation stellt die Ermittlung des Shapley-Wertes dar, welches den Vorzug hat, einem Verhandlungsergebnis zwischen den Trägern verschiedener Projekte über die Verteilung anfallender Gemeinkosten zu entsprechen. Bei der Bestimmung des Shapley-Wertes wird eine Sichtweise eingenommen, in der die Reihenfolge der durchzuführenden Projekte als ungewiß und somit als gleichwahrscheinlich angesehen wird. Als Projekte können in diesem Zusammenhang etwa die Errichtung von Trassen verschiedener Versorgungsnetze angesehen werden. Abhängig von der Reihenfolge, in der die jeweiligen Projekte realisiert werden, fallen für die einzelnen Projekte unterschiedliche zurechenbare Kosten an: Sofern lediglich zwei Projekte verwirklicht werden, so sind dem zuerst realisierten Projekt sämtliche Einzel- und Gemeinkosten zuzuordnen, während dem nachfolgenden Projekt lediglich die zusätzlichen Kosten zugerechnet werden. Für alle denkbaren Projektabfolgen werden die derart zurechenbaren Kosten für jedes Projekt ermittelt. Der Shapley-Wert ergibt sich als Erwartungswert für die einem Projekt in dieser Weise zurechenbaren Kosten. Er ist ein denkbare Kostenallokationsmechanismus vor allem dort, wo herkömmlichen Gemeinkostenschlüsseln die Basis, also etwa vergleichbare Ausbringungsmengen, fehlt. Einem Einsatz des Shapley-Verfahrens in der Regulierungspraxis muß jedoch noch eine weitergehende Analyse des Konzeptes und der Möglichkeit seiner Implementation vorangehen.

Eingabewerte der Modellrechnung finden. Dies könnte durch eine Absenkung der Preise für Tiefbauleistungen geschehen. In diesen Fällen wird die Gemeinkostenallokation zwischen verschiedenen Netzen durch Einarbeitung in die Inputdaten vorweggenommen.

2.2 Schritte der Kostenermittlung

Die Modellierung beginnt mit der Definition der Art und des Umfangs der gesamten Leistungen, die auf der Basis der Netzinfrastruktur angeboten werden sollen. Im Ortsnetzbereich sind dies die Bereitstellung von Teilnehmeranschlüssen, Vermittlungsleistungen und Übertragungsleistungen sowie gegebenenfalls Festverbindungen. Die bereitzustellende Menge ergibt sich durch die Zahl der Anschlüsse im Ortsnetz und durch die von diesen ausgehende Nachfrage nach Telefonverbindungen, von denen jede wenigstens eine Vermittlungseinrichtung nutzt. In vielen Fällen werden auch im Bereich des Ortsnetzes Übertragungseinrichtungen genutzt. Nachfrageparameter gehen in die Modellierung als exogene Größe ein. Dies muß als Vereinfachung gelten, da die Nachfrage von geforderten Preisen abhängt. Insofern diese sich wiederum an den Kosten orientieren, besteht - technisch gesehen - ein sogenanntes Simultangleichungsproblem. Die Vorgabe der Nachfrage als exogene Größe ist dann unumgänglich, wenn die Nachfrage in Abhängigkeit von den Entgelten, die wiederum von den Kosten abhängig sind, eben nicht "simultan" modelliert werden kann, was hier der Fall ist.

Im nächsten Schritt wird das Investitionsvolumen bestimmt, das benötigt wird, um eine Ortsnetzinfrastruktur aufzubauen, mit der die vorab definierte Nachfrage befriedigt werden kann. Dabei sind sowohl technische Restriktionen wie das Gebot der effizienten Leistungsbereitstellung zu berücksichtigen. Um dies sicherzustellen, müssen die nun folgenden Schritte - falls mehrere Produktionsverfahren und Netzstrukturen denkbar sind - für verschiedene technologische Szenarien und für eine Vielzahl von Netzstrukturvarianten durchgeführt werden, falls nicht im vorhinein Festlegungen getroffen worden sind.

Das ermittelte Investitionsvolumen wird mit aktuellen Preisen der Investitionsgüter bewertet. Dies entspricht dem Kalkül eines neu in den Markt eintretenden Wettbewerbers. Für ein im aktuellen oder potentiellen Wettbewerb stehendes Unternehmen, das bereits Investitionsentscheidungen getroffen hat, bildet der Wiederbeschaffungszeitwert die Größe, mit der es das eingesetzte Produktivkapital bei der Ermittlung seiner Kosten und der darauf basierenden Preise bewerten muß, wenn es im Wettbewerb erfolgreich sein will. Die Verwendung von zeitnah ermittelten Preisen bei der Ermittlung eines Bewertungsmaßstabes für die Kosten der effizienten Leistungsbereitstellung garantiert daher eine volkswirtschaftlich effiziente Ressourcenverwendung, insbesondere weil auch potentielle Entscheidungen zu netzbasiertem Markteintritt nicht durch unterschiedliche Maßstäbe der Kostenermittlung beim Anbieter von Netzzugangsleistungen und bei deren Nachfragern verzerrt werden.

Die Investitionswerte werden unter Berücksichtigung von Abschreibungen und kalkulatorischer Verzinsung auf das eingesetzte Produktivkapital sowie laufenden Betriebskosten in annualisierte Kosten umgerechnet. Dies geschieht mit Hilfe von Annualisierungsfaktoren für Abschreibungen, Kapitalverzinsung und Betriebskosten, die sowohl für Ergebnisse der betrieblichen Kostenrechnung als auch bei der Anwendung analytischer Kostenmodelle von zentraler Bedeutung sind. Dabei sind insbesondere bei der Festlegung der Abschreibungszeiträume und -verfahren sowie der angemessenen Kapitalverzinsung Werturteile nicht zu umgehen. Wissenschaftliche Methoden können hier zwar Entscheidungshilfen geben, stellen jedoch keinen Ersatz für Bewertungen dar, die im Wettbewerb vom Management der Unternehmung, hier jedoch letztlich von

der Regulierungsbehörde vorgenommen werden müssen. Der Entscheidung kann und soll ein Diskussionsprozeß mit den am Verfahren beteiligten Parteien vorangehen. Darüber hinaus können internationale Vergleichsdaten als Referenz herangezogen werden.

Jährliche Kosten werden für Netzelemente wie Teilnehmeranschlußleitungen, Vermittlungsstellen oder Übertragungswege angegeben. Kosten des vermittelnden Netzes, also Kosten, die durch die Inanspruchnahme von nutzungsabhängig dimensionierten Netzelementen entstehen, werden durch die Vorhaltung von Spitzenlastkapazität verursacht. Diese Kosten können daher zunächst nur als jährliche Kosten der Kapazitätsbereitstellung, gemessen etwa als die mit einer bestimmten Verlustwahrscheinlichkeit durchzuschaltende Verkehrsmenge in der bei der Dimensionierung zugrundegelegten Hauptverkehrsstunde ("Busy hour Erlang"), ermittelt werden. Ihre Umrechnung in Kosten pro Minute erfolgt auf der Basis von Verfahren und Konventionen, die in Abschnitt 2.2.5 näher beschrieben werden.

Kosten für Zusammenschaltungsleistungen ergeben sich aus der Summe der Kosten der in Anspruch genommenen Netzkomponenten. Hierbei sind gegebenenfalls Nutzungsfaktoren anzuwenden, die angeben, mit welcher statistischen Häufigkeit ein Netzelement bei der Erbringung einer definierten Leistung benutzt wird. Die Kostenermittlung erfolgt bezogen auf ein einzelnes Ortsnetz. Sollen Durchschnittswerte auf höherer Aggregationsebene - etwa bundesweit - ermittelt werden, so sind die Netzelementkosten der einzelnen Ortsnetze zu mitteln und dabei in angemessener Weise, anhand von Anschlußzahlen oder Verkehrsmengen, zu gewichten. Werden Kosten auf Basis einer Stichprobe ermittelt, wovon hier ausgegangen wird, ist die Repräsentativität der untersuchten Netze hinsichtlich solcher Faktoren wie Anschlußdichte oder Teilnehmerzahl zu gewährleisten.

2.2.1 Nachfragedefinition

Für die Modellberechnung sind insgesamt vier Nachfrageparameter festzulegen: Die Nachfrage nach Telefonanschlüssen, die von diesen ausgehende Verbindungsnachfrage in der Hauptverkehrsstunde einschließlich der Verbindungen von und zu zusammengeschalteten Netzen, die Zahl der Verbindungsaufbauwünsche (Anrufversuche) in der Hauptverkehrsstunde sowie ggf. die Zahl der Festverbindungen in verschiedenen Netzabschnitten. Zu allen Nachfragegrößen können Angaben von Netzbetreibern und, wo dies sinnvoll erscheint, auch von anderen Anbietern von Telekommunikationsdienstleistungen erfragt werden. Im folgenden wird allerdings davon ausgegangen, daß diese Daten zunächst noch nicht vorliegen, so daß auf allgemein verfügbare Datenquellen zurückgegriffen werden muß.

Bei der Bestimmung der Anschlußnachfrage stellt sich das Problem, daß nicht lediglich die Zahl der Anschlüsse pro Ortsnetz relevant ist, sondern für die Ermittlung der Kosten des Anschlußnetzes die räumliche Verteilung der Nachfrage von großer Bedeutung ist. Aufgrund der hohen Telefonpenetration bei den privaten Haushalten bieten sich Daten der Bevölkerungsstatistik als Ausgangspunkt der Nachfrageschätzung an. Diese Daten liegen in Form von Wohnplatzstatistiken für mehrere Bundesländer in der Abgrenzung von Stadt- bzw. Ortsteilen vor, so daß eine hinsichtlich der Bevölkerungsstruktur für die Bundesrepublik repräsentative Stichprobe gezogen werden kann. Eine Totalerhebung kann mit den derzeit vorliegenden öffentlichen Daten nicht durchgeführt werden. Die ermittelten Haushaltszahlen werden den besiedelten Flächen innerhalb eines Ortsnetzes zugeordnet und mit der Anschlußpenetration gewichtet. Hinzu kommen geschäftlich genutzte Anschlüsse, die in Form von Zuschlagsfaktoren differenziert nach Bevölkerungsdichte addiert werden, so daß die Anschlußdichte überproportional mit der Bevölkerungsdichte steigt. Die Art des Anschlusses hat annahmegemäß keinen Einfluß auf die Gestaltung des

Anschlußnetzes, da sich sowohl analoge wie digitale Anschlüsse über Kupferdoppeladern realisieren lassen. Kostenunterschiede resultieren aus der Abschlußeinrichtung beim Kunden und aus den Beschaltungseinheiten in der Vermittlungsstelle. Diese können separat ermittelt und berücksichtigt werden. Hinsichtlich der Vorgabe von erwarteten Teilnehmerverkehrswerten kann eine Orientierung an öffentlich verfügbaren Statistiken oder internationalen Vergleichsdaten erfolgen. Rückschlüsse sind zudem möglich von Planungsvorgaben der Systemtechnikhersteller. Dies gilt für die Verbindungsdauer und die Zahl der Verbindungsversuche pro Hauptverkehrsstunde. Dabei ist die höhere Verbindungsnachfrage geschäftlich genutzter Anschlüsse zu berücksichtigen. Dies führt im Ergebnis dazu, daß Netzknoten in Ballungszentren aufgrund des höheren Geschäftskundenanteils überproportional mehr an Verkehrsmenge aufweisen. Da keine Angaben zur angemessenen Tarifstruktur verschiedener Dienste gemacht werden, ist lediglich die Kenntnis der aggregierten Nachfrage in der Hauptverkehrsstunde, nicht aber der genauen Gestalt der Tagesverkehrskurve, notwendig. Zu beachten ist, daß für die Dimensionierung des vermittelnden Netzes nicht zwangsläufig die Nachfrage der durchschnittlichen Hauptverkehrsstunde, sondern ein darüberliegender Wert maßgebend sein kann, der zwischen durchschnittlicher Spitzenlast und Monatsspitze oder Jahresspitze liegt. Die angemessene Höhe dieses Aufschlages ist zu diskutieren.

Festverbindungen müssen bei der Kostenberechnung berücksichtigt werden, da sie im Verbund mit Teilnehmeranschlußleitungen produziert werden, so daß ihnen ein Teil der Kosten des Anschlußnetzes bzw. der Übertragungswege zuzurechnen ist. Ein pragmatisches Zurechnungsverfahren besteht darin, daß Festverbindungen einen Anteil der Kosten des Anschluß- und Verbindungsnetzes tragen, der ihrem prozentualen Anteil auf der Ebene der Doppeladern im Anschlußnetz und auf der Ebene der 2 Mbit/s-Verbindungen im Verbindungsnetz entspricht. Diese Anteile sind bis zum Vorliegen von Netzbetreiberangaben auf der Basis von Erfahrungswerten festzulegen. Eine explizite Kostenermittlung für Festverbindungen ist nicht vorgesehen.

2.2.2 Investitionsvolumen für ein Referenznetz

Nach Festlegung der Nachfrageparameter sind Art und Umfang der zu tätigen Investitionen zu bestimmen. Dazu bedarf es der Definition eines als Referenz heranzuziehenden Netzes. Dieses wird im folgenden diskutiert.

Ein Netzbetreiber verfügt in zukunftsgerichteter Perspektive vielfach über Wahlmöglichkeiten hinsichtlich des von ihm zu implementierenden Produktionsverfahrens. Diese beziehen sich vornehmlich auf die Produktionstechnik und auf die Wahl der Netzknotenstandorte. Die Entscheidungen sind zudem interdependent. Maßstab der Entscheidung sind bei gleicher Leistungsabgabe die Kosten, die von den verfügbaren Verfahren auf Jahresbasis verursacht werden. Ein Vergleich der Investitionssummen ist aufgrund unterschiedlicher Abschreibungszeiträume und unterschiedlicher Höhe der Betriebskosten nicht hinreichend.

Eine typische Entscheidung zwischen verschiedenen Netztopologien kann wie folgt beschrieben werden: Ortsnetze können mit einer hohen Zahl von Netzknoten, d.h. Vermittlungsstellen und von diesen abgesetzten Konzentratoren, und dadurch bedingten geringen Anschlußlängen oder mit einer geringen Zahl von Knoten und entsprechend hohen Anschlußlängen realisiert werden. Zu berücksichtigen ist der trade-off zwischen Ersparnissen im Anschlußnetz durch kurze Kabel- und Leiterlängen und höheren Kosten für die Unterhaltung von Knotenstandorten und Übertragungstechnik. Hinsichtlich der zu wählenden Technik im Übertragungsnetz und im Anschlußnetz be-

stehen Alternativen in der Verwendung von Kupferkabeln oder dem Einsatz von Glasfaser, vornehmlich im Abschnitt der Hauptkabel.

Die Ermittlung kostenminimaler Netze setzt die Lösung komplexer Optimierungsprobleme voraus. Je höher dabei die Zahl der Freiheitsgrade ist, umso aufwendiger sind die Lösungsverfahren zu gestalten. Ein ermitteltes Optimum ist stets durch die zugrundeliegenden Ausprägungen der Inputparameter determiniert. Eine Änderung einzelner Werte, etwa des kalkulatorischen Zinssatzes, beeinflusst unmittelbar die Lösung des Optimierungsproblems.

Die Entscheidung über die Zahl der Freiheitsgrade, die bei der Bestimmung des Referenznetzes eingeräumt werden, ist eine regulatorische Grundsatzentscheidung. Die Pole, zwischen denen die letztlich gewählte Konvention angesiedelt sein wird, sind die vollständige Netzoptimierung unter Berücksichtigung sämtlicher anwendungsreifer Technologien einerseits und die vollständige Nachbildung bestehender Netze des oder der regulierten Unternehmen andererseits.

In jedem Fall erscheint es sinnvoll, die mittelfristige Stabilität und Berechenbarkeit der Kostenermittlungsmethode auch bei geänderten Inputwerten dadurch zu gewährleisten, daß das als Referenz herangezogene Netz und damit der unterstellte Produktionsprozeß, insbesondere hinsichtlich der Technologie und der Knotenstandorte nach der erstmaligen Definition über einen längeren Zeitraum für die Praxis der Entgeltregulierung unverändert beibehalten wird. Die Auswirkungen von in diesem Zeitraum auftretenden Parameteränderungen auf die Kosten der effizienten Leistungsbereitstellung, wie Änderungen der Investitionsgüterpreise oder der Nachfrage, sind dann auf Basis dieses Referenznetzes zu ermitteln. Durch dieses Vorgehen wird für die beteiligten Parteien Planungssicherheit hinsichtlich zukünftiger Regulierungsverfahren gewährleistet, insofern, daß die Ergebnisse der bottom-up Kostenermittlung bei erwarteten Parameteränderungen vorab berechnet werden können. In jedem Falle ist das Referenznetz in regelmäßigen Abständen einer vorab angekündigten Revision zu unterziehen, um sicherzustellen, daß Änderungen der technischen, betrieblichen und ökonomischen Rahmenbedingungen in angemessener Weise in der Netzkonfiguration und somit in der Kostenbetrachtung berücksichtigt werden.

In welchem Umfang das derzeitige Netz der DTAG oder eines anderen Netzbetreibers die Referenz darstellt, ist im Rahmen dieses Verfahrens zu diskutieren. Durch Vorgabe von Technologien und Knotenstandorten wird das, was als Methode der effizienten Leistungsbereitstellung gelten soll, aus den Resultaten eines Optimierungsverfahrens in die den Modellrechnungen zugrundeliegenden Annahmen verschoben. Diese Restriktionen sind daher in jedem Fall deutlich zu kennzeichnen und einem kritischen Diskurs zugänglich zu machen.

Die Entwicklung des nachstehend beschriebenen Kostenmodells hat es nicht zuletzt aus Gründen der anschaulichen Dokumentation unumgänglich gemacht, in diesem Sinne eine Reihe von Konventionen zu treffen. So liegt dem Modell kein umfassender Optimierungsansatz zugrunde. Die Annahmen hinsichtlich Standort- und Technologiewahl repräsentieren Einschätzungen hinsichtlich der mittelfristig für vermittelte schmalbandige Verbindungsleistungen und Teilnehmeranschlüsse effizienten und bei der Netzplanung relevanten Produktionsverfahren. Die wichtigsten Annahmen lauten wie folgt:

- Die Standorte von Vermittlungsstellen und Konzentratoren werden vorgegeben, da auch in der langen Frist die Möglichkeiten zur Restrukturierung insbesondere der Anschlußnetze begrenzt sind. Das ansonsten zu lösende Standortproblem wäre darüber hinaus äußerst komplex, da eine Vielzahl von Restriktionen bei der Standortwahl berücksichtigt werden müßten. Weiterhin erscheint plausibel, daß die Standortwahl im wesentlichen an der erwarteten Anschlußdichte orientiert ist, so daß Netzknoten vornehmlich in Ballungszentren lokalisiert sind. Dies kann aufgrund

des dominierenden Einflusses der Kosten der Anschlußnetze auf die Gesamtkosten des Ortsnetzes als Annäherung an ein Standortoptimum gelten.

- Der Ausbau der Anschlußnetze erfolgt annahmegemäß als passives Kupferkabelnetz. Die dort verwendete Technik ist im Gegensatz zu optischen Anschlußnetzen oder Funktechnik weitgehend standardisiert und erprobt. Kupferadern stellen in bestehenden Anschlußnetzen auf absehbare Zeit die zahlenmäßig dominierende Anschlußart dar. Auch wenn für Teilnehmer mit hohem Anspruch an Übertragungsbandbreite alternative Anschlußverfahren eingesetzt werden dürften, ist die Kupferanschlußtechnik für den größten Teil der Privatkunden sowie der kleinen und mittleren Geschäftskunden auch zukunftsgerichtet weiterhin von Relevanz.
- Vermittlung beruht auf digitaler Vermittlungstechnik. Analoge Vermittlungstechnik ist mit Abschluß des Jahres 1997 auch im Netz der DTAG vollständig substituiert und spielt in der Zukunft dort und auch bei neuen Netzbetreibern keine Rolle mehr. Paketorientierte Vermittlung und Übertragung auf der Basis von ATM ist noch in der Erprobungs- und Einführungsphase. Daher sind verlässliche Kostenschätzungen noch nicht möglich.
- Das Verbindungsnetz ist in optischer Übertragungstechnik in der plesiochronen digitalen Hierarchie ausgebaut.³ Daraus ergibt sich ein Sternnetz zwischen Teilnehmervermittlungsstellen (TVSt) und Konzentratoren und ein Maschennetz zwischen den TVSt untereinander.

2.2.3 Kapitalkosten

Zur Bestimmung der jährlichen Kosten der Bereitstellung von Netzelementen sind zunächst die Kapitalkosten des eingesetzten Produktivkapitals zu ermitteln. Die hohe Kapitalintensität des Betriebs von Telekommunikationsnetzen macht diesen Kostenblock zum wichtigsten Faktor der Kosten des Leistungsangebotes. Die Ermittlung der Kapitalkosten erfolgt in drei Schritten. Zunächst wird das produktive Kapital bewertet. Bewertungsmaßstab sind dabei Wiederbeschaffungszeitwerte derjenigen Investitionsgüter, die bei einer zukunftsgerichteten Betrachtungsweise zur Bereitstellung der Funktionalitäten des jeweiligen Netzelementes angeschafft werden würden. Von dieser Konvention wird nur insoweit abgewichen, wie die Definition des Referenznetzes den Einsatz anderer Investitionsgüter vorsieht. Abweichungen vom Konzept der neuesten eingesetzten Technologie sind dort vertretbar, wo entweder abzusehen ist, daß ein breiter Einsatz dieser Technologie im betrachteten Netz im Betrachtungszeitraum nicht zu erwarten ist oder neue Technologien primär deshalb eingesetzt werden, um jetzt und zukünftig andere Leistungen als einfachen Telefondienst anbieten zu können. Diese Festlegungen sind transparent zu machen und sollen zur Diskussion gestellt werden.

Im zweiten Schritt sind Abschreibungszeiträume und -verfahren für verschiedene Kapitalgütergruppen festzulegen. Schließlich ist für das eingesetzte Kapital die kalkulatorische Verzinsung zu ermitteln.

2.2.3.1 Wertansatz für Investitionsgüter: Wiederbeschaffungszeitwerte

Bei der Frage, welcher Ausgangswert bei der Berechnung von Kapitalkosten anzuwenden ist, werden in erster Linie zwei konkurrierende Ansätze diskutiert: zum einen der Anschaffungs- bzw. Herstellungswert des Investitionsgutes zum Beschaffungszeitpunkt und zum anderen der Wiederbeschaffungszeitwert bzw. Tageswert als der Preis, der zum Bewertungszeitpunkt für die Erneuerung des vorhandenen Investitionsgutes durch ein solches gleicher Art und Güte, im Sinne

³ Siehe dazu auch Fußnote 6.

äquivalenter Funktion, im Neuzustand, d.h. ohne Berücksichtigung des eingetretenen Werteverzehrs, gezahlt werden müßte.

Da Daten über Investitionsausgaben in der Vergangenheit in der Regel in der Anlagenbuchhaltung dokumentiert sind, ist der Ansatz der Anschaffungskosten als der am leichtesten durchführbare anzusehen. Hierin liegt auch ein wesentlicher Grund für die Tatsache, daß derzeit noch die meisten etablierten

Telekommunikationsunternehmen diesen kostenrechnerischen Ansatz verfolgen.

Das entscheidende Argument gegen die Bewertung von Anlagen auf Anschaffungskostenbasis ist jedoch darin zu sehen, daß es im deutlichen Widerspruch zur regulatorisch gewünschten und auch unter Wettbewerbsgesichtspunkten adäquaten zukunftsgerichteten Kostenermittlung steht. Denn nur unter der "forward-looking" Annahme ermittelte Kosten bilden eine geeignete Grundlage für eine darauf aufbauende effiziente Entgeltgestaltung.⁴

Die Anwendung des Tageswertprinzips wird häufig als problematisch angesehen, wenn bei den betreffenden Anlagegütern ein Preisverfall im Zeitablauf festzustellen ist.

Insbesondere bei den Telekommunikationsanlagen, die schnellem technischen Fortschritt unterliegen, ist dies zu beobachten. Hier wird eingewandt, daß die Unternehmen die Anschaffungskosten nominell zu 100 % tragen müssen und daß auf niedrigeren Tageswerten basierende Preise diese Kosten nicht decken würden.

Dieses Argument ist jedoch nur insoweit zutreffend, als es sich um nicht antizipierte Preisänderungen handelt. Der Wertverlust aufgrund der erwarteten Preisänderungen kann in die jährliche Abschreibung hineingerechnet werden, indem die Verringerung des Wertes der Anlage durch den Preisverfall dem Abschreibungsbetrag, der sich auf der Basis des Wiederbeschaffungszeitwertes ergibt, hinzugerechnet wird. Dadurch ergibt sich in jeder Periode ein Abschreibungsbetrag, der sich aus dem Wertverlust aufgrund des Zeitfaktors und aus dem Wertverlust durch den Preisverfall zusammensetzt.⁵

Das Modell hat die Ermittlung von Kosten der effizienten Leistungsbereitstellung zum Ziel. Es folgt daraus, daß unter Berücksichtigung der oben genannten Einschränkungen nur die effiziente der derzeit in der Produktion eingesetzten Technologien bei der Kostenberechnung zugrundegelegt wird. Im Regelfall sollten die aktuellen Preise dieser Technologien verfügbar sein. Schwierigkeiten treten in den Fällen auf, in denen die in den Modellannahmen zugrundegelegte Technologie bei zukünftigen Investitionen keine Berücksichtigung mehr findet oder nur bei dem Umfang nach begrenzten Ersatzinvestitionen in Betracht gezogen wird. Hier kann es erforderlich sein, Tagespreise auf Basis von Ersatzbeschaffungspreisen zu ermitteln oder die Erstinstallationspreise mit einem Preisindex zu versehen.⁶

4 Vgl. dazu die Stellungnahme der Konferenz der Sachverständigen für die Tarifierung von Monopolleistungen beim BMPT: "Das Tageswertprinzip sollte deshalb angewendet werden, weil nur die Tagespreise und nicht die historischen Anschaffungskosten die jeweiligen aktuellen Knappheitssituationen widerspiegeln und damit als Signale für einen effizienten Ressourceneinsatz dienen können." (Bundesministerium für Post und Telekommunikation: Grundsätzliche Überlegungen zum Kostenmaßstab für die Genehmigungsfähigkeit von Monopoltarifen, Informationsserie zu Regulierungsfragen Nr. 10, Bonn, Mai 1993, S. 29).

5 Im übrigen ist bei einer Preissteigerung anstelle von Preisverfall vergleichbar zu verfahren, indem die auf Wiederbeschaffungszeitwerten basierenden Abschreibungen um den Wertzuwachs der Anlage aufgrund der Preissteigerung reduziert werden.

6 Dies steht nicht im Widerspruch zum Effizienzgebot. Beispielsweise wurden bei Einführung der digitalen Übertragungstechnik zunächst Geräte eingesetzt, die auf dem PDH-Standard beruhten. Der Netzausbau und vermutlich auch Ersatzinvestitionen, wenn diese ein hinreichend großes Netzsegment berühren, erfolgen mittlerweile in der neueren SDH-Technologie. Dennoch wird vorgeschlagen, aufgrund der durchaus nicht gesicherten Ineffizienz der PDH-Technik für das Angebot schmalbandiger Übertragungsleistungen im Nahbereich, diese bei der Kostenermittlung weiterhin zugrunde zu legen.

2.2.3.2 Abschreibungen

Bei der Frage nach der geeigneten Abschreibungsmethode geht es darum, den Wert des Kapitalguts über die gesamte Nutzungsdauer, während der Einnahmeströme generiert werden, zu verteilen. Daher wird die tatsächliche wirtschaftlich-technische Nutzungsdauer der Anlagen zugrundegelegt, d.h. es können sich Abweichungen gegenüber der durch Steuer- und Handelsrecht vorgegebenen Nutzungsdauer ergeben. Es sind somit Erwartungen über die voraussichtliche ökonomische Lebensdauer eines Anlagegutes – oder aus pragmatischen Gründen einer Klasse von Anlagegütern – zu bilden. Anschließend ist das Abschreibungsverfahren festzulegen, wobei vier Alternativen zu diskutieren sind:

1. Die lineare Abschreibung ist das gebräuchlichste Verfahren. Sie führt zu Abschreibungsbeträgen, die bezogen auf den *realen* Wert des Anlagegutes konstant sind. Bei Anwendung des Tageswertprinzips ergeben sich jedoch aufgrund der Entwicklung der Preise für das Anlagegut jedes Jahr Änderungen in den nominalen Abschreibungsbeträgen.
2. Bei einer Abschreibung mit variablen Raten in den realen Abschreibungsbeträgen werden Entwicklungen berücksichtigt, die eine lineare Abschreibung als nicht adäquat erscheinen lassen. Bei einer degressiven Abschreibung sind die Raten zu Beginn des Abschreibungszeitraums am höchsten und werden dann von Jahr zu Jahr kleiner. Diese Methode wird vor allem dann angewandt, wenn aus einem Vorsichtsmotiv heraus ein Großteil der Abschreibungen in den frühen Phasen der Nutzung vorgenommen werden soll.
3. Bei einer progressiven Abschreibung sind die Raten umgekehrt zu Beginn des Abschreibungszeitraums am geringsten und werden dann von Jahr zu Jahr größer. Der Anlaß hierfür könnte die Berücksichtigung der Tatsache sein, daß eine Anlage aufgrund von erwartetem Nachfragewachstum erst im Laufe der Zeit voll ausgelastet werden kann und die Abschreibungen nutzungsabhängig erfaßt werden sollen. Die progressive Variante wird in der kostenrechnerischen Praxis jedoch kaum angewandt.
4. Nach der ökonomischen oder auch Ertragswertabschreibung wird der jährliche Abschreibungsbetrag aus der Differenz zwischen dem Kapitalwert des Anlagegutes zu Beginn und am Ende der Periode berechnet. Da sich der Kapitalwert aus der Summe der zu erwartenden Einnahmeüberschüsse aus der Nutzung des Anlagegutes, abdiskontiert auf den jeweiligen Zeitpunkt, ergibt, sind in die Berechnung alle relevanten Einflußfaktoren einzubeziehen. D.h. die erwartete Entwicklung der Nachfrage, des technischen Fortschritts, der allgemeinen Preisentwicklung sowie anderer Faktoren sind bei diesem Verfahren relevante Bestimmungsgrößen der Abschreibungsrate.

Gemäß den handels- und steuerrechtlichen Vorschriften wenden Unternehmen in der Anlagenbuchhaltung zumeist die lineare oder die degressive Abschreibungsmethode an. Aus Gründen der Praktikabilität werden die entsprechenden Werte dann oft unverändert in die Kostenrechnung übernommen; es werden demnach in der Kostenrechnung keine kalkulatorischen, d.h. von den bilanziellen abweichenden, Abschreibungen angesetzt.

Unter dem Aspekt einer möglichst verursachungsgerechten Kostenzurechnung wäre die Ertragswertabschreibung generell den anderen Abschreibungsansätzen vorzuziehen. Denn zum einen ist es unrealistisch, daß ein Investitionsgut sein Gesamtpotential immer in konstant gleichen Jahresraten (lineare Abschreibung) bzw. in konstant abnehmenden Jahresraten (degressive Abschreibung) abgibt. Leistungsschwankungen im Zeitablauf, die beispielsweise durch Nachfrageveränderungen ausgelöst sein können, werden so nicht erfaßt. Zum anderen würde von einer starren linearen oder degressiven Abschreibung nicht erfaßt, daß ein Investitionsgut aufgrund einer technischen Neuentwicklung unerwartet früh veralten kann, wodurch sich sowohl seine

Restnutzungsdauer als auch sein Ertragswert verringert. Da bei der ökonomischen Abschreibung alle diese Einflüsse berücksichtigt werden, ist sie als die Abschreibungsmethode anzusehen, die am ehesten in der Lage ist, für eine verursachungsgerechte Zuordnung der Anlagenkosten auf die Jahre der Nutzungsdauer zu sorgen. Die ökonomische Abschreibung stellt jedoch sehr hohe Datenanforderungen. Bei konsequenter Anwendung der Methode müßten für jedes einzelne Anlagegut die genannten Einflußgrößen (zukünftige Preisentwicklung, Entwicklung der Nachfrage, technischer Fortschritt, etc.) für die gesamte Restnutzungsdauer abgeschätzt und in die Berechnungen einbezogen werden. Zudem müßten diese Daten und Annahmen regelmäßigen Prüfungen und Neuberechnungen unterzogen werden.

Dafür, daß somit in diesem Modell mit der linearen Abschreibung eine der beiden herkömmlichen Methoden Anwendung findet, spricht neben den genannten Argumenten der Transparenz und Praktikabilität, daß sie sich in der Praxis der ökonomischen Abschreibung annähert. Dies gilt, wenn, wie im vorangegangenen Abschnitt dargelegt, das Tageswertprinzip angewandt und jeweilige Änderungen aufgrund der Preisentwicklung im Wert der Anlage berücksichtigt werden. Unter der Annahme, daß die Beschaffungsmärkte für Telekommunikationsanlagen weitgehend wettbewerblich strukturiert sind, kann man dann davon ausgehen, daß in diesen Preisen zumindest annähernd die oben genannten Einflußgrößen auf den Kapitalwert eines Anlagegutes berücksichtigt sind. Weiterhin kann die lineare Abschreibung als die über den Abschreibungszeitraum hinweg durchschnittliche jährliche Abschreibung angesehen werden. Da hier von einem Referenzmodell für das Ortsnetz ausgegangen wird, das repräsentativ für den "Durchschnitt" einer großen Anzahl von Ortsnetzen steht, ist es angebracht, in dem Modell den Durchschnitt der Abschreibungsraten, die über alle Ortsnetze hinweg - unabhängig von der jeweilig angewandten Abschreibungsmethode - zur Anrechnung kommen, einzusetzen.

Wenn nun bei dieser Vorgehensweise die Anlagen nach dem Tageswertprinzip bewertet werden, dann entspricht der zu ermittelnde Durchschnitt in etwa der Abschreibungsrate, die sich bei Anwendung der linearen Abschreibungsmethode ergibt. Dabei wird vorausgesetzt, daß diese Rate um einen Wert korrigiert worden ist, der der Preisveränderungsrate des Anlagegutes entspricht. Die Korrektur erfolgt nach unten, wenn die Preisveränderungsrate positiv ist, und nach oben, wenn sie negativ ist. Die Berücksichtigung der Preisveränderungsrate in der Abschreibungsrate entspricht der Verwendung eines "realen" Zinssatzes, die dann gefordert wird, wenn Anlagen zu Wiederbeschaffungspreisen bewertet werden. Bei einem steigenden Preis des Anlagegutes ist dabei der reale Zinssatz niedriger, bei einem sinkenden Preis höher als der nominale Zinssatz. Bei der Ermittlung der Kapitalkosten im Modell wird diesem letzteren Ansatz gefolgt.

Im Rahmen der Kostenmodellierung lassen sich zudem auch unter Verzicht auf die Anwendung der ökonomischen Abschreibungsmethode unsichere Erwartungen über zukünftige Entwicklungen abbilden. Dies kann dadurch erfolgen, daß in einer Reihe von Szenarien bei den verschiedenen Kategorien von Anlagegütern die Abschreibungszeiträume variiert werden. Auf diese Weise wird in den Modellrechnungen reflektiert, daß sich bspw. aufgrund von technischem Fortschritt die wirtschaftliche Nutzungsdauer eines Anlagegutes verkürzen oder aufgrund von Nachfrageverschiebungen verlängern kann, woraus dann Änderungen in den Abschreibungsbeträgen resultieren.

Es ist demnach festzuhalten, daß die lineare Abschreibung auf der Basis von Wiederbeschaffungszeitwerten für die Zwecke der Modellrechnung hinreichend ist. Diese Einschätzung deckt sich mit dem Ergebnis einer vergleichenden Analyse von Oftel⁷, wo-

7 Oftel: Network Charges from 1997, Consultative Document, London, December 1996, S. 46.

nach eine systematische Verzerrung bei Verwendung des linearen Ansatzes nicht festgestellt werden konnte.

2.2.3.3 Kalkulatorische Kapitalverzinsung

Zinskosten auf das in den Anlagegütern gebundene Kapital werden von den Unternehmen üblicherweise kalkulatorisch angesetzt. Dies bedeutet, daß nicht die Werte aus der Finanzbuchhaltung, d.h. die entstandenen Zinsaufwendungen, herangezogen werden, sondern daß von der Prämisse ausgegangen wird, daß das gesamte betriebsnotwendige Vermögen aus dem insgesamt eingesetzten Eigen- und Fremdkapital finanziert wird. Dieser Überlegung liegt ein Opportunitätskostenkonzept zugrunde: Für das eingesetzte Eigenkapital entstehen dem Unternehmen zwar keine Zinsaufwendungen, es ist jedoch zu berücksichtigen, daß das Unternehmen zumindest die Rendite einer alternativen Investitionsmöglichkeit erwirtschaften sollte, damit die Eigenkapitalgeber nicht abwandern. Der anzusetzende Kapitalkostensatz, ergibt sich dann aus einer gewichteten Summe der Renditeforderungen der Eigenkapitalgeber (vor Abzug von Ertragssteuern) und der durchschnittlichen Fremdkapitalverzinsung.

Als Modell zur Bestimmung der geforderten Rendite bzw. des Eigenkapitalzinssatzes wird seit einigen Jahren insbesondere das Capital Asset Pricing Model (CAPM) herangezogen. Danach ergibt sich der Eigenkapitalzinssatz als Summe aus risikofreiem Zinssatz und einem Risikozuschlag. In diesem Modell stellt insbesondere die Bestimmung des unternehmensspezifischen Risikofaktors hohe Datenanforderungen. Als alternativer Ansatz könnte die Bestimmung des Zinssatzes auf der Basis der Dividendenwachstums-Hypothese (engl: "Dividend Growth Method") erfolgen.⁸ Dieser Ansatz stellt jedoch ebenfalls hohe Datenanforderungen, da die Dividendenentwicklung für mehrere Jahre im voraus abzuschätzen ist. Somit sind beide Modelle unter den gegenwärtigen Bedingungen und von externer Warte aus nicht praktikabel. Als Alternative wird vorgeschlagen, den Eigenkapitalzinssatz auf der Basis von Netzbetreiberangaben bzw. internationaler Vergleiche zu bestimmen. Zur Bestimmung des durchschnittlichen Fremdkapitalzinssatzes kann die Rendite einer risikolosen Anlage mit mittlerer Laufzeit, z.B. Bundesanleihen mit einer Laufzeit von 4 bis 6 Jahren, herangezogen werden.

Kalkulatorische Verzinsung und Abschreibung werden im Kapitalwiedergewinnungsfaktor in eine Annuität überführt. Die kalkulatorische Verzinsung wird dabei auf das durchschnittlich während der Nutzungsdauer der Anlage gebundene Kapital berechnet.

2.2.4 Anlagenbezogene Betriebskosten

Zu den direkten Kapitalkosten des Anlagenbestandes sind Kosten zu addieren, die durch den laufenden Betrieb des Telekommunikationsnetzes entstehen. Diese werden zusammenfassend als OAM (operations, administration and maintenance) bezeichnet. Ihre Erfassung kann bottom up, d.h. durch Analyse von Betriebskonzepten, oder durch die Ermittlung von Faktoren auf der Basis vergangenheitsbezogener Relationen von Anlagevermögen zu Ausgaben erfolgen. Ihre direkte Ermittlung, etwa durch Auswertung von Betriebskonzepten für verschiedene Anlagen, wie digitale Vermittlungsstellen, ist aufwendig. Die Verwendung von Faktoren, die zur Investitionssumme in bezug gesetzt werden, kann vertretbare Annäherungen liefern. Sie werden durch Berechnung von Relationen des Anlagevermögens zu

⁸ Nach diesem Ansatz ergibt sich die Eigenkapitalrendite aus der Formel $D = D_0 / P_0 + g$ (mit D_0 = Gegenwärtige Dividende, P_0 = Gegenwärtiger Aktienkurs und g = Konstante Wachstumsrate der Dividende)

anlagenbezogenen Ausgaben eines Unternehmens berechnet. So ermittelte Betriebskostenfaktoren spiegeln allerdings keine Kausalbeziehung wider, sind grundsätzlich vergangenheitsbezogen und können betriebliche Ineffizienzen des Unternehmens enthalten. Letzteres spricht dafür, Betriebskostenfaktoren für verschiedene Telekommunikationsnetzbetreiber zu ermitteln und in geeigneter Form zu gewichten.

2.2.4.1 Ermittlung durch Prozeßkostenrechnung

Es entspricht dem prinzipiellen Ansatz der analytischen Kostenmodellierung, OAM-Kosten, analog den Investitionen und den daraus abgeleiteten direkten Kapitalkosten, "bottom up", d.h. aufgrund von technischen oder ökonomischen Kausalitäten zu erfassen. Dieses Vorgehen ermöglicht es, diejenigen Betriebskosten zu ermitteln, die bei effizientem Netzbetrieb entstehen. Es ermöglicht darüber hinaus, diese Kosten über eine Analyse der Kostentreiber verursachungsgerecht zuzuordnen.

Aufgrund der komplexen Arbeitsabläufe, die dem Betrieb von technischen Anlagen in der Telekommunikation, also etwa dem Betrieb einer digitalen Vermittlungsstelle, zugrundeliegen, dürfte die Modellierung der Betriebskosten anhand zuvor identifizierter Kostentreiber schwierig sein. Sie kann wahrscheinlich nur durch eine konsequente Implementation einer Prozeßkostenrechnung erreicht werden. Es wird anerkannt, daß die verschiedenen, in einem Unternehmen ablaufenden Prozesse einer detaillierten Analyse mit Hilfe der Prozeßkostenrechnung in unterschiedlichem Maße zugänglich sind. Im Einzelfall muß abgewogen werden, ob die Kosten einer weitergehenden Kostenzuordnung durch die erzielten Erkenntnisgewinne aufgewogen werden.

2.2.4.2 Ermittlung auf Basis historischer Daten

Die pragmatische und kurzfristig verfügbare Alternative besteht im Rückgriff auf zurückliegende Ausgaben von Netzbetreibern, sofern diese nach Anlagenkategorien, wie z.B. digitale Vermittlungstechnik, Übertragungssysteme oder Glasfasererdkabel, gegliedert sind. Diese Ausgaben sind zum Anlagevermögen in Relation zu setzen und gehen dann als Betriebskostenfaktoren in die Modellrechnung ein. Prinzipiell kann das Anlagevermögen dabei zu Anschaffungswerten oder zu Wiederbeschaffungszeitwerten bewertet werden. Da die Modellrechnung auf Wiederbeschaffungszeitwerten beruht, erscheint die Bewertung des Anlagevermögens zu aktuellen Beschaffungspreisen moderner, funktional äquivalenter Güter als sinnvoll, falls die vorhandenen Daten dies zulassen.

In der Vergangenheit angefallene Betriebskosten sind allerdings von dem historischen Anlagebestand, der immer eine Vielzahl von unterschiedlichen Altersstufen umfaßt, verursacht worden. Eine Fortschreibung dieser Kosten in zukünftige Perioden ist daher nur in Ermangelung besserer Alternativen zulässig. Zum einen geht der technische Fortschritt etwa im Bereich der Vermittlungstechnik tendenziell mit einer Substitution von Betriebskosten in der Form von Personalkosten durch Anlageinvestitionen einher. Daher werden die zukünftig notwendigen Betriebskosten in diesem und anderen Bereichen unter denen der Vergangenheit liegen. Zum anderen ist dagegen in den Bereichen, in denen die Substitution von Arbeit durch Kapital langsamer voranschreitet, unter dem Strich mit einer Erhöhung der nominellen Betriebskosten zu rechnen. Dies gilt etwa für den Bereich der erdverlegten Kabelinfrastruktur.

Allerdings fallen Preise für Vermittlungs- und Übertragungstechnik im Zeitablauf, während Preise für die Verlegung von Kabeln tendenziell steigen. Die so beschriebenen gegenläufigen Effekte legen es nahe, die Relation von Anlagevermögen zu Anschaffungspreisen zu anlagenbezogenen Ausgaben als akzeptables Approximativ an zukunftsgerichtete Betriebskostenfaktoren anzusehen. Zur Begründung der Anwendung solcher Faktoren auf Wiederbeschaffungswerte moderner Funktionsäquivalente ist zu

unterstellen, daß sich Wiederbeschaffungspreise und zukunftsgerichtete Betriebskosten proportional zueinander entwickeln.

Wird der so beschriebene Weg verfolgt, so sind Betriebskostenfaktoren für mehrere Netzbetreiber zu ermitteln und in geeigneter Weise zu gewichten. Als allgemein zugängliche Datenquelle bieten sich vor allem die von der FCC zusammengestellten Statistics of Telecommunications Common Carriers (SOCC) an, im Rahmen derer jährlich Anlagevermögen, Ausgaben und eine Reihe weiterer Kennziffern der großen lokalen US-Telefongesellschaften veröffentlicht werden. Die so ermittelten Daten können mit Angaben verglichen werden, die gegebenenfalls von den in Deutschland tätigen Unternehmen vorgelegt werden.

2.2.5 Konventionen für die Umrechnung von Spitzenlastkosten (Kapazitätskosten) in Kosten pro Minute oder pro Ereignis

Die langfristigen zusätzlichen Kosten der Netzelemente des vermittelnden Netzes sind jährliche Kosten der Bereitstellung von Lastspitzenkapazität, also von Kanalbelegungen (busy hour Erlang) und Verbindungswünschen (busy hour call attempts). Die Umrechnung dieser Kosten auf Kosten pro Minute oder pro Verbindungsaufbau erfolgt auf Basis der Konvention, daß die Kosten eines Netzelementes gleichmäßig auf die gesamte Leistungsabgabe verteilt werden. Im Modellrahmen wird davon ausgegangen, daß Angaben über den erwarteten Teilnehmerverkehr in einer durchschnittlichen Hauptverkehrsstunde vorliegen. Um aus diesen Verkehrswerten die Nachfrage des gesamten Jahres abzuleiten, bedarf es der Kenntnis der Relation von Nachfrage in der Hauptverkehrsstunde zur gesamten Tagesnachfrage sowie der Relation der Tagesnachfrage zur Jahresnachfrage. Die ermittelten Kosten der Lastspitzenkapazität werden dann durch die Jahresnachfrage - etwa ausgedrückt in Verbindungsminuten - geteilt.

Entgelte für Netzzugangsleistungen können dagegen gleichwohl zeitliche Differenzierungen aufweisen. Eine Diskussion über angemessene Differenzierungsverfahren ist nicht Gegenstand dieses Dokumentes. Es wird anerkannt, daß letztendlich vereinbarte bzw. genehmigte Entgelte Elemente zeitlicher Differenzierung beinhalten können, die zwischen verschiedenen Diensten entsprechend der Tages- und Wochenverkehrskurve unterschiedlich ausgestaltet sein können. Es ist allerdings in jedem Falle sicherzustellen, daß Entgelte für Zusammenschaltung und andere besondere Netzzugänge im vermittelnden Netz sich an den Kosten orientieren, die von diesen Leistungen in der Hauptverkehrsstunde verursacht werden.

2.2.6 Nutzungsfaktoren

Für jedes verkehrsabhängig dimensionierte Netzelement werden Kosten pro abgegebener Leistungseinheit, d.h. Minuten oder bestimmte Ereignisse (Verbindungsaufbau) ermittelt. Die Kosten für Leistungen, die mehrere Netzelemente nutzen, können durch Addition der Kosten der einzelnen genutzten Elemente ermittelt werden. Für jedes Netzelement sind zu diesem Zweck Nutzungsfaktoren zu ermitteln, die angeben, wieviele Leistungseinheiten eines Netzelementes bei der Produktion von einer Einheit (i.d.R. Minuten) einer Zusammenschaltungsleistung eingesetzt werden.

Nutzungsfaktoren hängen von der Netzstruktur und von der Verkehrsführung im Netz ab.

Im hier beschriebenen Modell für Telekommunikationsortsnetze lassen sich zwei wesentliche Zusammenschaltungsleistungen, also die Durchschaltung von Verbindungen zwischen einem Teilnehmer des Ortsnetzes und einem alternativen Netzbetreiber, definieren: Der Netzübergang erfolgt entweder an einer TVSt des Ortsnetzes oder an einer Vermittlungsstelle des Fernnetzes, wobei der Verkehr von einem definierten

Übergabepunkt im Ortsnetz in gemeinsamen Übertragungssystemen mit dem Ortsverkehr zur Zielvermittlungsstelle geführt wird (bzw. umgekehrt).

In beiden Fällen ist ein Nutzungsfaktor für die Verbindungen zwischen Ziel-/Ursprungs-VSt und einem abgesetzt lokalisierten Konzentrator zu bestimmen. Dieser Faktor errechnet sich aus dem Verhältnis des Teilnehmerverkehrs, der Ziel oder Ursprung in Anschlußbereichen hat, die an einem abgesetzten Konzentrator angeschlossen sind, zum gesamten Teilnehmerverkehr des Ortsnetzes. Im zweiten Fall ist ein Nutzungsfaktor für Übertragungssysteme im Ortsnetz zu bestimmen, die nur dann genutzt werden, wenn der rufende/gerufene Teilnehmer nicht an der TVSt angeschlossen ist, an der der Übergabepunkt zum Fernnetz angeordnet ist.

In gleicher Weise sind ggf. Nutzungsfaktoren für Verbindungen innerhalb des Ortsnetzes zu bestimmen. Eine weitergehende und allgemeinere Berechnung von Nutzungsfaktoren für Zusammenschaltungsleistungen erfordert allerdings Annahmen über die Verkehrsführung nicht nur innerhalb des Ortsnetzes, sondern auch auf der Ebene des Fernnetzes, das im Rahmen der hier vorgestellten Modellierung keine Berücksichtigung findet. Eine Ausdehnung der Kostenmodellierung auf die Fernebene wird derzeit erarbeitet.

2.3 Netzelemente für Zusammenschaltung und besonderen Netzzugang

Die in den nächsten Abschnitten beschriebene Netzarchitektur und die darin enthaltenen Netzelemente und deren Gestalt entsprechen den Grundlagen des Kostenmodells, das in Kapitel 3 in detaillierter und stärker formalisierter Form dargelegt ist. Dem Modell in der beschriebenen Form liegen die in den vorangegangenen Abschnitten erläuterten und im folgenden weiter konkretisierten Annahmen und Konventionen zugrunde.⁹ Untersuchungseinheit ist generell ein Ortsnetz, dessen Abgrenzung prinzipiell in beliebiger Weise vorgenommen werden kann. Im Sinne der Konvention, von bestehenden Netzstrukturen auszugehen, sind die Netzgrenzen eines Betreibers, also in erster Linie der DTAG, zugrunde zu legen. Hinsichtlich der Generierung von Durchschnittswerten für die Kosten einzelner Netzelemente für die Gesamtheit der Ortsnetze eines Betreibers wird davon ausgegangen, daß eine Stichprobenbetrachtung vorgenommen werden kann. Diese Stichprobe soll hinsichtlich der verschiedenen für die Höhe der Kosten von Netzzugangsleistungen relevanten Netzstrukturen repräsentativ sein.

2.3.1 Generelle Netzarchitektur

Der hier beschriebene Modellierungsansatz unterstellt ein Telekommunikationsortsnetz, das für die Bereitstellung von verbindungsorientierten, schmalbandigen Diensten ausgelegt ist. Dies umfaßt alle Dienste, die auf die Referenzverbindung eines 64 kbit/s Kanals zurückgeführt werden können. Die Leistung, die von den Elementen des vermittelnden Netzes bereitgestellt wird, ist die verbindungsorientierte Durchschaltung eines 64 kbit/s Kanals zwischen der Vermittlungsstelle des rufenden und der des gerufenen Teilnehmers. Bei Teilnehmern, die nicht direkt an eine Teilnehmervermittlungsstelle angeschlossen sind, endet bzw. beginnt die Verbindung am ersten konzentrierenden Element des Netzes. Dieses Element wird als abgesetzter Konzentrator oder abgesetzte Teilnehmerleitungseinheit bezeichnet. Vermittlungsfunktionen werden von digitalen Vermittlungsstellen ausgeführt. Die Übertragung im Verbindungsnetz erfolgt über Lichtwellenleiter (LWL).

⁹ Das grundsätzliche Vorgehen entspricht in Teilen dem von Gabel und Kennet beschriebenen Kostenmodellierungsansatz für Ortsnetze. Vgl. Gabel, David und Mark Kennet: Estimating the cost structure of the local telephone exchange network, Studie für das NRRI (National Regulatory Research Institute, Columbus, Ohio), Oktober 1991.

Die Ebene des Fernnetzes wird nicht explizit betrachtet. Es wird angenommen, daß der Fernverkehr an einer TVSt übergeben wird und im Verbindungsnetz zusammen mit dem Ortsverkehr in gemeinsamen Übertragungssystemen geführt wird.

Die Leistung, die von den Elementen des Anschlußnetzes bereitgestellt wird, ist eine dauerhafte und teilnehmerspezifische Verbindung zwischen teilnehmerseitigem Netzabschlußpunkt und dem ersten konzentrierenden Element des Telekommunikationsnetzes. Die Realisierung dieser Verbindung erfolgt über ein passives Kupferdoppeladernetz.

Die verwendete Produktionstechnologie wird folglich in dem hier beschriebenen Modellierungsansatz als bindende Restriktion vorgegeben und unterliegt keiner weitergehenden Optimierung.

Es kann berücksichtigt werden, daß neben vermittelten Diensten Festverbindungen angeboten werden. Für Festverbindungen wird keine separate Kostenbetrachtung durchgeführt. Ihnen kann allerdings ein Teil der Kosten der Übertragungswege sowie des Anschlußnetzes zugerechnet werden, da sie annahmegemäß im Verbund mit vermittelten Diensten bereitgestellt werden. Der zugerechnete Kostenanteil bestimmt sich nach dem Anteil der Adernpaare für Festverbindungen im Anschlußnetz an der Gesamtzahl der Adernpaare sowie am Anteil der 2 Mbit/s-Festverbindungen an der Gesamtzahl der 2 Mbit/s-Verbindungen im Verbindungsnetz. Die errechneten Kosten der Vermittlungseinrichtungen werden durch die Bereitstellung von Festverbindungen nicht beeinflußt.

Im folgenden werden die betrachteten Elemente des Ortsnetzes beschrieben und diejenigen Faktoren herausgestellt, die vermutlich gravierenden Einfluß auf die errechneten Kosten ausüben. Die Relevanz der Beschaffungspreise sowie der Kapital- und Betriebskostenfaktoren wird nicht für jedes Element hervorgehoben. Sie gilt durchgängig für alle beschriebenen Elemente.

2.3.2 Teilnehmeranschlußnetz

Die Funktion des Teilnehmeranschlußnetzes liegt in der Bereitstellung einer Übertragungsfunktionalität zwischen Endgerät und dem Abschlußpunkt der Linientechnik vor dem ersten Konzentrationspunkt, der entweder an einer TVSt oder an einer von dieser abgesetzten Konzentratoreinheit angeordnet ist. Die Dimensionierung des Anschlußnetzes ist, da keine konzentrierenden Vorfeldeinrichtungen betrachtet werden, unabhängig von der Verbindungsnachfrage der einzelnen Teilnehmer. Als wesentlicher Kostentreiber wird die Nachfrage nach Anschlüssen in ihrer räumlichen Verteilung angesehen. Die durchschnittlichen Kosten des Teilnehmeranschlusses in einem Ortsnetz werden wesentlich von der Teilnehmerdichte beeinflußt. Eine hohe Anschlußdichte ermöglicht die Realisierung von Dichtevorteilen vornehmlich im Bereich der Infrastruktur durch gut ausgelastete Kabelkanalanlagen und Gräben sowie durch relativ geringe Anschlußlängen bis zum ersten Konzentrationspunkt. Die präzise Kostenerfassung setzt Wissen um die Verteilung der Anschlüsse im Raum auf stark disaggregiertem Niveau voraus. Zwischen Ortsnetzen mit gleicher durchschnittlicher Anschlußdichte können beträchtliche Kostenunterschiede aufgrund unterschiedlicher Siedlungsmuster, also etwa der stärkeren oder schwächeren Konzentration der Anschlüsse in Ballungszentren, bestehen.

Weitere Einflußfaktoren auf die Kosten des Anschlusses sind Material- und Tiefbaupreise bzw. Installationspreise für verschiedene Arten der Verlegung (sowie deren jeweilige Anteile), die zudem mit der Bodenbeschaffenheit und mit der Art der zu rekonstruierenden Oberfläche variieren können. Hinsichtlich der Tiefbaukosten ist eine Durchschnittsbetrachtung über die zu untersuchenden Ortsnetze angemessen. Das Verfahren der Durchschnittsbildung muß nachvollziehbar gestaltet sein.

Das Anschlußnetz wird horizontal in Verzweiger- und Hauptkabelnetz zerlegt. Das Hauptkabelnetz wird linienseitig mit dem Hauptverteiler abgeschlossen. Die Schnittstelle zwischen Hauptkabelnetz und Verzweigerkabelnetz bildet der Kabelverzweiger (KVz). Das Verzweigerkabelnetz kann weiter in das Verzweigerkabelnetz i.e.S. und das Endkabelnetz zerlegt werden. Schnittstellen sind hier Montagestellen im Verzweigerkabel. In die Kostenermittlung ist darüber hinaus die im Gebäude des Anschlußnehmers verlegte (Inhouse-) Verkabelung (Endstellenkabel) einschließlich der Teilnehmeranschlußeinheit (TAE) einzubeziehen, deren Schnittstelle zum Endkabelnetz durch den Abschlußpunkt des allgemeinen Netzes in der Form des Endverzweigers (EVz) gebildet wird. In die Kostenbetrachtung für die Teilnehmeranschlußleitung sind in Abhängigkeit von der Fragestellung ggf. neben dem Anschlußnetz die Kosten von Komponenten der Vermittlungsstelle einzubeziehen, die Anschlüssen verursachungsgerecht zugerechnet werden können. Hier sind vor allem Teilnehmeranschlußmodule (subscriber line interface modules, "line cards") von Bedeutung.

2.3.2.1 Verzweigerkabelnetz

Das Verzweigerkabelnetz stellt die Verbindung zwischen dem Abschlußpunkt des allgemeinen Netzes im oder am Gebäude des Anschlußnehmers in der Form des EVz mit dem nächsten Schaltpunkt dar, der in ebenerdigen Kabelverzweigern realisiert ist. Die Verkabelung, die innerhalb von Gebäuden die Verbindung zwischen Endverzweiger und TAE herstellt (Endstellenkabel), ist gesondert zu betrachten. Vom Endverzweiger verlaufen Hauszuführungen (im folgenden als Endkabel bezeichnet) zum Verzweigerkabel, das üblicherweise entlang des Straßenverlaufs verlegt ist. Mehrere Endkabel werden in einer Montagestelle (Muffe) zum weiterführenden Verzweigerkabel zusammengefaßt. Die Verzweigerkabel enden im Kabelverzweiger (KVz), wo sie mittels Schaltdraht mit den Adern des Hauptkabels verbunden werden. Jeder Kabelverzweiger definiert einen Verzweigerbereich (VZB). Die Fläche und Anordnung der Verzweigerbereiche wird im Modellrahmen durch die Aufbereitung der Anschlußnachfrage in ihrer geographischen Dimension bestimmt. Die Fläche eines Ortsnetzes wird in quadratische Verzweigerbereiche mit einer Kantenlänge von 600 m zerlegt. In Gebieten hoher Anschlußdichte werden die VZB halbiert (600m x 300m) oder geviertelt (300m x 300m). Die Berechnungsverfahren für die Leiter-, Kabel- und Grabenlängen sind in Kapitel 3 dargestellt.

Kritische Faktoren für die Höhe der Kosten im Verzweigerkabelnetz sind die Art der Kabelverlegung (Erdkabel, Röhrenkabel, Luftkabel), die durchschnittliche Länge der Hauszuführung sowie die Zahl der Anschlüsse, die mit einer Hauszuführung realisiert werden können, und die Art der bei unterirdischer Verlegung zu rekonstruierenden Oberfläche. Alle genannten Parameter können auf der Ebene des untersuchten Ortsnetzes festgelegt und zusätzlich nach der Anschlußdichte im Verzweigerbereich in gegenwärtig drei Klassen, die ländliche, suburbane und urbane Räume repräsentieren, differenziert werden. Schließlich sind die vorgesehenen Reservekapazitäten in Form ungenutzter Doppeladern zu berücksichtigen. Von Bedeutung ist darüber hinaus der Grad der gemeinsamen Nutzung von Hauszuführungen, Gräben und Rohranlagen zwischen Verzweigerkabeln und anderen Kabeln, wie etwa Koax-Kabeln für Kabelfernsehen. Der Modellansatz berücksichtigt die gemeinsame Nutzung der Infrastruktur durch verschiedene Netzelemente oder Netze nicht in expliziter Form, sondern betrachtet die einzelnen Elemente oder Netzabschnitte unabhängig voneinander und von anderen Netzstrukturen. Den Möglichkeiten gemeinsamer Infrastrukturnutzung kann gegenwärtig Rechnung getragen werden durch eine Variation der Preise, z.B. für Tiefbauleistungen.

2.3.2.2 Hauptkabelnetz

Die Verbindung zwischen KVz und Hauptverteiler (HVt) erfolgt über Hauptkabel. Jeder HVt repräsentiert mit dem zugehörigen Haupt- und Verzweigerkabelnetz einen Anschlußbereich. Die wesentlichen Kostenfaktoren entsprechen zunächst mit Ausnahme der Hauszuführungen denen des Verzweigerbereichs. Hinzu kommt, daß die gesamte Länge des Hauptkabelnetzes im Gegensatz zu der des Verzweigernetzes durch die Hauptverteilerstandorte bestimmt wird. Es gilt folglich zu entscheiden, ob die Standorte (und deren Zahl) modellendogen als Resultat von Kostenminimierungsregeln bestimmt werden sollen, oder ob statt dessen existierende Standorte die Referenz der Kostenberechnungen bilden. Bei der Kostenmodellierung können beide Ansätze verfolgt werden. Die in Kapitel 3 beschriebene Modellierung basiert auf vorgegebenen Netzstrukturen und setzt daher voraus, daß die HVt-Standorte in den zu untersuchenden Ortsnetzen bekannt sind und als Grundlage der Längenberechnungen verwendet werden können. Hinsichtlich der gemeinsamen Nutzung der Infrastruktur erlangen im Hauptkabelbereich auch Verbindungskabel Relevanz.

Die Struktur des Hauptkabelnetzes stellt sich im Modellrahmen wie folgt dar: Jeder Anschlußbereich wird in vier Quadranten aufgeteilt, auf deren Winkelhalbierenden jeweils eine Hauptkabeltrasse (der sog. Stamm) verläuft. Auf Höhe der Verzweigerbereiche gehen von der Hauptkabeltrasse Kabel rechtwinkelig ab, die an den Kabelverzweigern enden. Topologisch ergibt sich für das Hauptkabelnetz eine Baumstruktur. Zu den Details der relevanten Längenberechnungen vgl. Abschnitt 3.1.6.

2.3.3 Teilnehmervermittlungsstelle und abgesetzte Konzentratoren

Hauptkabel enden in Aufteilungsgestellen, von denen die einzelnen Doppeladern zum Hauptverteiler geführt werden, der an einer Vermittlungsstelle oder an einem abgesetzten Konzentrator angeordnet ist. Der Hauptverteiler bildet einen Schaltpunkt, an dem die mit Endgeräten verbundenen Doppeladern über Verbindungskabel an Teilnehmeranschlußmodule ("line cards") angeschlossen werden. Die Kosten des Hauptverteilers und der Anschlußmodule können einzelnen Teilnehmern vollständig zugerechnet werden. Teilnehmeranschlußmodule sind mit Teilnehmerleitungseinheiten verbunden, in denen eine Verkehrskonzentration auf 2 Mbit/s-Verbindungen mit je 30 Nutzkanälen zu 64 kbit/s vorgenommen wird. Teilnehmerleitungseinheiten sind aufgrund ihrer Konzentratorkfunktion die aus Teilnehmersicht erste verkehrssensitive Einrichtung des Telefonnetzes. Hauptverteiler und Konzentratoren können an der TVSt oder abgesetzt von dieser lokalisiert sein. Abgesetzte Konzentratoren sind über LWL mit einer zugeordneten TVSt verbunden. Die einheitliche Schnittstelle zum Koppelnetz bilden schließlich Anschlußgruppen. Die Anschlußgruppen sind in jedem Fall am Ort der TVSt lokalisiert.

Das Koppelnetz ermöglicht die Verbindung ein- und ausgehender Kanäle gemäß dem Verbindungswunsch des Anrufenden. Anschlußgruppen bilden wiederum die Schnittstelle zu den 2 Mbit/s-Leitungen des Verbindungsnetzes zwischen Vermittlungsstellen. Die Zahl bzw. Dimensionierung von Konzentratoren, Anschlußgruppen und Koppelnetzbaugruppen erfolgt in Abhängigkeit vom durchzuschaltenden Verkehr in der Hauptverkehrsstunde. Zugrundegelegt wird eine Verlustwahrscheinlichkeit, aufgrund derer die Zahl der benötigten 2 Mbit/s-Verbindungen bei gegebenem Verkehrsangebot mit Hilfe der Erlang-Verlustformel berechnet wird.

Der Verbindungsaufbau erfolgt in der Vermittlungsstelle durch Auswertung von Zeichengabeinformation durch einen oder mehrere Mikroprozessoren einschließlich Steuerungssoftware. Kostentreiber ist hier nicht die erwartete Verbindungsdauer, sondern die erwartete Zahl der zu bearbeitenden Verbindungsversuche, einschließlich der

Verbindungsversuche, die keinen vollständigen Verbindungsaufbau zum gerufenen Teilnehmer nach sich ziehen.

Die gesamten Kosten der Vermittlungseinrichtung werden daher von der Zahl der angeschlossenen Teilnehmer und dem von diesen generierten Verkehr bestimmt. Relevanz haben zudem Kosten der Unterbringung, Klimatisierung, Stromversorgung und der Installationsaufbauten (Doppelböden, Gestellrahmen), die den genannten Kostentreibern weder direkt noch in den meisten Fällen indirekt zugeordnet werden können. Gemeinsam mit der TVSt oder der abgesetzten Konzentratoreinheit sind zudem auch Einrichtungen der Übertragungstechnik untergebracht. Diese Kosten sind daher kein Bestandteil der langfristigen zusätzlichen Kosten der jeweiligen Netzelemente. Dennoch sind sie bei der Festlegung von Nutzungsentgelten in angemessener Weise zu berücksichtigen.

2.3.4 Transport zwischen abgesetztem Konzentrator und Teilnehmervermittlungsstelle

Es wird angenommen, daß abgesetzt von der Vermittlungsstelle lokalisierte Konzentratoreinheiten in einer Sterntopologie an genau eine TVSt angebunden sind. Querwege zwischen abgesetzten Konzentratoren werden nicht berücksichtigt, da an den Konzentratorstandorten keine Vermittlungsfunktionen ausgeführt werden. Folglich wird der gesamte Teilnehmerverkehr über die TVSt geführt. Die Übertragung wird über LWL realisiert. Die Übertragungsrates beträgt 140 Mbit/s. Dies impliziert, daß die elektrischen 2 Mbit/s-Signale in einen 140 Mbit/s-Strom gemultiplext und dann in optische Signale umgewandelt werden. An der Vermittlungsstelle wird der umgekehrte Weg hinunter auf die elektrische 2 Mbit/s-Ebene durchlaufen. Die Festlegung auf eine derartige Übertragung kann bei sehr kleinen Teilnehmerzahlen oder geringen Werten des Teilnehmerverkehrs zu einem geringen effektiven Auslastungsgrad führen. Allerdings können über abgesetzte Konzentratoren durchschnittlich mehrere Tausend Anschlüsse an die TVSt herangeführt werden, so daß in zukunftsgerichteter Perspektive der Glasfasereinsatz zu rechtfertigen ist. Angenommen wird darüber hinaus, daß auch Festverbindungen über das Übertragungssystem geführt werden, wodurch der Bedarf an 2 Mbit/s-Verbindungen erhöht wird. Neben den Endgeräten, also Multiplexern und optischen Leitungsendgeräten, ist der linientechnische Aufbau des Übertragungsweges für die ermittelten Kosten relevant. Es gelten hier hinsichtlich der Tiefbaukosten und einer möglichen Kostenteilung zwischen Netzelementen dieselben Aussagen wie für die verschiedenen Abschnitte des Anschlußnetzes.

2.3.5 Vermittelter Transport zwischen Teilnehmervermittlungsstellen eines Ortsnetzes

In Ortsnetzen mit mehr als einer Vermittlungsstelle ist das Verbindungsnetz in die Kostenbetrachtung einzubeziehen. Die Relevanz für Kosten von Zusammenschaltungsleistungen ergibt sich, wenn die Übergabe aus dem Netz eines Wettbewerbers nicht an der Teilnehmervermittlungsstelle des rufenden/gerufenen Teilnehmers, sondern an einer Vermittlungsstelle einer höheren Hierarchieebene erfolgt, so daß innerhalb des Ortsnetzes ggf. noch Übertragungswege in Anspruch genommen werden. Für den Teilnehmerverkehr, der innerhalb des Ortsnetzes verbleibt, wird die Kostenermittlung wie folgt vorgenommen: Angenommen wird, daß die TVSt eines Ortsnetzes sowohl auf der Ebene der 2 Mbit/s-Verbindungen, wie auch auf der Ebene der Kabel, der Übertragungssysteme und auf der Infrastrukturebene voll vermascht sind. Die Verkehrsmengen auf den Verbindungen werden berechnet, indem zunächst der gehende Verkehr jeder TVSt um den Anteil reduziert wird, der als Fernverkehr zu klassifizieren

ist. Dieser Anteil wird auf der Ebene des Ortsnetzes festgelegt. Der im Ortsnetz verbleibende Verkehr wird auf die TVSt nach ihrem relativen Gewicht am gesamten Teilnehmerverkehr verteilt. Ein Teil des Verkehrs verbleibt folglich im Bereich der Vermittlungsstelle des rufenden Teilnehmers. Die Zahl der 2 Mbit/s-Verbindungen zwischen zwei Vermittlungsstellen wird nach dem gesamten abgewickelten Verkehr zuzüglich eines Anteils von Festverbindungen errechnet, wobei sich aufgrund der Annahmen an die Verkehrsverteilung stets eine Symmetrie des kommenden und gehenden Verkehrs zwischen zwei Vermittlungsstellen ergibt. Darüber hinaus kann die Möglichkeit der alternativen Verkehrsführung bei Ausfall eines Direktweges durch entsprechende Anhebung der Zahl der notwendigen 2 Mbit/s-Verbindungen zwischen zwei Punkten in ihren Auswirkungen auf die Kosten der Leistungsbereitstellung berücksichtigt werden. Dies führt im Ergebnis zu einer Herabsetzung des effektiven Beschaltungsgrades der Übertragungseinrichtungen.

Bei einer hohen Zahl von TVSt innerhalb eines Ortsnetzes kann die Annahme der Vollvermaschung zu einer Überschätzung der Kosten der effizienten Leistungsbereitstellung führen, da eine physikalische Direktverbindung zwischen allen TVSt-Standorten selbst bei hohen Anforderungen an Ausfallsicherheit möglicherweise nicht zu rechtfertigen ist. Wie hoch diese Überschätzung im Einzelfall ausfällt, ist schwierig zu ermitteln. Kritische Ortsnetzgrößen werden ab 4 bis 5 Vermittlungsstellen erreicht. Diese Zahl wird in einer Reihe von großen Ortsnetzen ohne Zweifel realisiert werden. Hier werden die Infrastrukturinvestitionen sowie die Investitionen in übertragungstechnische Einrichtungen gegebenenfalls in geeigneter Weise zu reduzieren sein, um die gemeinsame Nutzung von Übertragungssystemen und Infrastruktur durch mehrere logische Verbindungen zu erfassen.

2.3.6 Vermittelter Transport zwischen Teilnehmervermittlungsstelle und Ortsnetzgrenze

Da in dem hier vorgestellten Modellierungsansatz nur Netzelemente des Ortsnetzes erfaßt werden, ist die Grenze zu der darüberliegenden Ebene des Fernnetzes in geeigneter Weise zu definieren. Es wird angenommen, daß gehender und kommender Fernverkehr innerhalb des Ortsnetzes mit dem Ortsverkehr in gemeinsamen Übertragungssystemen geführt wird. Die Schnittstelle zum Fernnetz ist entweder eine Vermittlungsstelle mit Fernvermittlungsfunktion, die mit einer TVSt kolloziert ist, oder aber eine ebenfalls kollozierte übertragungstechnische Baugruppe, die den Abschluß einer Übertragungsstrecke zu einer Fernvermittlungsstelle repräsentiert. Erfasst werden hier lediglich die Kosten des Transportes im Ortsnetz. Unter der Annahme einer kollozierten Fernvermittlungsstelle entsprechen diese Kosten den Kosten des Übertragungssegmentes zwischen Fern- und Teilnehmervermittlungsstelle.

3 Die Logik der Kostenermittlung

In diesem Abschnitt wird die Kostenermittlung für Netzelemente des Ortsnetzes in detaillierter Form dargelegt. Besonderer Wert wurde darauf gelegt, die verschiedenen Rechnungsschritte in einer möglichst allgemeinen Form, d.h. unabhängig von der konkreten Realisierung des Modells als Computerprogramm oder Tabellenkalkulationsblatt, darzustellen. Die bei der Erarbeitung des Modells eingenommene Position ist die eines externen Beobachters, aus der heraus die wesentlichen, für die Kosten von Ortsnetzen relevanten Beziehungen zwischen Input- und Outputgrößen entwickelt werden. Dies geschieht auf der Basis einer allgemein zugänglichen ökonomischen und technischen Wissensbasis und, soweit dies möglich ist, auf der Basis allgemein zugänglicher Daten. Durch diesen Ansatz wird es möglich, Modellrechnungen vorzunehmen, ohne daß dazu unternehmensspezifische Angaben unabdingbar wären. Dort wo Informationen von Unternehmen, die von Regulierungsentscheidungen betroffen sind, vorgelegt werden, können diese, sofern dies sinnvoll erscheint, in die Modellierung integriert werden bzw. als Eingabewert in die Berechnungen eingehen.

3.1 Vorarbeiten zur Bestimmung des Investitionsvolumens

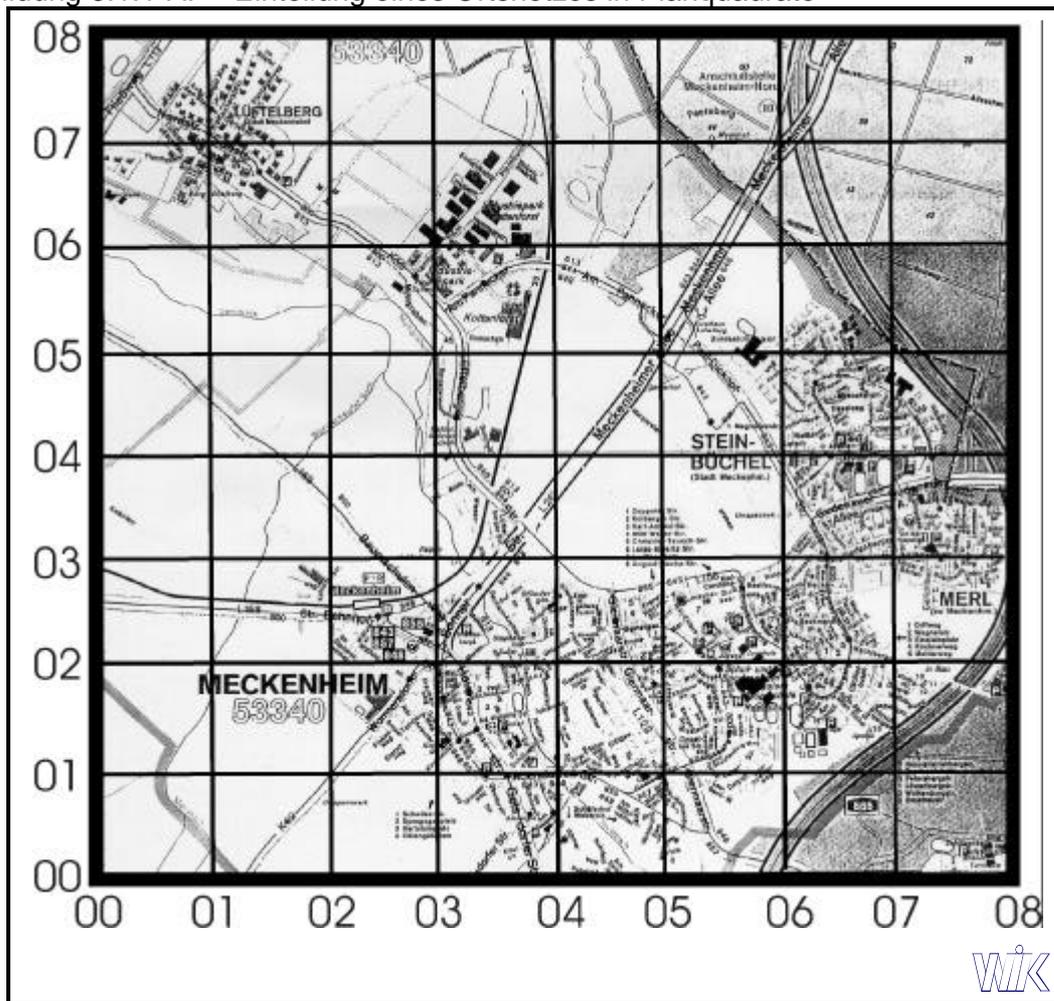
Die Berechnungen der Netzelementkosten beginnen mit einer Reihe von Arbeitsschritten, die der besseren Übersicht halber separat dargestellt werden. In diesen Schritten werden etwa Zuordnungen von Anschlüssen zu Verzweigerbereichen, Hauptkabelabschnitten, Hauptverteilern und Vermittlungseinrichtungen getroffen. Weiterhin werden die 2 Mbit/s-Äquivalente für die Übertragungstrecken im Ortsnetz festgelegt und die Ermittlung der Kapital- und Betriebskostenfaktoren dargestellt. Es handelt sich hier im einzelnen um

- die Einteilung der Ortsnetzfläche in Verzweigerbereiche (VZB) (Abschnitt 3.1.1),
- die Ermittlung der Nachfrage nach Teilnehmeranschlüssen in den einzelnen Verzweigerbereichen (Abschnitt 3.1.2),
- die Einteilung der Verzweigerbereiche in verschiedene Typklassen (Abschnitt 3.1.3),
- die Zuordnung der Verzweigerbereiche zu Hauptverteilerstandorten zur Festlegung der Anschlußbereiche (ASB) (Abschnitt 3.1.4),
- die Zuordnung der Verzweigerbereiche eines ASB zu Hauptkabelbereichen (Quadranten) (Abschnitt 3.1.5),
- die Längenberechnung für Haupt- und Verzweigerkabel (Abschnitt 3.1.6),
- die Ermittlung der zu verwendenden Doppeladerdurchmesser im Anschlußnetz (Abschnitt 3.1.7),
- die Ermittlung der Doppeladeranzahl in verschiedenen Netzabschnitten (Abschnitt 3.1.8),
- die Ermittlung der Verkehrsmenge für Anschlußbereiche (Abschnitt 3.1.9),
- die Ermittlung der Verkehrsbeziehungen zwischen Netzknoten im Ortsnetz (Abschnitt 3.1.10),
- die Ermittlung der Zahl der DSV2 auf den Übertragungswegen des Ortsnetzes (Abschnitt 3.1.11),
- die Ermittlung der Verbindungskabellänge (Abschnitt 3.1.12)
- und schließlich um die Ermittlung der Kapital- und Betriebskostenfaktoren (Abschnitt 3.1.13).

3.1.1 Einteilung der Ortsnetzfläche in Verzweigerbereiche

Grundlage der Kostenberechnung sind einzelne Ortsnetze. Hierbei können die geographischen Netzgrenzen eines Ortsnetzbetreibers oder andere Abgrenzungen, z.B. auf der Basis von Gemeindegrenzen, zugrundegelegt werden. Über die gesamte Fläche des Ortsnetzes wird ein Raster mit der Kantenlänge 600m x 600m gelegt. Jedes Planquadrat repräsentiert einen möglichen Verzweigerbereich. Die untere linke Ecke des Rasters wird als Koordinatenursprung interpretiert, so daß jeder Punkt des Ortsnetzes durch seinen horizontalen und seinen vertikalen Abstand zum Ursprung beschrieben werden kann. In Abbildung 3.1.1-A ist ein solches Raster schematisch dargestellt.

Abbildung 3.1.1-A: Einteilung eines Ortsnetzes in Planquadrate



3.1.2 Ermittlung der Nachfrage nach Teilnehmeranschlüssen in den einzelnen Verzweigerbereichen

Die Anschlußnachfrage wird mit Hilfe von bevölkerungsstatistischen Daten zur Zahl von privaten Haushalten in der Abgrenzungseinheit der Wohnplätze ermittelt. Wohnplätze entsprechen dabei in etwa Stadtteilen bzw. Stadtvierteln.¹⁰ Diese Stadtteile werden auf dem Ortsnetzplan identifiziert. Anschließend werden die bebauten Planquadrate jedes Stadtteils ermittelt. Die Zahl der Privathaushalte pro Stadtteil wird zu gleichen Anteilen auf die als bewohnt gekennzeichneten Quadrate verteilt. Es wird angenommen, daß die Nachfrage nach privaten Telefonanschlüssen der Zahl der Privathaushalte entspricht (vgl. Abb. 3.1.2-A).

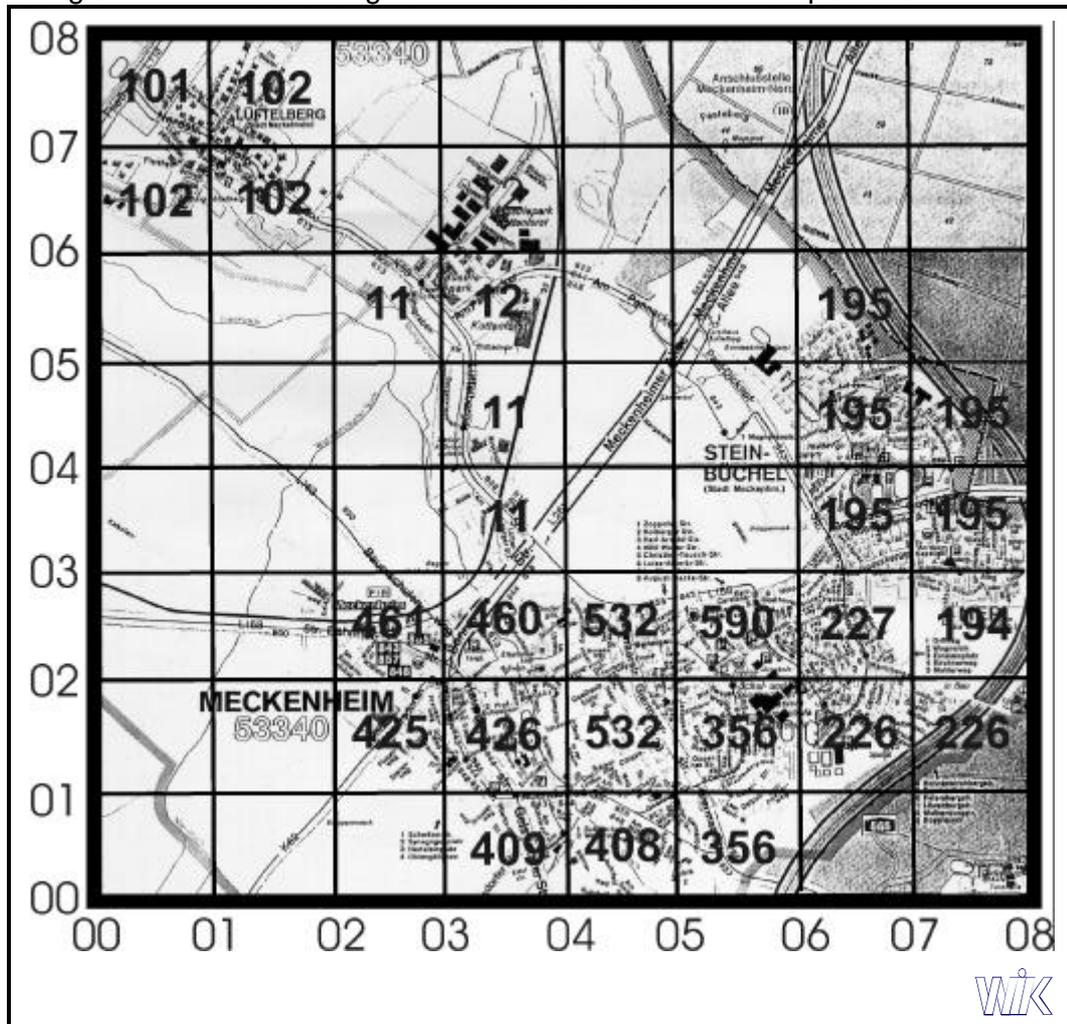
¹⁰ Diese Daten liegen dem WIK derzeit für das Bundesland Nordrhein-Westfalen vor.

Tabelle 3.1.2-a: Auszug aus der Wohnplatzstatistik

| Verwaltungsbezirk | Privathaushalte |
|--------------------------------|-----------------|
| Meckenheim, Stadt | 7.267 |
| Lüftelberg | 407 |
| Merl-Steinbüchel | 1.169 |
| Alt Merl-Lehmwiese | 679 |
| Meckenheim-Stadtkern | 590 |
| Meckenheim-Südwest | 851 |
| Meckenheim-Süd | 817 |
| Meckenheim-Giermaarstr./Dechan | 1.064 |
| Meckenheim-Neue Mitte | 921 |
| Meckenheim-Mitte Ost | 712 |
| Meckenheim-Industriegebiet | 57 |

wik

Abbildung 3.1.2-A: Zuordnung von Privatanschlüssen zu Planquadraten



Die gesamte Anzahl der Anschlüsse pro Planquadrat wird durch Addition der Anzahl von Privatkunden und der Anzahl der Geschäftskunden ermittelt.

Die Anzahl der Geschäftskunden wird in Abhängigkeit von der Anzahl der Privatkunden mit Hilfe eines nutzerdefinierten Faktors geschätzt. Als Arbeitshypothese wird derzeit von einem Geschäftskundenfaktor von 10 % für Planquadrate mit weniger als 250 Privatanschlüssen und 30 % für Planquadrate mit 250 bis 500 Privatanschlüssen ausgegangen. Bei weiter steigender Dichte der Privatanschlüsse wird ein weiterer Anstieg des Geschäftskundenfaktors für möglich gehalten. Um jedoch insbesondere in Gebieten mit hoher Wohnbevölkerungsdichte die Zahl der geschäftlich genutzten Anschlüsse nicht zu überschätzen, wird ihre Zahl auf 250 für Planquadrate mit mehr als 500 Privatanschlüssen festgelegt. Es ergibt sich:

$$Asl_PQ = PK_PQ + GK_PQ$$

$$GK_PQ = \begin{cases} PK_PQ \cdot GKFkt & \text{für } PK_PQ < 500 \\ 250 & \text{für } PK_PQ \geq 500 \end{cases} \quad (3.1.2-1)$$

$$GKFkt = \begin{cases} 0,1 & \text{für } 0 \leq PK_PQ < 250 \\ 0,3 & \text{für } 250 \leq PK_PQ < 500 \end{cases}$$

mit:

Asl_PQ = Anzahl der Teilnehmeranschlüsse in einem Planquadrat

PK_PQ = Anzahl der Privatkundenanschlüsse in einem Planquadrat

GK_PQ = Anzahl der Geschäftskundenanschlüsse in einem Planquadrat

GKFkt = Geschäftskundenfaktor

Die Festlegung der Aufschlagsfaktoren dient dazu, eine plausible Verteilung der Telefonanschlüsse in der Fläche zu ermitteln. Die Anschlußzahl des betrachteten Ortsnetzes ergibt sich durch Aufsummierung der Werte aller Planquadrate. Falls Netzbetreiberangaben in gleicher disaggregierter Form vorliegen, so können diese übernommen werden. Sind lediglich die Anschlußzahlen für das gesamte Ortsnetz verfügbar, so können entsprechend Anpassungen vorgenommen werden, indem die zunächst angenommenen Nachfragedaten der Planquadrate linear angehoben oder abgesenkt werden. Dies impliziert, daß die angenommene Verteilung der Anschlüsse in der Fläche beibehalten wird.

Ein Planquadrat repräsentiert in den weiteren Berechnungen einen Verzweigerbereich, falls die ermittelte Anschlußdichte einen bestimmten Schwellenwert nicht übersteigt. Dieser Wert ist derzeit auf 600 Anschlüsse pro Verzweigerbereich festgelegt. Werden einem Planquadrat mehr als 600 Anschlüsse zugewiesen, so wird es in zwei Verzweigerbereiche geteilt. Liegt die Zahl der Anschlüsse pro VZB weiter über 600, so wird eine weitere Teilung vorgenommen, so daß Planquadrate mit einer ermittelten Teilnehmerzahl von mehr als 1200 in vier Verzweigerbereiche mit Kantenlängen von 300m x 300m unterteilt werden.

3.1.3 Einteilung der Verzweigerbereiche in Typklassen

In einem nächsten Schritt werden den Verzweigerbereichen Typklassen zugeordnet, die es ermöglichen, die Ausprägung einer Reihe von Inputparametern nach diesen Klassen zu differenzieren.¹¹ Die Typklasseneinteilung orientiert sich an der Anschlußdichte in dem Planquadrat, dem die VZB entsprechen bzw. in welchem die VZB angeordnet sind. Es wird zwischen drei Typen differenziert:

¹¹ Der Wert der Typvariablen hat z.B. Auswirkungen auf die Art der Kabelverlegung, Reservefaktoren sowie auf Parameter des Endkabelabschnitts.

$$VZB - Typ = \begin{bmatrix} 1 & \text{für } Asl_PQ \geq 600 \text{ (urban)} \\ 2 & \text{für } 200 \leq Asl_PQ < 600 \text{ (suburban)} \\ 3 & \text{für } Asl_PQ < 200 \text{ (ländlich)} \end{bmatrix} \quad (3.1.3-1)$$

mit:

VZB-Typ = Typklasse des Verzweigerbereichs

Asl_PQ = Anzahl der Teilnehmeranschlüsse in einem Planquadrat

3.1.4 Zuordnung der Verzweigerbereiche zu Anschlußbereichen

Nach der Teilung von Planquadraten hoher Anschlußdichte wird das Ortsnetz in Anschlußbereiche eingeteilt. Jeder Anschlußbereich ist definiert durch das Vorhandensein eines Hauptverteilers (HVt), der entweder direkt an einer Vermittlungsstelle oder an einer abgesetzten Konzentratoreinheit angeordnet ist.¹² In der Regel unterteilt sich ein Ortsnetz in mehrere Anschlußbereiche. Die Zuordnung der Verzweigerbereiche zu Anschlußbereichen (d.h. zu HVt) kann vorgegeben werden. Wird keine Vorgabe gemacht, so wird jeder Verzweigerbereich dem nächstliegenden HVt-Standort zugeordnet. Dabei sind die orthogonalen Abstände zwischen Schwerpunkt des VZB und HVt-Standort maßgebend. Dadurch wird sichergestellt, daß jeder VZB demjenigen HVt zugeordnet wird, bei dem die Entfernung in Kabelmetern bei der unterstellten Topologie des Anschlußbereichs minimiert wird (siehe Abschnitt 3.1.5). Die Koordinaten des Schwerpunkts eines bestimmten Verzweigerbereichs ergeben sich zunächst als:

$$SX = \frac{X_{or} + X_{ul}}{2} \quad (3.1.4-1)$$

$$SY = \frac{Y_{or} + Y_{ul}}{2}$$

mit:

SX = X-Koordinate des Schwerpunktes eines Verzweigerbereichs

SY = Y-Koordinate des Schwerpunktes eines Verzweigerbereichs

X_{ul} = X-Koordinate der unteren, linken Ecke eines Verzweigerbereichs

Y_{ul} = Y-Koordinate der unteren, linken Ecke eines Verzweigerbereichs

X_{or} = X-Koordinate der oberen, rechten Ecke eines Verzweigerbereichs

Y_{or} = Y-Koordinate der oberen, rechten Ecke eines Verzweigerbereichs

Die Zuordnung eines Verzweigerbereichs zu einem Hauptverteiler und somit zugleich zu einem Anschlußbereich ergibt sich als:

$$VZB \in ASB_i, \text{ wenn gilt: } HVt_i \left(\min \left[|X_i - SX| + |Y_i - SY| \right] \Big|_{i=1}^n \right) \quad (3.1.4-2)$$

mit:

VZB = Verzweigerbereich

ASB_i = Anschlußbereich i

HVt_i = Hauptverteiler im ASB i

i = Index des Anschlußbereichs, mit i = {1...n}

X_i = X-Koordinate des Hauptverteilers

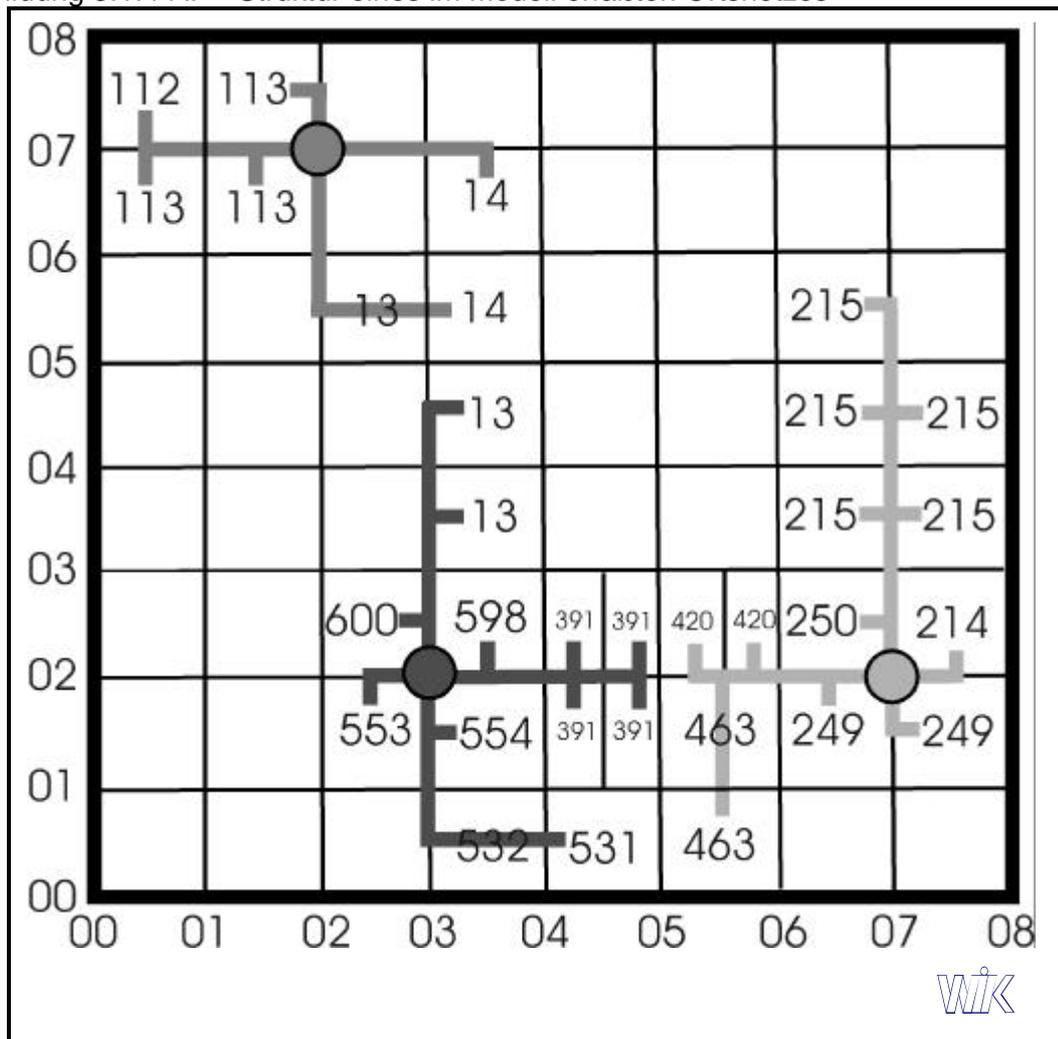
Y_i = Y-Koordinate des Hauptverteilers

¹² Die HVt-Standorte sind, falls - wie hier vorausgesetzt - die Netzstruktur eines Betreibers als Berechnungsgrundlage dienen soll, von diesem anzugeben.

Somit sind die Anschlußbereiche abgegrenzt und jeder VZB ist jeweils genau einem Anschlußbereich zugeordnet.

In Abbildung 3.1.4-A ist die modellseitige Umsetzung der vorangegangenen Schritte visualisiert. Es ist die Zuordnung der VZB zu Anschlußbereichen (siehe Abschnitt 3.1.4) und Hauptkabelabschnitten (siehe Abschnitt 3.1.5) sowie die Halbierung dicht besetzter VZB (siehe Abschnitt 3.1.2) zu erkennen.

Abbildung 3.1.4-A: Struktur eines im Modell erfaßten Ortsnetzes



3.1.5 Zuordnung von Verzweigerbereichen zu Hauptkabelabschnitten

Hinsichtlich der Topologie des Hauptkabelnetzes wird folgende Annahme getroffen: Der gesamte Anschlußbereich wird ausgehend vom HVt in 4 Hauptkabelabschnitte in Form von Quadranten aufgeteilt. Die Zuordnung der Verzweigerbereiche zu den Quadranten erfolgt wie nachstehend beschrieben: Verzweigerbereiche werden stets dem Quadranten zugeordnet, in dem der Schwerpunkt (SX,SY) des Verzweigerbereichs liegt. Liegt der Schwerpunkt eines Verzweigerbereichs genau auf der Quadrantengrenze, so wird dieser dem im Uhrzeigersinn nächstliegenden Quadranten zugeordnet. Es ergibt sich:

$$j = \begin{cases} 1 & \text{für } SY > SX + (Y_i - X_i) \text{ und } SY \geq -SX + (Y_i + X_i) \\ 2 & \text{für } SY \leq SX + (Y_i - X_i) \text{ und } SY > -SX + (Y_i + X_i) \\ 3 & \text{für } SY < SX + (Y_i - X_i) \text{ und } SY \leq -SX + (Y_i + X_i) \\ 4 & \text{für } SY \geq SX + (Y_i - X_i) \text{ und } SY < -SX + (Y_i + X_i) \end{cases} \quad (3.1.5-1)$$

mit:

j = Index des Quadranten, mit $j = \{1...4\}$

SX = X-Koordinate des Schwerpunktes eines Verzweigerbereichs

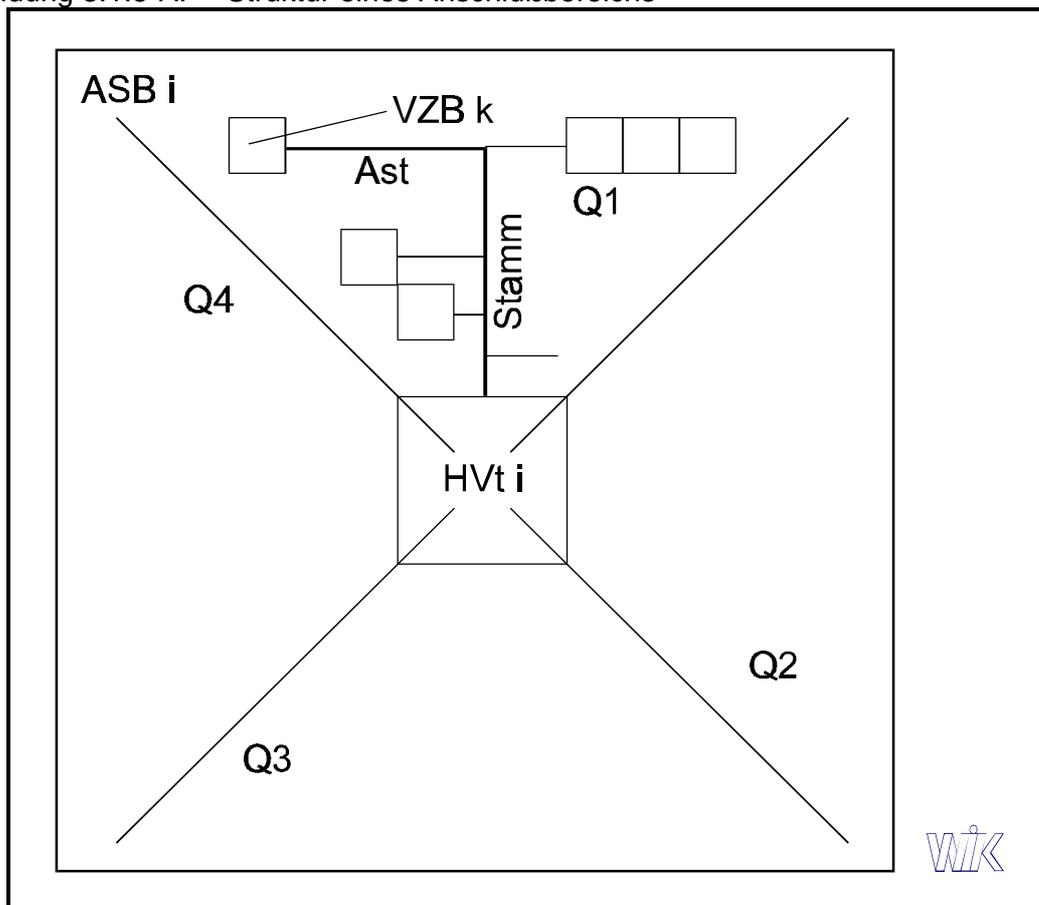
SY = Y-Koordinate des Schwerpunktes eines Verzweigerbereichs

X_i = X-Koordinate des Hauptverteilers

Y_i = Y-Koordinate des Hauptverteilers

Hinsichtlich der Anschlußnetztopologie wird angenommen, daß auf den Winkelhalbierenden der Quadranten in die vier Himmelsrichtungen jeweils eine Hauptkabeltrasse verläuft, die als (Hauptkabel-) Stamm bezeichnet wird. Vom Stamm aus werden die einzelnen Verzweigerbereiche des jeweiligen Quadranten durch rechtwinklig abgehende Hauptkabeltrassen, die sogenannten (Hauptkabel-) Äste, an den Stamm angebunden. Jeder Ast endet am Kabelverzweiger (KVz) des zu versorgenden Anschlußbereichs. Der Kabelverzweiger repräsentiert einen Schaltpunkt und trennt das Hauptkabelnetz vom Verzweigerkabelnetz. Die stilisierte Struktur eines ASB wird in der folgenden Abbildung 3.1.5-A dargestellt.

Abbildung 3.1.5-A: Struktur eines Anschlußbereichs



Jeder Verzweigerbereich ist folglich durch die Zuordnung zu einem Anschlußbereich, zu einem Quadranten des Anschlußbereiches und seinen laufenden Index innerhalb

des Quadranten definiert. Die im folgenden verwendeten Indexierungen lauten wie folgt:

ASB_i = Anschlußbereich i , mit $i = \{1...n\}$

HVt_i = Hauptverteiler im ASB_i , mit $i = \{1...n\}$

Q_{ij} = Quadrant j im ASB_i , mit $j = \{1...4\}$

VZB_{ijk} = Verzweigerbereich k im Q_j des ASB_i , mit $k = \{1...m_{ij}\}$

k = Index des Verzweigerbereichs, mit $k = \{1...m_{ij}\}$

3.1.6 Längenberechnung für Haupt- und Verzweigerkabelnetz

Nach Zuordnung der Verzweigerbereiche zu den Quadranten können die Koordinaten der Kabelverzweiger berechnet werden. Diese sind determiniert durch die Lage des Verzweigerbereichs relativ zum zugeordneten Hauptverteiler. Der Kabelverzweiger befindet sich gemäß den hier zugrundegelegten Annahmen grundsätzlich auf der Mitte der dem Hauptkabelstamm näherliegenden und zu diesem parallel verlaufenden Verzweigerbereichskante.

Die Koordinaten der Kabelverzweiger (X_{ijk}, Y_{ijk}) ergeben sich folglich als:

$$X_{ijk} = \begin{cases} SX_{ijk} & \text{für } j = 2 \text{ oder } j = 4 \\ X_{or_{ijk}} & \text{für } (j = 1 \text{ oder } j = 3) \text{ und } SX_{ijk} < X_i \\ X_{ul_{ijk}} & \text{für } (j = 1 \text{ oder } j = 3) \text{ und } SX_{ijk} > X_i \end{cases} \quad (3.1.6-1)$$

$$Y_{ijk} = \begin{cases} SY_{ijk} & \text{für } j = 1 \text{ oder } j = 3 \\ Y_{or_{ijk}} & \text{für } (j = 2 \text{ oder } j = 4) \text{ und } SY_{ijk} < Y_i \\ Y_{ul_{ijk}} & \text{für } (j = 2 \text{ oder } j = 4) \text{ und } SY_{ijk} > Y_i \end{cases}$$

mit:

X_{ijk} = X-Koordinate des Kabelverzweigers des VZB_{ijk}

Y_{ijk} = Y-Koordinate des Kabelverzweigers des VZB_{ijk}

3.1.6.1 Längenberechnungen für das Hauptkabelnetz

Anhand der Koordinaten der Kabelverzweiger werden für jeden Quadranten eines Anschlußbereichs die Trassenlänge des Hauptkabelstammes sowie für jeden einzelnen Verzweigerbereich die Trassenlänge des Hauptkabelastes berechnet. Die Länge der Trasse des Hauptkabelstammes eines jeden Quadranten hängt ab von den Abständen der Verzweigerbereiche zum Hauptverteiler des Anschlußbereichs. Da angenommen wird, daß die Hauptkabel eines Quadranten im Hauptkabelstamm über eine gemeinsame Trasse geführt werden, wird deren Länge bestimmt durch denjenigen Verzweigerbereich, zu dessen Anschluß im Abschnitt des Hauptkabelstammes die maximale Trassenlänge erforderlich ist.

$$LS_{ij} = \max(LS_{ijk}) \Big|_{k=1}^{m_{ij}} \quad (3.1.6-2)$$

wobei gilt:

$$LS_{ijk} = \begin{cases} |Y_i - Y_{ijk}| & \text{für } j = 1 \text{ oder } 3 \\ |X_i - X_{ijk}| & \text{für } j = 2 \text{ oder } 4 \end{cases} \quad (3.1.6-3)$$

mit:

LS = Länge der Anschlußleitung im Hauptkabelstamm

Die Länge der Hauptkabeläste für jeden einzelnen Verzweigerbereich ergibt sich schließlich gemäß der Formel:

$$LA_{ijk} = \begin{cases} |X_i - X_{ijk}| & \text{für } j = 1 \text{ oder } 3 \\ |Y_i - Y_{ijk}| & \text{für } j = 2 \text{ oder } 4 \end{cases} \quad (3.1.6-4)$$

mit:

LA = Länge der Anschlußleitung im Hauptkabelast

Die Trassenlängen im Hauptkabelabschnitt bilden die Grundlage für die Ermittlung der Tiefbaukosten sowie für die Ermittlung der Kabel- und Leiterlängen.

3.1.6.2 Längenberechnungen für das Verzweigerkabelnetz

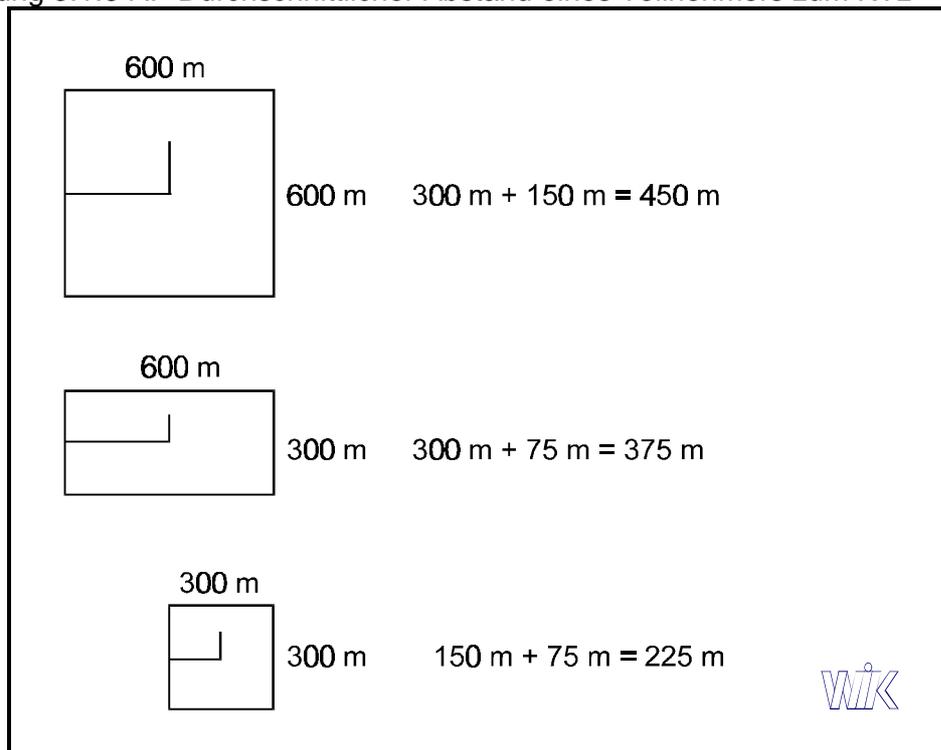
Während aufgrund statistischer Daten und entsprechenden Kartenmaterials die Lage einzelner Verzweigerbereiche im Ortsnetz festgelegt werden kann, liegen keine weitergehenden Daten vor, die über die Verteilung der Telefonanschlüsse in den Verzweigerbereichen Aufschluß geben könnten. Daher erfolgt die Berechnung der relevanten Distanzen im Verzweigerbereich in vereinfachter Form, bei der eine Gleichverteilung der Anschlüsse im VZB angenommen wird. Ermittelt wird der orthogonale Abstand eines durchschnittlichen Teilnehmers zum KVz. Dieser bestimmt sich wie folgt:

$$\frac{|x_{or} - x_{ul}|}{2} + \frac{|y_{or} - y_{ul}|}{4} \quad \text{für } j = 1 \text{ oder } 3$$

$$\frac{|y_{or} - y_{ul}|}{2} + \frac{|x_{or} - x_{ul}|}{4} \quad \text{für } j = 2 \text{ oder } 4 \quad (3.1.6-5)$$

Zur Veranschaulichung dieser Rechnung dient die folgende Abbildung 3.1.6-A.

Abbildung 3.1.6-A: Durchschnittlicher Abstand eines Teilnehmers zum KVz



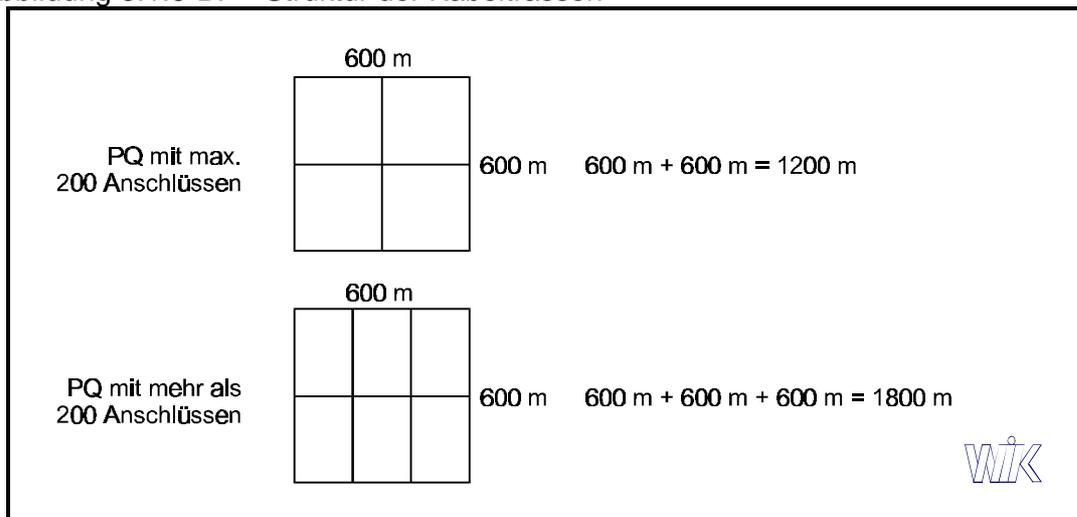
Die durchschnittliche Entfernung eines Teilnehmers zum KVz entspricht zugleich der durchschnittlichen Länge einer Doppelader im Verzweigerkabel:

$$LLVZB_{ijk} = \begin{cases} | 0,450 & \text{für } X_{or_{ijk}} - X_{ul_{ijk}} = 0,600 \text{ und } Y_{or_{ijk}} - Y_{ul_{ijk}} = 0,600 \\ | 0,375 & \text{für } X_{or_{ijk}} - X_{ul_{ijk}} = 0,300 \text{ und } Y_{or_{ijk}} - Y_{ul_{ijk}} = 0,600 \\ | 0,375 & \text{für } X_{or_{ijk}} - X_{ul_{ijk}} = 0,600 \text{ und } Y_{or_{ijk}} - Y_{ul_{ijk}} = 0,300 \\ | 0,225 & \text{für } X_{or_{ijk}} - X_{ul_{ijk}} = 0,300 \text{ und } Y_{or_{ijk}} - Y_{ul_{ijk}} = 0,300 \end{cases} \quad (3.1.6-6)$$

LLVZB = Länge der Anschlußleitung im Verzweigerbereich

Die Länge der in einem Verzweigerbereich benötigten Kabeltrassen hängt in erster Linie von der Größe des Verzweigerbereichs ab. Es wird angenommen, daß das Verzweigerkabelnetz in einer dem Hauptkabelnetz vergleichbaren Topologie aufgebaut ist. Ausgehend von einem Kabelstamm laufen Kabeläste parallel zu Straßen rechtwinklig zum Rand des Verzweigerbereichs. Der Abstand der Abzweigungen korrespondiert mit dem durchschnittlichen Abstand zwischen zwei Straßeneinmündungen. Das Verzweigerkabelnetz hat bezogen auf ein Planquadrat grundsätzlich die gleiche Länge. Da Planquadrate mit Anschlußdichten über 600 Anschlüssen in kleinere VZB aufgeteilt werden, wird aus diesem Grund die Länge des Verzweigerkabelnetzes ebenfalls halbiert oder geviertelt. Eine Ausnahme ist für Planquadrate mit geringer Anschlußdichte vorgesehen, in denen ein ausgedünntes Verzweigerkabelnetz unterstellt wird (siehe Abbildung 3.1.6-B). Eine differenziertere Modellierung des Verzweigerkabelnetzes setzt das Vorhandensein von detaillierten Daten zur Besiedlungsstruktur voraus.

Abbildung 3.1.6-B: Struktur der Kabeltrassen



Die gesamte Trassenlänge ergibt sich folglich als:

$$LG_{ijk} = \begin{cases} 1,200 & \text{für } 0 \leq Asl_PQ < 200 \\ 1,800 & \text{für } 200 \leq Asl_PQ < 600 \\ 0,900 & \text{für } 600 \leq Asl_PQ < 1200 \\ 0,450 & \text{für } Asl_PQ \geq 1200 \end{cases} \quad (3.1.6-7)$$

mit:

Asl_PQ = Anzahl der Teilnehmeranschlüsse in einem Planquadrat

LG_{ijk} = Trassenlänge im Verzweigerbereich

3.1.7 Ermittlung der notwendigen Durchmesser für Kupferdoppeladern

Da der Kupferpreis einen bedeutenden Kostenfaktor für Telekommunikationskabel darstellt, ist aus ökonomischen Gesichtspunkten die Verwendung möglichst geringer Leiterdurchmesser anzustreben. Der Widerstand eines Leiters steigt mit der Länge des Leiters. Für Telekommunikationsanwendungen darf ein bestimmter Gesamtleiterwiderstand nicht überschritten werden. Ab einer bestimmten Länge der Anschlußleitung ist diese daher teilweise oder vollständig mit Leitern größeren Durchmessers auszubauen. Zur Verfügung stehen Leiter mit den Durchmessern $l = 0,40$ mm, $l = 0,60$ mm und $l = 0,80$ mm. Für jede Anschlußleitungslänge sind die Anteile der einzusetzenden Kabeltypen zu ermitteln. Maßgeblich ist dabei die gesamte Leiterlänge vom Hauptverteiler bis zur Lokation des Kunden im Verzweigerbereich. Angenommen wird, daß der Leiter am HVt stets mit dem jeweils geringeren Leiterdurchmesser beginnt. Weiterhin wird angenommen, daß innerhalb des Verzweigerkabels kein Übergang zwischen Durchmessern stattfindet, auch wenn dieser rechnerisch dort lokalisiert werden könnte. Der Übergangspunkt liegt in diesen Fällen im Kabelverzweiger.

Die nachstehenden Formeln wurden unter Zugrundelegung von Angaben aus dem "Lehrbuch der Fernmeldetechnik" entwickelt.¹³

¹³ Bergmann, K. (Begr.) und Slabon, R.W. (Hrsg.): Lehrbuch der Fernmeldetechnik, 5.A., Berlin 1986. Falls vom Netzbetreiber andere Kabeltypen eingesetzt werden, so sind die Berechnungen ggf. entsprechend zu modifizieren.

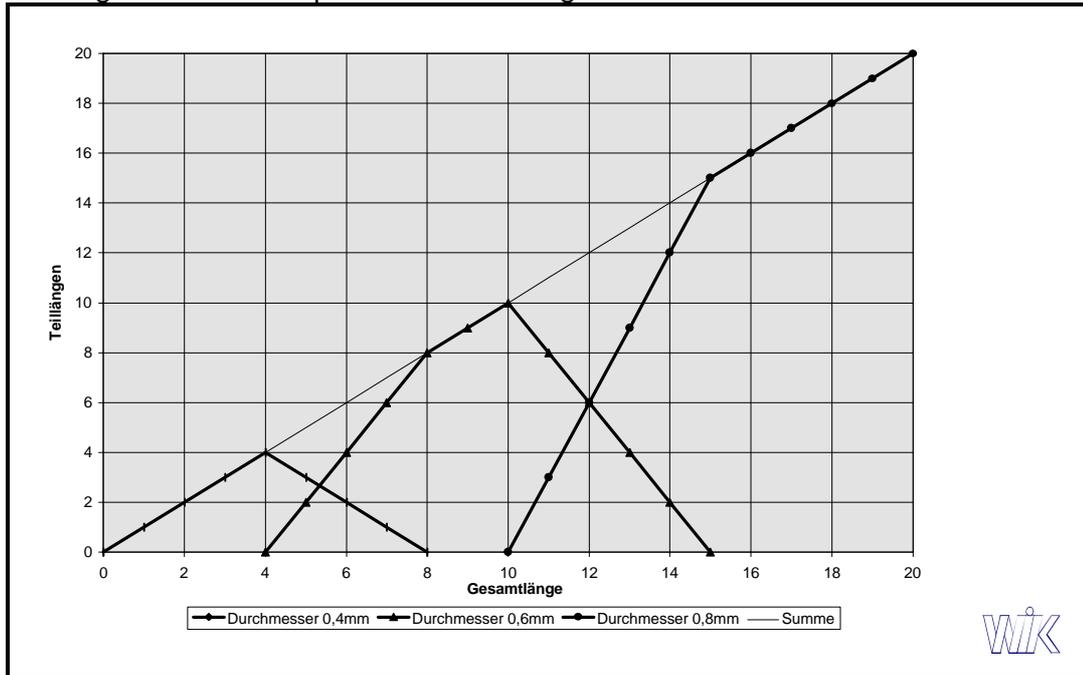
Die gesamte Länge der Teilnehmeranschlußleitung zu einem durchschnittlichen Kunden eines VZB_{ijk} ergibt sich als:

$$LL_{ijk} = LS_{ijk} + LA_{ijk} + LLVZB_{ijk} \quad (3.1.7-1)$$

mit:

LL = Gesamtlänge der Anschlußleitung
 LS = Länge der Anschlußleitung im Hautkabelstamm
 LA = Länge der Anschlußleitung im Hauptkabelast
 $LLVZB$ = Länge der Anschlußleitung im Verzweigerbereich

Abbildung 3.1.7-A: Graphische Darstellung der zu verwendenden Leiterdurchmesser



Gemäß den beschriebenen Annahmen ergeben sich die folgenden Längen für Leiter der angegebenen Durchmesser 0,4, 0,6 und 0,8 mm im Hauptkabelabschnitt:

Für $0,0\text{km} < LL_{ijk} \leq 4,0\text{km}$:

$$LLHK_{ijkl} = \begin{cases} LL_{ijk} - LLVZB_{ijk} & \text{für } l = 0,40 \\ 0 & \text{für } l = 0,60 \\ 0 & \text{für } l = 0,80 \end{cases} \quad (3.1.7-2)$$

Für $4,0\text{km} < LL_{ijk} \leq 8,0\text{km}$ und $LLVZB_{ijk} \leq (LL_{ijk} \cdot (2) - 8)$:

$$LLHK_{ijkl} = \begin{cases} LL_{ijk} \cdot (-1) + 8 & \text{für } l = 0,40 \\ (LL_{ijk} \cdot (2) - 8) - LLVZB_{ijk} & \text{für } l = 0,60 \\ 0 & \text{für } l = 0,80 \end{cases}$$

Für $4,0\text{km} < LL_{ijk} \leq 8,0\text{km}$ und $LLVZB_{ijk} \geq (LL_{ijk} \cdot (2) - 8)$:

$$LLHK_{ijkl} = \left[\begin{array}{l} \left| (LL_{ijk} \cdot (-1) + 8) - (LLVZB_{ijk} - (LL_{ijk} \cdot (2) - 8)) \right| \text{ für } l = 0,40 \\ \left| 0 \right| \text{ für } l = 0,60 \\ \left| 0 \right| \text{ für } l = 0,80 \end{array} \right]$$

Für $8,0\text{km} < LL_{ijk} \leq 10,0\text{km}$:

$$LLHK_{ijkl} = \left[\begin{array}{l} \left| 0 \right| \text{ für } l = 0,40 \\ \left| LL_{ijk} - LLVZB_{ijk} \right| \text{ für } l = 0,60 \\ \left| 0 \right| \text{ für } l = 0,80 \end{array} \right]$$

Für $10,0\text{km} < LL_{ijk} \leq 15,0\text{km}$ und $LLVZB \leq (LL_{ijk} \cdot (3) - 30)$:

$$LLHK_{ijkl} = \left[\begin{array}{l} \left| 0 \right| \text{ für } l = 0,40 \\ \left| LL_{ijk} \cdot (-2) + 30 \right| \text{ für } l = 0,60 \\ \left| (LL_{ijk} \cdot (3) - 30) - LLVZB_{ijk} \right| \text{ für } l = 0,80 \end{array} \right]$$

Für $10,0\text{km} < LL_{ijk} \leq 15,0\text{km}$ und $LLVZB \geq (LL_{ijk} \cdot (3) - 30)$:

$$LLHK_{ijkl} = \left[\begin{array}{l} \left| 0 \right| \text{ für } l = 0,40 \\ \left| (LL_{ijk} \cdot (-2) + 30) - (LLVZB_{ijk} - (LL_{ijk} \cdot (3) - 30)) \right| \text{ für } l = 0,60 \\ \left| 0 \right| \text{ für } l = 0,80 \end{array} \right]$$

Für $15,0\text{km} < LL_{ijk}$

$$LLHK_{ijkl} = \left[\begin{array}{l} \left| 0 \right| \text{ für } l = 0,40 \\ \left| 0 \right| \text{ für } l = 0,60 \\ \left| LL_{ijk} - LLVZB_{ijk} \right| \text{ für } l = 0,80 \end{array} \right]$$

mit:

LL = Gesamtlänge der Anschlußleitung

$LLHK$ = Länge der Anschlußleitung im Hauptkabel

$LLVZB$ = Länge der Anschlußleitungen Verzweigerbereich

l = Durchmesser einer Kupferdoppelader in mm, mit $l = \{0,4; 0,6; 0,8\}$

Da im Verzweigerkabel kein Übergang mehr erfolgt, ergibt sich der Leiterdurchmesser innerhalb eines VZB in einfacher Form in Abhängigkeit von der gesamten Leiterlänge:

$$l = \left[\begin{array}{l} \left| 0,40 \right| \text{ für } 0,0\text{km} \leq LL_{ijk} < 4,0\text{km} \\ \left| 0,60 \right| \text{ für } 4,0\text{km} \leq LL_{ijk} < 8,0\text{km} \\ \left| 0,80 \right| \text{ für } LL_{ijk} \geq 8,0\text{km} \end{array} \right] \quad (3.1.7-3)$$

3.1.8 Ermittlung der Anzahl der Doppeladern

Für die folgende Kostenberechnung ist die Zahl der Doppeladern pro Anschluß von großer Bedeutung. Die Zahl der verlegten Doppeladern (DA) ist stets größer als die Zahl der aktuell für Teilnehmeranschlüsse beschalteten Adern, da

- nicht alle Adern beschaltbar sind, bzw. eine Reserve für im Zeitablauf unbrauchbar werdende DA zu bilden ist,
- Reserven für mögliches Nachfragewachstum zu bilden sind,
- Doppeladern auch zur Bereitstellung von Festverbindungen genutzt werden.

Auf die oben ermittelte Anschlußzahl pro VZB ist daher zunächst ein Faktor anzuwenden, der das erwartete Nachfragewachstum während der ökonomischen Nutzungsdauer der Anschlußnetzinvestition widerspiegelt. Hierbei sind Möglichkeiten der Mehrfachnutzung von Doppeladern z.B. durch Digitalisierung (ISDN) zu beachten. Hinzu kommt ein Faktor für die Festverbindungsnachfrage und schließlich ein Faktor für die technische Reservekapazität.

Festverbindungsfaktor und nachfragebedingter (ökonomischer) Reservefaktor können, wenn dies als notwendig angesehen wird, zwischen Haupt-, Verzweiger- und Endkabelabschnitt sowie zwischen den verschiedenen Verzweigerbereichstypen differenziert werden.

$$DA_{HK_{ijk}} = Asl_VZB_{ijk} \cdot Res_Fkt_DA_{HK} \cdot FV_Fkt_DA \cdot TRes_Fkt_DA$$

$$DA_{VZB_{ijk}} = Asl_VZB_{ijk} \cdot Res_Fkt_DA_{VZB} (VZB - Typ) \cdot FV_Fkt_DA \cdot TRes_Fkt_DA$$

(3.1.8-1)

mit:

$DA_{HK_{ijk}}$ = Anzahl Doppeladern im Hauptkabelabschnitt für VZB_{ijk}

$DA_{VZB_{ijk}}$ = Anzahl Doppeladern im Verzweigerbereich VZB_{ijk}

Asl_VZB_{ijk} = Anzahl der Teilnehmeranschlüsse im VZB_{ijk}

$Res_Fkt_DA_{HK}$ = Ökonomischer Reservefaktor für DA im Hauptkabel

$Res_Fkt_DA_{VZB}$ = Ökonomischer Reservefaktor für DA im Verzweigerkabel

$TRes_Fkt_DA$ = Technischer Reservefaktor für DA

FV_Fkt_DA = Festverbindungsfaktor im Abschlußnetz

Direkt definiert werden muß darüber hinaus:

$DA_Asl(VZB-Typ)$ = Anzahl der Doppeladern pro Anschluß im Endkabelsegment

3.1.9 Ermittlung der Verkehrsmenge für Anschlußbereiche

Für die Dimensionierung der verkehrssensitiven Baugruppen sind Angaben zur Verkehrsmenge auf den abgesetzten Konzentratoren und auf den Teilnehmervermittlungsstellen notwendig. Unterschieden wird zwischen statischer Verkehrsmenge, die in Erlang [E] gemessen wird, und dynamischer Verkehrslast, die in Verbindungsversuchen (call attempts) [CA] gemessen wird. In beiden Fällen sind Angaben zur Verkehrsmenge in der für die Dimensionierung als relevant angesehenen Stunde notwendig.

In den folgenden Berechnungen werden zunächst Werte für den kommenden und gehenden Verkehr einer durchschnittlichen Tageshauptverkehrsstunde zugrundegelegt. Diese werden zwischen Privat- und Geschäftskunden differenziert. Die Ermittlung der Verbindungsnachfrage, die in Busy Hour Erlang [BHE] angegeben wird, erfolgt für jeden Anschlußbereich durch Aufsummierung des Teilnehmerverkehrs:

$$BHE_i = \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^{m_{ij}} (PK_VZB_{ijk} \cdot BHE_PK + GK_VZB_{ijk} \cdot BHE_GK) \quad (3.1.9-1)$$

mit:

- BHE_i* = Verkehrsmenge im ASB_i
BHE_PK = BHE pro Privatkunde
BHE_GK = BHE pro Geschäftskunde
PK_VZB_{ijk} = Privatkunden im VZB_{ijk}
GK_VZB_{ijk} = Geschäftskunden in VZB_{ijk}

Zur Ermittlung der dynamischen Verkehrslast, also der Zahl der Verbindungsversuche in der Hauptverkehrsstunde, ist die gesamte Verbindungsdauer durch die durchschnittliche Verbindungsdauer zu dividieren, um zunächst die Zahl der erfolgreichen Verbindungen zu ermitteln. Diese Zahl ist durch einen Faktor zu dividieren, der dem Anteil erfolgreicher Verbindungsversuche an der Gesamtzahl der Verbindungsversuche entspricht. In allgemeiner Form ergibt sich

$$BHCA = \frac{BHE \cdot 60}{HT} \cdot \frac{1}{\alpha} \quad (3.1.9-2)$$

mit:

- BHCA* = Dynamische Verkehrslast in einer durchschnittlichen Hauptverkehrsstunde
BHE = Verkehrsmenge in einer durchschnittlichen Hauptverkehrsstunde
HT = Durchschnittliche Verbindungsdauer ("Holding Time")
a = Faktor, der das Verhältnis von erfolgreichen zu den gesamten Verbindungsversuchen angibt

Die so ermittelten Werte sind um einen Faktor zu erhöhen, durch den berücksichtigt werden kann, daß der Dimensionierung nicht die durchschnittliche tägliche Lastspitze zugrundegelegt wird, sondern ein höherer Wert. Hierdurch wird sichergestellt, daß auch Wochen- oder Monatslastspitzen mit akzeptabler Verkehrsgüte bewältigt werden können.

$$BHE_D = BHE \cdot LSF \quad (3.1.9-3)$$

$$BHCA_D = BHCA \cdot LSF$$

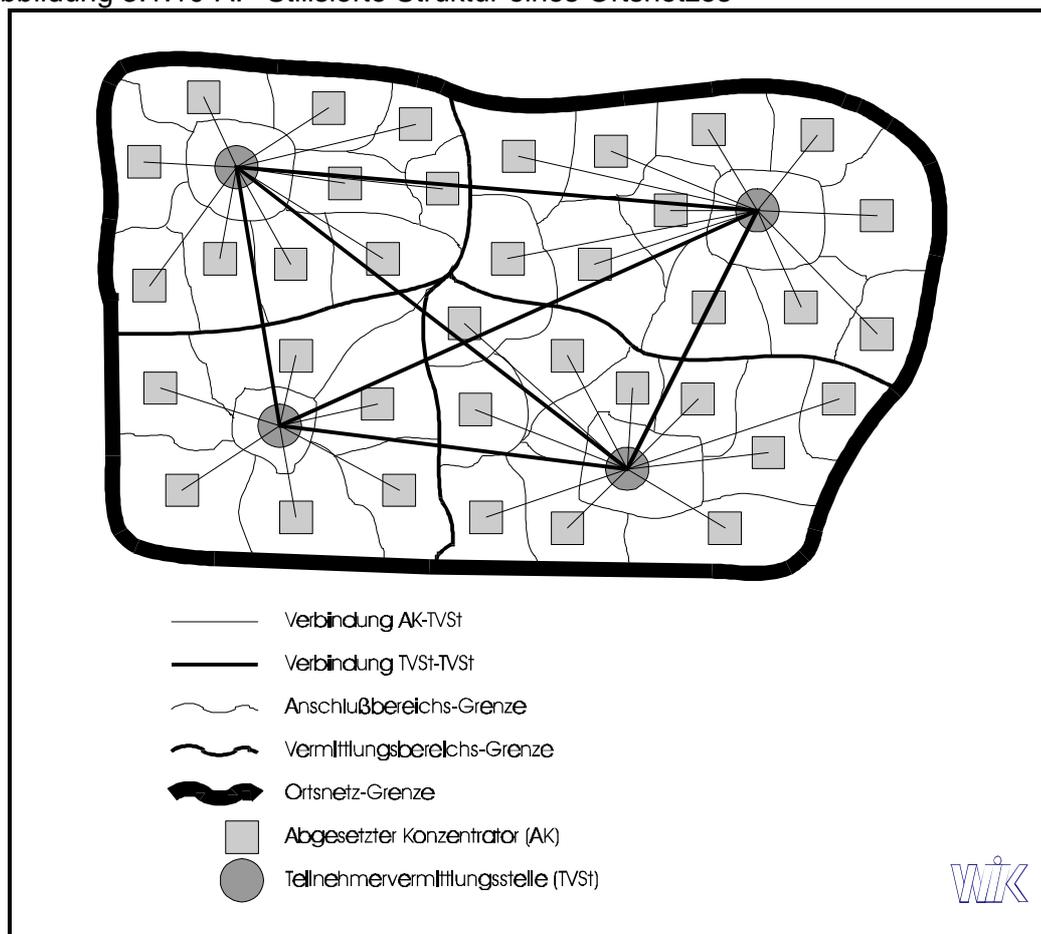
mit:

- BHE_D, BHCA_D* = Verkehrsmenge bzw. dynamische Verkehrslast in der für die Netzdimensionierung relevanten Stunde
LSF = Lastspitzenfaktor

Die so festgelegten Werte für die durchschnittliche Belegungsdauer eines Anschlusses und die Durchschnittszahl von Verbindungsversuchen jeweils pro Hauptverkehrsstunde bilden die Ausgangsbasis für die Berechnung der Verkehrsmengen auf den verkehrsabhängig dimensionierten Elementen des Telekommunikationsnetzes. Die Unterscheidung zwischen (tages-)durchschnittlicher und dimensionierungsrelevanter Hauptverkehrsstunde wird aus folgendem Grund vorgenommen: Die durchschnittliche Hauptverkehrsstunde wird zur Ermittlung der erwarteten Jahresnachfrage herangezogen, während die dimensionierungsrelevante Stunde, wie in der Bezeichnung angelegt, zur Bestimmung der Investitionen im verkehrsabhängig ausgelegten Teil des Telekommunikationsnetzes genutzt wird. Im nächsten Schritt werden die Verkehrsbeziehungen zwischen Netzknoten und das jeweils relevante Äquivalent der 2 Mbit/s (DSV2) Verbindungen ermittelt.

3.1.10 Ermittlung der logischen Verkehrsbeziehungen zwischen Netzknoten
Die Ermittlung der Verkehrsmengen auf den vermittelnden Netzknoten, auf den Verbindungen zwischen Vermittlungsstellen sowie zwischen abgesetzten Konzentratoren und den zugeordneten Vermittlungsstellen erfordert die vorhergehende Identifikation der mit einer TVSt kollozierten Hauptverteiler. Die verbleibenden HVt sind annahmegemäß mit einem abgesetzten Konzentrator kolloziert. Darüber hinaus ist eine Zuordnung der abgesetzten Konzentratoren zu Teilnehmervermittlungsstellen zu treffen (s. Abb. 3.1.10-A).

Abbildung 3.1.10-A: Stilisierte Struktur eines Ortsnetzes



In den folgenden Berechnungen wird angenommen, daß derartige Festlegungen getroffen sind, so daß jeder ASB/HVt entweder einer TVSt oder einem abgesetzten Konzentrator zugeordnet und jeder AK einer TVSt zugeordnet ist. Es ergibt sich:

ASB_{a0} = ASB der Teilnehmervermittlungsstelle a mit $a = \{1...s\}$

ASB_{ad} = ASB des abges. Konzentrators d der TVSt a mit $a = \{1...s\}$ und $d = \{1...t_a\}$

3.1.10.1 Verbindungen zwischen abgesetzten Konzentratoren und Teilnehmervermittlungsstelle

Da angenommen wird, daß in abgesetzten Konzentratoren (AK) keine Internverbindungen hergestellt werden, wird der gesamte Teilnehmerverkehr über die TVSt geführt. Folglich errechnet sich der Verkehr auf der Verbindung zur TVSt durch

Aufsummierung des Verkehrs der Teilnehmer des Anschlußbereichs, der über den Konzentrator geführt wird.

$$BHE_{AK_{ad}|TVSt_a} = BHE_{ad}, \text{ mit } d \neq 0 \quad (3.1.10-1)$$

mit:

$$BHE_{AK_{ad}|TVSt_a} = \text{Verkehr auf der Verbindung zwischen abgesetztem Konzentrator}_{ad} \text{ und } TVSt_a$$

$$BHE_{ad} = \text{Teilnehmerverkehr des } ASB_{ad}$$

3.1.10.2 Verbindungen zwischen TVSt des Ortsnetzes

Aus der Symmetrieannahme läßt sich der gehende Verkehr als Hälfte des gesamten Teilnehmerverkehrs bestimmen:

$$BHE_{G_{ad}} = \frac{BHE_{ad}}{2} \quad (3.1.10-2)$$

mit:

$$BHE_G = \text{Gehender Verkehr}$$

Es wird angenommen, daß ein auf Ortsnetzebene festzulegender Anteil des gehenden Teilnehmerverkehrs als Fernverkehr zu klassifizieren ist, also sein Ziel in einem anderen Ortsnetz hat.

$$BHE_{G_{O_{ad}}} = BHE_{G_{ad}} (1-AFV) \quad (3.1.10-3)$$

$$BHE_{G_{F_{ad}}} = BHE_{G_{ad}} AFV \quad (3.1.10-4)$$

mit:

$$BHE_{G_F} = \text{Fernverkehr (gehend)}$$

$$BHE_{G_O} = \text{Ortsverkehr (gehend)}$$

$$BHE_{G_{ad}} = \text{Verkehr des } ASB_{ad} \text{ (gehend)}$$

$$AFV = \text{Anteil Fernverkehr am gesamten Teilnehmerverkehr}$$

$$(1-AFV) = \text{Anteil Ortsverkehr am gesamten Teilnehmerverkehr}$$

Die gesamte Verkehrsmenge einer TVSt ergibt sich aus der Summe der Teilnehmerverkehre aller an diese direkt oder abgesetzt angeschlossenen Anschlußbereiche. Der Internverkehr einer TVSt, also der Verkehr, der nicht zu einer anderen TVSt vermittelt wird, entspricht ihrem relativen Gewicht am gesamten gehenden Ortsverkehr. Dies ist äquivalent zu der Annahme, daß alle denkbaren Verbindungen zwischen zwei Teilnehmern eines Ortsnetzes gleich wahrscheinlich sind. Entsprechend wird auch der Ortsverkehr berechnet, der zu einer anderen TVSt fließt. Der Verkehr, der von den TVSt zur FVSt fließt, ergibt sich aus der Summe des gehenden Fernverkehrs der über die TVSt angeschlossenen Anschlußbereiche.

Ortsverkehr:

$$BHE_{G_{O_{TVSt_x}|TVSt_y}} = \sum_{d=0}^{t_x} BHE_{G_{O_{xd}}} \cdot \frac{\sum_{d=0}^{t_y} BHE_{G_{O_{yd}}}}{\sum_{a=1}^s \sum_{d=0}^{t_a} BHE_{G_{O_{ad}}}} \quad (3.1.10-5)$$

Fernverkehr:

$$BHE_{G_{F_{TVSt_x}|FVSt}} = \sum_{d=0}^{t_x} BHE_{G_{F_{xd}}} \quad (3.1.10-6)$$

mit:

$$a = \text{Index der TVSt, mit } a = \{1 \dots s\}$$

$$s = \text{Anzahl der TVSt im Ortsnetz}$$

$$d = \text{Index der HVt, mit } d = \{0 \dots t_a\}$$

t_x = Anzahl der AK an TVSt_x
 $d=0$: HVt der TVSt
 $d \hat{I} \{1...t_a\}$: HVt der AK
 $x \hat{I} \{1...s\}$: Index einer TVSt
 $y \hat{I} \{1...s\}$: Index einer TVSt

Aus diesen Überlegungen läßt sich die in Tabelle 3.1.10-a dargestellte Verkehrsmatrix entwickeln.

Tabelle 3.1.10-a: Verkehrsmatrix des Orts-, Intern- und Fernverkehrs

| Ziel Ursprung | TVSt ₁ | TVSt ₂ | ... | TVSt _a | FVSt |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|-----|--------------------------|------------------------|
| TVSt ₁ | $BHE_G_{TVSt_1 TVSt_1}$ | $BHE_G_{TVSt_1 TVSt_2}$ | ... | $BHE_G_{TVSt_1 TVSt_a}$ | $BHE_G_{TVSt_1 FVSt}$ |
| TVSt ₂ | $BHE_G_{TVSt_2 TVSt_1}$ | $BHE_G_{TVSt_2 TVSt_2}$ | ... | $BHE_G_{TVSt_2 TVSt_a}$ | $BHE_G_{TVSt_2 FVSt}$ |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | | ⋮ | ⋮ |
| TVSt _a | $BHE_G_{TVSt_a TVSt_1}$ | $BHE_G_{TVSt_a TVSt_2}$ | ... | $BHE_G_{TVSt_a TVSt_a}$ | $BHE_G_{TVSt_a FVSt}$ |
| FVSt | $BHE_G_{FVSt TVSt_1}$ | $BHE_G_{FVSt TVSt_2}$ | ... | $BHE_G_{FVSt TVSt_a}$ | 0 |

mit:

$BHE_G_{TVSt_x|TVSt_y}$ = Gehender Verkehr von TVSt_x nach TVSt_y

$BHE_G_{TVSt_x|TVSt_x}$ = Internverkehr der TVSt_x

$BHE_G_{TVSt_x|FVSt}$ = Fernverkehr der TVSt_x

Der gesamte gehende Ortsverkehr einer TVSt errechnet sich aus:

$$BHE_G_O_{TVSt_x} = \sum_{a=1}^s (BHE_G_{TVSt_x|TVSt_a})_{mit\ a \neq x} \quad (3.1.10-7)$$

Der gesamte gehende Fernverkehr einer TVSt errechnet sich aus:

$$BHE_G_F_{TVSt_x} = BHE_G_{TVSt_x|FVSt} \quad (3.1.10-8)$$

Der gesamte kommende Ortsverkehr einer TVSt errechnet sich aus:

$$BHE_K_O_{TVSt_x} = \sum_{a=1}^s (BHE_G_{TVSt_a|TVSt_x})_{mit\ a \neq x} \quad (3.1.10-9)$$

Der gesamte kommende Fernverkehr einer TVSt errechnet sich aus:

$$BHE_K_F_{TVSt_x} = BHE_G_{FVSt|TVSt_x} \quad (3.1.10-10)$$

Der gesamte Internverkehr einer TVSt errechnet sich aus:

$$BHE_I_{TVSt_x} = BHE_G_{TVSt_x|TVSt_x} \quad (3.1.10-11)$$

Und schließlich ergibt sich der Gesamtverkehr einer TVSt aus:

$$BHE_{TVSt_x} = BHE_G_O_{TVSt_x} + BHE_K_O_{TVSt_x} + BHE_I_{TVSt_x} + BHE_G_F_{TVSt_x} + BHE_K_F_{TVSt_x} \quad (3.1.10-12)$$

Die gesamte Verkehrslast einer Teilnehmervermittlungsstelle ergibt sich als:

$$BHCA_{TVSt_x} = \frac{BHE_{TVSt_x} \cdot 60}{HT} \cdot \frac{1}{\alpha} \quad (3.1.10-13)$$

3.1.11 Ermittlung der DSV2 für Übertragungswege im Ortsnetz

Nach der Ermittlung der gesamten Verbindungsnachfrage zwischen zwei Netzknoten gilt es in einem nächsten Schritt, die Zahl der 2 Mbit/s Digitalsignalverbindungen (DSV2) zu ermitteln, die zwischen den Knoten zu schalten sind. Jede DSV2 umfaßt 30 Nutzkanäle zu 64 kbit/s plus zwei Kanäle für Signalisierung und Managementfunktionen.

Die benötigte Anzahl der DSV2 wird mit Hilfe der Erlang-Verlustformel errechnet, die angibt, wieviele Leitungen zur Abwicklung eines gegebenen Verkehrsangebotes bei einer bestimmten Verlustwahrscheinlichkeit benötigt werden. Die Erlang-Verlustformel ergibt sich als:

$$B = \frac{\frac{A^N}{N!}}{\sum_{K=0}^N \frac{A^K}{K!}} \quad (3.1.11-1)$$

mit:

B = Verlustwahrscheinlichkeit

A = Verkehrsangebot in Erlang

N = Anzahl der Leitungen / Kanäle

Tabelle 3.1.11-a gibt das maximale Verkehrsangebot an ein Bündel von DSV2 bei unterschiedlichen Verlustwahrscheinlichkeiten an.

Tabelle 3.1.11-a: Verkehrstabelle (Beispiel)

| Verkehrsangebot A | | Verlustwahrscheinlichkeit | | |
|-------------------|-------------|---------------------------|--------|--------|
| Anzahl Leitungen | Anzahl DSV2 | B=0,005 | B=0,01 | B=0,05 |
| N=30 | 1 | 19,03 | 20,34 | 24,80 |
| N=60 | 2 | 44,76 | 46,95 | 54,57 |
| N=90 | 3 | 71,76 | 74,68 | 85,01 |
| N=120 | 4 | 99,38 | 102,96 | 115,77 |
| N=150 | 5 | 127,40 | 131,58 | 146,71 |
| N=180 | 6 | 155,68 | 160,42 | 177,76 |
| N=210 | 7 | 184,16 | 189,42 | 208,89 |
| N=240 | 8 | 212,79 | 218,56 | 240,09 |
| N=270 | 9 | 241,55 | 247,80 | 271,33 |
| N=300 | 10 | 270,41 | 277,13 | 302,62 |
| N=330 | 11 | 299,35 | 306,52 | 333,93 |
| N=360 | 12 | 328,37 | 335,98 | 365,27 |
| N=390 | 13 | 357,45 | 365,49 | 396,63 |
| N=420 | 14 | 386,59 | 395,04 | 428,01 |
| N=450 | 15 | 415,78 | 424,63 | 459,40 |
| N=480 | 16 | 445,01 | 454,27 | 490,81 |
| N=510 | 17 | 474,28 | 483,93 | 522,23 |
| N=540 | 18 | 503,58 | 513,62 | 553,66 |
| N=570 | 19 | 532,92 | 543,34 | 585,10 |
| N=600 | 20 | 562,29 | 573,08 | 616,55 |
| N=630 | 21 | 591,69 | 602,84 | 648,00 |
| N=660 | 22 | 621,11 | 632,62 | 679,47 |
| N=690 | 23 | 650,55 | 662,42 | 710,94 |
| N=720 | 24 | 680,02 | 692,24 | 742,41 |
| N=750 | 25 | 709,51 | 722,08 | 773,89 |
| N=780 | 26 | 739,01 | 751,92 | 805,38 |
| N=810 | 27 | 768,53 | 781,79 | 836,87 |
| N=840 | 28 | 798,07 | 811,67 | 868,36 |
| N=870 | 29 | 827,63 | 841,56 | 899,86 |
| N=900 | 30 | 857,20 | 871,46 | 931,36 |

In den Kostenberechnungen für Übertragungssysteme wird angenommen, daß die notwendige Zahl der DSV2 unter Zugrundelegung einer derartigen Verkehrstabelle bei einer festzulegenden Verlustwahrscheinlichkeit berechnet worden ist. Das Verbindungsnetz, das bei der Kostenermittlung in diesem Modell zugrundegelegt wird, ist derart aufgebaut, daß zwischen zwei Knoten jeweils Direktwege existieren und keine Überlaufwege berücksichtigt werden, so daß die Direktwege zugleich Letztwege sind. D.h. Verkehr, der von einem Leitungsbündel abgewiesen wird, geht tatsächlich verlustig und läuft nicht in ein anderes Bündel über. Diese Annahme muß bei der Ermittlung der Zahl der Verbindungsleitungen dahingehend berücksichtigt werden, daß die Verlustwahrscheinlichkeit geringer anzusetzen ist als in Überlaufsystemen, in denen für Direktwege ein hoher Auslastungsgrad durch Hinnahme hoher Verluste

erreicht werden kann. Folglich sollte die Verlustwahrscheinlichkeit im Modellrahmen so gewählt werden, daß die letztlich angestrebte Verkehrsgüte realisiert werden kann. Die Anzahl DSV2 für die Verbindung einer TVSt_x mit einer anderen TVSt_y errechnet sich nach:

$$\#DSV2_{TVSt_x|TVSt_y} = \text{aufgerundet} \left(\frac{N(A; B) \text{ mit } A = BHE_G_O_{D_{TVSt_x|TVSt_y}} + BHE_G_O_{D_{TVSt_y|TVSt_x}}}{30} \right) \quad (3.1.11-2)$$

Die Anzahl DSV2 für die Anbindung einer TVSt_x an die FVSt, errechnet sich nach:

$$\#DSV2_{TVSt_x|FVSt} = \text{aufgerundet} \left(\frac{N(A; B) \text{ mit } A = BHE_G_F_{D_{TVSt_x}} + BHE_K_F_{D_{TVSt_x}}}{30} \right) \quad (3.1.11-3)$$

Abschließend kann die Gesamtzahl der DSV2 im Verbindungsnetz für eine TVSt errechnet werden:¹⁴

$$\#DSV2_x = \sum_{a=1}^s \left(\#DSV2_{TVSt_x|TVSt_a} \right)_{\text{mit } a \neq x} + \#DSV2_{TVSt_x|FVSt} \quad (3.1.11-4)$$

Für Verbindungen zwischen AK und TVSt gilt: Der Teilnehmerverkehr wird in den Teilnehmerleitungseinheiten (DLU) konzentriert. Jede DLU hat 4 x 2 Mbit/s Ausgänge. Folglich kann mittels Erlang-Formel zunächst die Zahl der DLU pro AK ermittelt werden. Die Zahl der DSV2 auf dem Übertragungssystem ergibt sich aus der Anzahl der Teilnehmerleitungseinheiten multipliziert mit vier. Die Anzahl der Teilnehmerleitungseinheiten pro Anschlußbereich sowie die Anzahl der DSV2 für die Anbindung von an abgesetzten Konzentratoren angeschlossenen Anschlußbereichen an die zugehörige TVSt errechnen sich folglich nach:

$$\#DLU_{ad} = \text{aufgerundet} \left(\frac{BHE_{D_{ad}}}{A(N; B) \text{ mit } N = 120} \right)$$

$$\#DLU_a = \sum_{d=0}^{t_a} \#DLU_{ad} \quad (3.1.11-5)$$

$$\#DSV2_{ad} = 4 \#DLU_{ad}, d \neq 0$$

mit:

$\#DLU_{ad}$ = Anzahl der Teilnehmerleitungseinheiten in einem Anschlußbereich ad

$\#DLU_{ad}$ = Anzahl der Teilnehmerleitungseinheiten in einem Vermittlungsbereich a

$\#DSV2_{ad}$ = Anzahl der DSV2 für die Verbindung zwischen AK_{ad} und zugehöriger TVSt

3.1.12 Ermittlung der Verbindungskabellänge

Die Verbindungskabellängen zwischen den AK und den TVSt berechnen sich nach:

$$AK_{ad} - TVSt_a = |X_{AK_{ad}} - X_{TVSt_a}| + |Y_{AK_{ad}} - Y_{TVSt_a}| \quad (3.1.12-1)$$

mit:

AK = Abgesetzter Konzentrator

TVSt = Teilnehmervermittlungsstelle

d = Index des abgesetzten Konzentrators, mit $d = \{1 \dots t_a\}$

Die Verbindungskabellängen zwischen den TVSt untereinander berechnen sich nach:

$$TVSt_x - TVSt_y = |X_x - X_y| + |Y_x - Y_y| \quad (3.1.12-2)$$

¹⁴ Zu beachten ist, daß für die notwendigen Verbindungen einer TVSt mit dem Übergabepunkt ins Fernnetz in den Fällen, in denen beide kolloziert sind, keine Übertragungseinrichtungen aufgebaut werden müssen. Der ein-/ausgehende Fernverkehr besitzt aber auch in diesen Fällen Relevanz für die Zahl der netzseitigen Anschlußgruppen (LTG).

3.1.13 Ermittlung der Kapital- und Betriebskostenfaktoren

Die Kapital- und Betriebskostenfaktoren (KBF) der verschiedenen Kapitalgüterkategorien geben in Form eines Prozentsatzes auf den Wiederbeschaffungszeitwert der eingesetzten Kapitalgüter an, welche Kosten für diese Kapitalgüter jährlich entstehen. Sie werden gebildet als Summe aus dem Betriebskostenfaktor (BKF) und dem Kapitalkostenfaktor (KKF), der als Wiedergewinnungsfaktor sowohl die Abschreibung als auch die (kalkulatorische) Verzinsung des Kapitalgutes abdeckt.

$$KBF_u = BKF_u + KKF_u \quad (3.1.13-1)$$

mit:

u = Index der Kapitalgüterkategorie, mit $u = \{1 \dots z\}$

Die spezifischen Kapitalkostenfaktoren werden nach der üblichen Formel für den Wiedergewinnungsfaktor errechnet, wobei der allgemeine Kapitalkostensatz, entsprechend den Überlegungen in Abschnitt 2.2.3.2, um die anlagenspezifische Preisveränderungsrate korrigiert wird:

$$KKF_u(KKS, \Delta p_u, ND_u) = \frac{KKS - \Delta p_u}{1 - \frac{1}{(1 + KKS - \Delta p_u)^{ND_u}}} \quad (3.1.13-2)$$

mit:

KKS : Kapitalkostensatz

Δp_u : Durchschnittliche Preisveränderungsrate der Kapitalgüterkategorie u

ND_u : Durchschnittliche wirtschaftlich-technische Nutzungsdauer der Kapitalgüterkategorie u

Der Kapitalkostensatz ergibt sich als gewichteter Durchschnitt aus der Eigen- und der Fremdkapitalverzinsung:

$$KKS(eK, fK, D, T, R) = \frac{eK \cdot D}{1 - T} + fK \cdot R \quad (3.1.13-3)$$

mit:

eK = Eigenkapitalquote

fK = Fremdkapitalquote (nur verzinsliches Fremdkapital)

D = Geforderte Eigenkapitalrendite

T = Effektiver Ertragssteuersatz

R = Zinssatz für Fremdkapital

Neben der Eigenkapitalquote eK , der Fremdkapitalquote fK , der geforderten Eigenkapitalrendite D , dem effektiven Ertragssteuersatz T und dem Fremdkapitalzinssatz R sind demnach die Betriebskostenfaktoren, die durchschnittlichen Preisänderungsraten und die Nutzungsdauern bei den einzelnen Kapitalgüterkategorien exogen vorzugeben. Es wird vorgeschlagen, den Fremdkapitalzinssatz auf der Basis der Rendite einer risikolosen Anlage mit mittlerer Laufzeit, z.B. Bundesanleihen mit einer Laufzeit von 4 bis 6 Jahren, vorzugeben. Die Eigenkapitalrendite könnte nach dem Capital Asset Pricing Model (CAPM) oder nach der Dividendenwachstums-Hypothese ermittelt werden. Wie in Abschnitt 2.2.3.3 dargestellt, sind jedoch beide Ansätze aufgrund der hohen Datenanforderungen gegenwärtig nicht praktikabel. Somit ist es erforderlich, hier auf Netzbetreiberangaben oder internationale Vergleiche zurückzugreifen. Eine entsprechende Frage ist in der Liste von Diskussionsthemen (Anhang A) aufgeführt.

In dem Modell werden die folgenden Kapitalgüterkategorien erfaßt:

Tabelle 3.1.13-a: Kapitalgüterkategorien

| Kategorie | Bezeichnung des KBF |
|---------------------------|------------------------------------|
| Gebäude | KBF _{Gebäude} |
| Ausstattungsinvestitionen | KBF _{Ausstattung} |
| Übertragungstechnik | KBF _{Übertragungstechnik} |
| Vermittlungstechnik | KBF _{Vermittlung} |
| Kupfer-Röhrenkabel | KBF _{Röhrenkabel} |
| Glasfaser-Röhrenkabel | KBF _{GF-Röhrenkabel} |
| Kupfer-Erdkabel | KBF _{Erdkabel} |
| Glasfaser-Erdkabel | KBF _{GF-Erdkabel} |
| Endkabel | KBF _{Endkabel} |
| Kabelkanalanlagen | KBF _{Kanal} |
| Endstellenkabel | KBF _{Endstellenkabel} |

3.2 Kostenermittlung für das Teilnehmeranschlußnetz

3.2.1 Kosten des Hauptkabelnetzes

Die Kostenberechnung erfolgt jeweils für einen Quadranten eines Anschlußbereichs. Die Kosten des Hauptkabels (C_{HK}) des gesamten Ortsnetzes addieren sich folglich aus den Hauptkabelkosten über alle Anschlußbereiche des Ortsnetzes und über alle Quadranten der Anschlußbereiche:

$$C_{HK} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 C_{HK_{ij}} \quad (3.2.1-1)$$

mit:

i = Index des Anschlußbereichs mit $i = \{1 \dots n\}$

n = Anzahl der Anschlußbereiche im Ortsnetz

j = Index des Quadranten mit $j = \{1 \dots 4\}$

Bei der Berechnung der Hauptkabelkosten werden die Ebene der Infrastruktur, also der Gräben und Kabelkanalanlagen, die Ebene der Kabel und die Ebene der Leiter separat betrachtet. Hierdurch werden drei Bezugsgrößen – Trassenmeter, Kabelmeter und Leitermeter – für die verschiedenen Investitionsgüterkategorien definiert. Die Infrastrukturebene und die Kabelebene lassen sich topologisch als Baumstruktur beschreiben. Die Leiterebene (Ebene der Doppeladern) weist dagegen eine Sternstruktur auf, da jedem Teilnehmer annahmegemäß ein dedizierter Leiter zum Hauptverteiler zugeordnet ist. Diese Trennung trägt der Tatsache Rechnung, daß Dichtevorteile auf der Ebene der Infrastruktur und Kabel, nicht aber auf der Ebene der Leiter realisiert werden können. Es ergibt sich folgende Formel für die Kosten des Hauptkabelnetzes eines Quadranten:

$$C_{HK_{ij}} = C_{Infrastruktur_{ij}} + C_{Kabel_{ij}} + C_{Leiter_{ij}} \quad (3.2.1-2)$$

3.2.1.1 Infrastrukturkosten

Die Kosten der Infrastruktur werden separat für den Stamm und die einzelnen Äste ermittelt. Es wird angenommen, daß jeder Stamm auf der Höhe des äußersten Ver-

zweigerbereichs endet. Die Infrastruktur wird in diesem Segment von den Kabeln aller Verzweigerbereiche gemeinsam genutzt. Demgegenüber wird jeder Verzweigerbereich über einen eigenen Ast mit dem Hauptkabelstamm verbunden. Hier wird folglich keinerlei gemeinsame Nutzung durch Kabel mehrerer Verzweigerbereiche angenommen. Dies stellt einen angemessenen Kompromiß über die realisierten Kostenersparnisse gemeinsamer Infrastrukturnutzung dar, der durch die Verbindung der Annahme einer maximalen Ausnutzung von Verbundvorteilen im Hauptkabelstamm und der des vollständigen Verzichts auf die Nutzung von Verbundvorteilen in den Hauptkabelästen erreicht wird. Die Kosten der Infrastruktur pro Quadrant ergeben sich aus den Kosten des Hauptkabelstammes zuzüglich der Summe der Kosten der Hauptkabeläste über alle Verzweigerbereiche des Quadranten:

$$C_{\text{Infrastruktur}_j} = C_{\text{Infrastruktur Stamm}_j} + \sum_{k=1}^{m_j} C_{\text{Infrastruktur Ast}_{ijk}} \quad (3.2.1-3)$$

mit:

$k = \text{Index des Verzweigerbereichs, mit } k = \{1 \dots m_{ij}\}$

$m_{ij} = \text{Anzahl der Verzweigerbereiche in einem Quadranten } j \text{ eines Anschlußbereichs } i$

3.2.1.1.1 Tiefbaukosten

Die Kosten der Infrastruktur werden zerlegt in die Komponenten Material und Tiefbauarbeiten. Dies geschieht aus dem Motiv der Disaggregation der Kostenkomponenten und zur Sicherstellung größtmöglicher Flexibilität. So kann bei einer Weiterentwicklung der Modellierung dem Vorliegen gemeinsamer Nutzung der Infrastruktur durch mehrere Netzelemente oder Netze Rechnung getragen werden, indem die Tiefbaukosten als potentieller Gemeinkostenblock von den Einzelkosten des Materials separiert werden:

$$C_{\text{Infrastruktur Stamm}_j} = C_{\text{Graben Stamm}_j} + C_{\text{Material Stamm}_j} \quad (3.2.1-4)$$

$$C_{\text{Infrastruktur Ast}_{ijk}} = C_{\text{Graben Ast}_{ijk}} + C_{\text{Material Ast}_{ijk}}$$

Die Tiefbaukosten werden nochmals unterteilt in Tiefbaukosten für erdverlegte Kabel sowie Tiefbaukosten für die Errichtung von Kabelkanalanlagen. Die Verlegearten weisen unterschiedliche Investitionskosten pro Meter auf. Zudem werden auf die Investitionssummen unterschiedliche Kapital- und Betriebskostenfaktoren angewendet.¹⁵ An dieser Stelle können auch Luftkabelinstallationen berücksichtigt werden, die im vorgestellten Ansatz allerdings ausgeklammert sind, da von einem durchgängig unterirdischen Ausbau des Anschlußnetzes ausgegangen wird.

$$C_{\text{Graben Stamm}_j} = C_{\text{Graben Stamm Kanal}_j} + C_{\text{Graben Stamm Erdkabel}_j} \quad (3.2.1-5)$$

$$C_{\text{Graben Ast}_{ijk}} = C_{\text{Graben Ast Kanal}_{ijk}} + C_{\text{Graben Ast Erdkabel}_{ijk}}$$

Die Tiefbaukosten können nunmehr auf Parameter zurückgeführt werden, die entweder direkt als Input vorgegeben oder an anderer Stelle errechnet worden sind:

¹⁵ Die Tiefbauinvestitionen für den Kabelkanal sind insbesondere über einen längeren Zeitraum abzuschreiben als die für erdverlegte Kabel.

$$\begin{aligned}
 C_{\text{Graben Stamm Kanal}_{ij}} &= LS_{ij} \cdot AKK_{HK} \cdot P_{\text{GrK}_m}(ZG_{HK}; OF_{HK}) \cdot KBF_{\text{Kanal}} \\
 C_{\text{Graben Stamm Erdkabel}_{ij}} &= LS_{ij} \cdot (1 - AKK_{HK}) \cdot P_{\text{GrE}_m}(OF_{HK}) \cdot KBF_{\text{Erdkabel}} \\
 C_{\text{Graben Ast Kanal}_{ijk}} &= LA_{ijk} \cdot AKK_{HK} \cdot P_{\text{GK}_m}(ZG_{HK}; OF_{HK}) \cdot KBF_{\text{Kanal}} \\
 C_{\text{Graben Ast Erdkabel}_{ijk}} &= LA_{ijk} \cdot (1 - AKK_{HK}) \cdot P_{\text{GE}_m}(ZG_{HK}; OF_{HK}) \cdot KBF_{\text{Erdkabel}}
 \end{aligned}
 \tag{3.2.1-6}$$

mit:

AKK_{HK} = Anteil Kabelkanaltrassen an den gesamten Hauptkabeltrassen

ZG_{HK} = Zugzahl der Kabelkanalanlagen

OF_{HK} = Oberflächenbeschaffenheit im Hauptkabelsegment

KBF = Kapital- und Betriebskostenfaktor

LS_{ij} = Länge des Hauptkabelstammes

P_{GrK_m} = Tiefbaupreis pro Meter für Kabelkanalanlagen

P_{GrE_m} = Tiefbaupreis pro Meter für Erdkabelinstallation

Die Variable "Anteil Kabelkanal" gibt an, welcher Anteil der Kabeltrassen als Kabelkanalanlage ausgeführt ist. Folglich gibt $(1 - AKK_{HK})$ den Anteil der Erdkabeltrassen an. Dieser Anteil wird auf Ebene des Ortsnetzes für alle Hauptkabeltrassen festgelegt. Der Preis der Tiefbauarbeiten für Kabelkanalanlagen ist abhängig von der Zahl der Züge und den Anteilen der verschiedenen zu rekonstruierenden Oberflächen. Ein Zug entspricht einem PVC-Rohr von ca. 10 cm Durchmesser. Die Zugzahl, die der Kostenberechnung zugrundeliegt, wird auf Ortsnetzebene festgelegt und ist somit als Durchschnittswert für die Hauptkabeltrassen zu interpretieren.

Die Oberflächenbeschaffenheit stellt einen bedeutenden Einflußfaktor auf die Tiefbaukosten dar, da die Oberflächenrekonstruktion einen erheblichen, aber stark variierenden Anteil an den gesamten Kosten ausmacht. Es wird davon ausgegangen, daß der durchschnittliche Tiefbaupreis pro Meter ermittelt werden kann, wenn Preise für die Rekonstruktion von Grünfläche, Asphalt und Verbundpflaster als den häufigsten Oberflächentypen bekannt sind und diesen Gewichtsanteile an den gesamten Trassenkilometern zugewiesen werden. Die Variable OF ist daher als Vektor zu interpretieren, der diese Gewichtsanteile und die mit ihnen korrespondierenden Tiefbaupreise enthält. Der Tiefbaupreis pro Meter Kabelkanalanlage ist eine Funktion der Anzahl der Züge und der Anteile der jeweiligen zu rekonstruierenden Oberflächen an den Trassenkilometern. Im Falle der Erdkabel wird vorgeschlagen, ein einheitliches Grabenmaß zugrunde zu legen und lediglich Variationen der Oberflächenbeschaffenheit zu berücksichtigen.

Es ist evident, daß auch die Beschaffenheit des Bodens einen Einfluß auf die Basiskosten von Tiefbauarbeiten ausübt. Die in das Modell eingebrachten Preise sollten daher einem als repräsentativ erachteten Schwierigkeitsgrad entsprechen. Es soll betont werden, daß alle Inputparameter auf Ortsnetzebene festgelegt werden können. Es ist daher prinzipiell möglich, die geologischen Charakteristika jedes Ortsnetzes abzubilden, falls die notwendigen Informationen vorliegen. Hier sollte jedoch abgewogen werden, wo Durchschnittsbildungen im vorhinein, d.h. außerhalb der Modellrechnungen vorgenommen werden sollten. Während es notwendig erscheint, insbesondere hinsichtlich Geographie und Nachfrageverteilung, Durchschnittsbildungen auf Basis von Modellergebnissen und nicht von Modellannahmen vorzunehmen, ist diese Notwendigkeit hinsichtlich anderer Inputparameter wie der Tiefbaupreise nicht ersichtlich. Durch das Rechnen mit Werten, die für die untersuchte Region repräsentativen Charakter haben, gehen keine relevanten Informationen verloren.

3.2.1.1.2 Materialkosten

Investitionen in Material sind in erster Linie für Kabelkanalinstallationen relevant. Materialien für erdverlegte Kabel werden nicht auf der Ebene der Infrastruktur, sondern auf der Schicht der Kabel berücksichtigt. Materialinvestitionen sind differenziert nach Kanalrohren und Kanalschächten, wobei Installationskosten jeweils einzubeziehen sind. Die Investitionen in Kabelschächte errechnen sich aus deren Anzahl, die sich nach dem durchschnittlichen Abstand zwischen zwei Schächten ergibt, und der Art des Schachtes selbst. Der Schachttyp sollte so gewählt sein, daß er mit der angenommenen Zugzahl in Übereinstimmung steht. D.h. wenn eine sechszügige Kabelkanalanlage Berechnungsgrundlage ist, so sollten die Maße des Kabelschachtes für die Durchführung von sechs Kabeln ausgelegt sein. Es ergibt sich:

$$\begin{aligned}
 C_{\text{Material Stamm}_{ij}} &= C_{\text{Rohre Stamm Kanal}_{ij}} + C_{\text{Schächte Stamm Kanal}_{ij}} \\
 C_{\text{Material Ast}_{ijk}} &= C_{\text{Rohre Ast Kanal}_{ijk}} + C_{\text{Schächte Ast Kanal}_{ijk}} \\
 C_{\text{Rohre Stamm Kanal}_{ij}} &= LS_{ij} \cdot AKK_{HK} \cdot P_{\text{Rohr}_m} \cdot ZG_{HK} \cdot KBF_{Kanal} \\
 C_{\text{Schächte Stamm Kanal}_{ij}} &= \frac{LS_{ij} \cdot AKK_{HK}}{\text{AbsSchacht}} \cdot P_{\text{Schacht}}(ZG_{HK}) \cdot KBF_{Kanal} \\
 C_{\text{Rohre Ast Kanal}_{ijk}} &= LA_{ijk} \cdot AKK_{HK} \cdot P_{\text{Rohr}_m} \cdot KBF_{Kanal} \cdot ZG_{HK} \\
 C_{\text{Schächte Ast Kanal}_{ijk}} &= \frac{LA_{ijk} \cdot AKK_{HK}}{\text{AbsSchacht}} \cdot P_{\text{Schacht}}(ZG_{HK}) \cdot KBF_{Kanal}
 \end{aligned}
 \tag{3.2.1-7}$$

mit:

P_{Rohr_m} = Preis pro Meter für Kanalrohre

P_{Schacht} = Preis eines pro Kabelschachtes

AbsSchacht = Durchschnittlicher Abstand zwischen Kabelschächten

3.2.1.2 Kabelkosten

Auf der Ebene der Kabel werden jene Kosten berücksichtigt, deren Bezugsgröße die verlegten Kabelmeter sind. Es sind dies zum einen die impliziten fixen Investitionen pro Kabelmeter, bzw. der Preis des Kabelmantels. Diese werden durch eine lineare Regression über die Preise pro Meter für Kabel verschiedener Adernzahlen ermittelt. Die Fixkosten entsprechen dem Achsenabschnitt, während die Steigung der Regressionsgeraden die Kosten einer zusätzlichen Doppelader pro Meter angibt. Hinzu kommen die Kosten für Kabelschutzhauben und Markierungsband, bei denen die Kabelmeter und nicht Trassenmeter als relevante Bezugsgröße anzusehen sind. Kabelschutzhauben und Markierungsband sind nur für erdverlegte Kabel relevant, wobei eine Schutzabdeckung nicht für die gesamte Kabellänge erforderlich ist.¹⁶ Die Basis der Berechnung der Kabellänge ist zunächst die Trassenlänge in den jeweiligen Quadranten. Dem liegt die Annahme zugrunde, daß Hauptkabel sich ausgehend vom HVt sukzessive verzweigen und in sog. Abzweigmuffen die zum Anschluß der Verzweigerbereiche benötigten Adernpaare aus dem Hauptkabelstamm entnommen werden. In der Realität wird jedoch in vielen Fällen, insbesondere im Hauptkabelstamm, die Parallelverlegung mehrerer Kabel in einem Graben oder einer Rohranlage vorgenommen werden. Gründe können hohe Teilnehmerzahlen sein, deren Doppeladern nicht mehr über ein Kabel geführt werden können, oder aber unterschiedliche benötigte Leiterdurchmesser. Schließlich kann die Verlegung in einem Stück der Verbindung zweier Kabel aus Kostengründen vorgezogen werden. In Modellrechnungen kann die Kabelzahl entweder für die Hauptkabeläste und für jeden

¹⁶ Dies sollte der Einfachheit halber durch Absenkung des Meterpreises in die Berechnungen eingebracht werden.

Abschnitt des Stammes anhand der jeweils benötigten Doppeladerzahl und der maximalen Adernzahl pro Kabel ermittelt werden. In den folgenden Berechnungen wird dagegen mit einem Faktor gearbeitet, mit dem die Trassenlänge zur Ermittlung der Kabellänge multipliziert wird und der somit der durchschnittlichen Kabelzahl im Stamm bzw. Ast entsprechen soll. Kommentare sollten erkennen lassen, inwieweit dieses vereinfachte Berechnungsverfahren als hinreichend erachtet wird.

Es wird angenommen, daß die Kosten der Verlegung, also des Einbringens der Kabel in Gräben und Kanalrohre sowie der Vermuffung der Kabel, mit der Doppeladerzahl variieren. Daher werden die Doppeladermeter und nicht die Kabelmeter als relevante Bezugsgröße angesehen. Die Differenzierung zwischen Erd- und Röhrenkabel wird vorgenommen, da unterschiedliche Kapital- und Betriebskostenfaktoren zur Anwendung kommen müssen. Eine Differenzierung der Kabelpreise zwischen Kabeln für Erdverlegung und Kabeln für Röhrenverlegung, die ansonsten hinsichtlich Adernzahl und -durchmesser identisch sind, ist vorzunehmen, falls hier bedeutende Unterschiede zu erwarten sind, wovon zunächst nicht ausgegangen wird.

$$C_{Kabel_{ij}} = C_{Kabel\ Stamm_{ij}} + \sum_{k=1}^{m_{ij}} C_{Kabel\ Ast_{ijk}} \quad (3.2.1-8)$$

$$C_{Kabel\ Stamm_{ij}} = LS_{ij} \cdot AKK_{HK} \cdot P_Kabel_fix_m \cdot K_Tm_{Stamm} \cdot KBF_{Röhrenkabel} + LS_{ij} \cdot (1 - AKK_{HK}) \cdot (P_Kabel_fix_m + P_Schutzhaube_m + P_Band_m) \cdot K_Tm_{Stamm} \cdot KBF_{Erdkabel}$$

$$C_{Kabel\ Ast_{ijk}} = LA_{ijk} \cdot AKK_{HK} \cdot P_Kabel_fix_m \cdot K_Tm_{Ast} \cdot KBF_{Röhrenkabel} + LA_{ijk} \cdot (1 - AKK_{HK}) \cdot (P_Kabel_fix_m + P_Schutzhaube_m + P_Band_m) \cdot K_Tm_{Ast} \cdot KBF_{Erdkabel}$$

mit:

$P_Kabel_fix_m$ = Kabelfixkosten pro Meter

K_Tm = Kabel je Trassenmeter

$P_Schutzhaube_m$ = Preis pro Meter für Kabelschutzhauben

P_Band_m = Preis pro Meter für Markierungsband

k = Index des Verzweigerbereichs, mit $k = \{1 \dots m_{ij}\}$

m_{ij} = Anzahl der Verzweigerbereiche in einem Quadranten j eines Anschlußbereichs i

3.2.1.3 Leiterkosten

Da das Anschlußnetz auf der Ebene der Doppeladern eine Sternstruktur aufweist, kann die Kostenberechnung sukzessive für jeden Verzweigerbereich erfolgen, ohne daß gemeinsame Nutzungen zu berücksichtigen wären. Wiederum erfolgt die Differenzierung zwischen Erd- und Röhrenkabelsegment primär, um die Anwendung unterschiedlicher Kapital- und Betriebskostenfaktoren zu ermöglichen. Zusätzlich ist zwischen verschiedenen Leiterdurchmessern zu unterscheiden. Bedingt durch den querschnittsabhängigen Widerstand der Kupferadern ist bei wachsender Länge zwischen HVt und Teilnehmer der Anschluß nicht mehr allein unter Verwendung der Adern mit dem geringsten Querschnitt, z.Zt. 0.40 mm, zu realisieren. Statt dessen werden bei zunehmender Entfernung zunächst auf Abschnitten, dann auf ganzer Länge der Anschlußleitung Adern der Durchmesser 0.60 mm und 0.80 mm verwendet. Üblicherweise werden pro Anschlußleitung höchstens zwei verschiedene Durchmesser verwendet. Daher muß bei der Kostenberechnung zusätzlich über die verschiedenen Durchmesser mit ihren jeweiligen Längenanteilen summiert werden. Die Berechnung der Anteile der verwendeten Leiterdurchmesser ist in Abschnitt 3.1.7 erläutert. Resultat ist der Parameter LL_{ijkl} der angibt, wieviele Meter für den Anschluß eines Kunden in einem spezifischen Verzweigerbereich in einem bestimmten Leiterdurchmesser ausgeführt sind. Es ergibt sich:

$$C_{\text{Leiter}_{ij}} = \sum_{k=1}^{m_{ij}} \sum_{l=1}^3 C_{\text{Leiter}_{ijkl}} \quad (3.2.1-9)$$

$$C_{\text{Leiter}_{ijkl}} = LL_{ijkl} \cdot AKK_{HK} \cdot P_{\text{Kabel_marginal_m}(l)} \cdot DA_{HK_{ijk}} \cdot KBF_{\text{Röhrenkabel}} \\ + LL_{ijkl} \cdot (1 - AKK_{HK}) \cdot P_{\text{Kabel_marginal_m}(l)} \cdot DA_{HK_{ijk}} \cdot KBF_{\text{Erdkabel}}$$

mit:

- k = Index des Verzweigerbereichs, mit $k = \{1 \dots m_{ij}\}$
 m_{ij} = Anzahl der Verzweigerbereiche in einem Quadranten j eines Anschlußbereichs i
 l = Index des Aderndurchmessers, mit $l = \{1, 2, 3\}$
 $l=1$ entspricht 0,4 mm; $l=2$ entspricht 0,6 mm; $l=3$ entspricht 0,8 mm
 $P_{\text{Kabel_marginal_m}}$ = Preis pro Doppeladermeter
 $DA_{HK_{ijk}}$ = Anzahl Doppeladern im Hauptkabel für einen VZB

Die Kabelmarginalkosten bezeichnen die Kosten eines Adernpaares pro Meter. Sie entsprechen der Steigung der Regressionsgeraden, die über die Preise verschiedener Kabel mit unterschiedlicher Aderanzahl ermittelt worden ist. Zu beachten ist, daß die Kabelmarginalkosten neben den reinen Materialkosten auch eine Verlegungskomponente enthalten müssen, da der Preis für die Kabelverlegung pro Meter mit zunehmender Aderanzahl steigt. Verlegekosten umfassen auch die Kosten für Verbindungsmuffen. Es sollte kommentiert werden, ob die Doppeladermeter die angemessene Bezugsgröße für die Kosten von Muffen sind oder ob andere der hier angegebenen (z.B. Kabelmeter oder Trassenmeter) oder noch einzuführende Bezugsgrößen gewählt werden sollten.

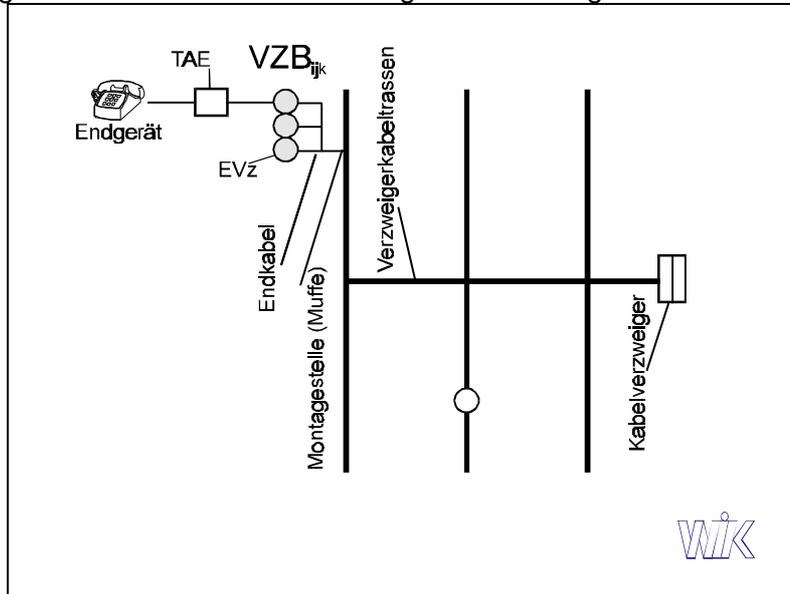
3.2.2 Kosten des Verzweigerkabelnetzes

Das Verzweigerkabelnetz verbindet den Abschlußpunkt des allgemeinen Netzes, der in - in der Regel im oder am Gebäude des Teilnehmers angebrachten - Endverzweigern (EVz) realisiert ist, mit dem nächsten Schaltpunkt im Anschlußnetz, der in Form ebenerdig installierter Kabelverzweiger den Übergang zum Hauptkabelnetz bildet. Innerhalb des Verzweigerkabelnetzes wird eine separate Kostenbetrachtung für das Endkabelsegment zwischen Verzweigerkabel und EVz durchgeführt (siehe Abschnitt 3.2.3). Kosten sind zudem zu ermitteln für die Inhouse-Verkabelung vom EVz bis zur ersten Teilnehmeranschlußeinheit (TAE) eines Anschlusses (sog. Endstellenkabel incl. TAE) (siehe Abschnitt 3.2.4). Aufgrund der hohen Variabilität der Kosten der Inhouse-Verkabelung mit den spezifischen Verhältnissen am Ort des Anschlusses werden allerdings für dieses Kostenelement lediglich Durchschnittsbetrachtungen angeregt, falls hierzu keine weitergehenden Informationen vorgelegt werden.

Die Fläche eines Verzweigerbereichs variiert mit der Anschlußdichte. Verzweigerbereiche in Gebieten hoher Teilnehmerdichte werden eine tendenziell kleinere Fläche aufweisen. Im Modell wird dem durch drei verschiedene Verzweigerbereichsgrößen Rechnung getragen. Ausgehend von der Standardgröße eines Planquadrates von 600 x 600 m werden die Verzweigerbereiche bei Überschreitung festgelegter Anschlußzahlen halbiert bzw. geviertelt. Jeder Verzweigerbereich ist durch das Vorhandensein eines Kabelverzweigers gekennzeichnet, über den alle Anschlüsse des Ver-

zweigerbereichs mit dem Hauptkabel verbunden werden.¹⁷ Vom Kabelverzweiger ausgehend werden die Doppeladern, die wiederum eine Sternstruktur aufweisen, in Kabeln und Gräben verlegt, die in einer Baumstruktur aufgebaut sind. Die folgende Abbildung stellt die Struktur eines Verzweigerbereichs in stilisierter Form dar.

Abbildung 3.2.2-A: Stilisierte Darstellung des Verzweigernetzes



Die gesamten Kosten des Verzweigerkabelnetzes (C_{VZB}) eines Ortsnetzes addieren sich aus den Kosten der einzelnen Verzweigerbereiche.

$$C_{VZB} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^{m_{ij}} C_{VZB_{ijk}} \quad (3.2.2-1)$$

i = Index des Anschlußbereichs mit $i = \{1 \dots n\}$

j = Index des Quadranten mit $j = \{1 \dots 4\}$

k = Index des Verzweigerbereichs mit $k = \{1 \dots m_{ij}\}$

m_{ij} = Anzahl der Verzweigerbereiche in einem Quadranten j eines Anschlußbereichs i

Die Kosten eines Verzweigerbereichs setzen sich ebenso wie die Kosten des Hauptkabelnetzes aus den Kosten der Infrastruktur, der Leiter sowie der Kabel zusammen. Hinzukommen die Kosten für die Anbindung der Teilnehmer an das Verzweigernetz (Endkabelnetz, Hauszuführung), die separat betrachtet werden. Zu den Kosten der Infrastruktur werden die Kosten der Kabelverzweiger addiert. Ansonsten folgen die einzelnen Formeln mit Ausnahme der noch zu erläuternden Kostenbestimmung für das Endkabelnetz der gleichen Logik wie die Formeln zur Bestimmung der Hauptkabelkosten. Die Variablen für die Zusammensetzung der zu rekonstruierenden Oberflächen, den Anteil der Kabalkanaltrassen sowie deren Zugzahl, sowie die Reserve- und Mietleitungsfaktoren im Verzweigerkabel können separat für die drei Dichteklassen angegeben werden. Generell ist davon auszugehen, daß der Anteil der Kabelkanalanlagen im Verzweigernetz geringer ist als im Hauptkabelnetz und weiterhin mit fallender Anschlußdichte kleiner wird:

$$C_{VZB_{ijk}} = C_{Infrastruktur_{ijk}} + C_{Kabel_{ijk}} + C_{Leiter_{ijk}} + C_{Endkabel_{ijk}} \quad (3.2.2-2)$$

¹⁷ Der in geringem Umfang vorkommende Fall direkt angeschlossener Kunden im Nahbereich eines Hauptverteilers, für die kein Schaltpunkt in Form von Kabelverzweigern vorgesehen ist, wird hier nicht berücksichtigt.

3.2.2.1 Infrastrukturkosten

$$C_{\text{Infrastruktur}_{ijk}} = C_{\text{Graben}_{ijk}} + C_{\text{Material}_{ijk}} + C_{\text{Kabelverzweiger}_{ijk}} \quad (3.2.2-3)$$

3.2.2.1.1 Tiefbaukosten

$$C_{\text{Graben}_{ijk}} = C_{\text{Graben Kanal}_{ijk}} + C_{\text{Graben Erdkabel}_{ijk}} \quad (3.2.2-4)$$

$$C_{\text{Graben Kanal}_{ijk}} = LG_{ijk} \cdot AKK_{VZB}(VZB - Typ) \cdot P_{\text{GrK}_m}(ZG_{VZB}(VZB - Typ); OF_{VZB}(VZB - Typ)) \cdot KBF_{\text{Kanal}}$$

$$C_{\text{Graben Erdkabel}_{ijk}} = LG_{ijk} \cdot (1 - AKK_{VZB}(VZB - Typ)) \cdot P_{\text{GrE}_m}(OF_{VZB}(VZB - Typ)) \cdot KBF_{\text{Erdkabel}} \quad (3.2.2-5)$$

mit:

LG = Trassenlänge im Verzweigerbereich

AKK_{VZB} = Anteil Kabelkanal im Verzweigerbereich

ZG_{VZB} = durchschnittliche Zugzahl der Kabelkanalanlagen im Verzweigerbereich

OF_{VZB} = Oberflächenbeschaffenheit im Verzweigerbereich

KBF = Kapital- und Betriebskostenfaktor

3.2.2.1.2 Materialkosten

$$C_{\text{Material}_{ijk}} = C_{\text{Rohre VZB Kanal}_{ijk}} + C_{\text{Schächte VZB Kanal}_{ijk}} \quad (3.2.2-6)$$

$$C_{\text{Rohre VZB Kanal}_{ijk}} = LG_{ijk} \cdot AKK_{VZB}(VZB - Typ) \cdot P_{\text{Rohr}_m} \cdot ZG_{VZB}(VZB - Typ) \cdot KBF_{\text{Kanal}} \quad (3.2.2-7)$$

$$C_{\text{Schächte VZB Kanal}_{ijk}} = \frac{LG_{ijk} \cdot AKK_{VZB}}{\text{AbsSchacht}} \cdot P_{\text{Schacht}}(ZG_{VZB}(VZB - Typ)) \cdot KBF_{\text{Kanal}} \quad (3.2.2-8)$$

3.2.2.1.3 Kosten des Kabelverzweigers

$$C_{\text{Kabelverzweiger}_{ijk}} = P_{\text{KVZ}} \cdot KBF_{\text{Kanal}} \quad (3.2.2-9)$$

P_{KVZ} = Preis pro Kabelverzweiger

3.2.2.2 Kabelkosten

$$C_{\text{Kabel}_{ijk}} = LG_{ijk} \cdot AKK_{VZB}(VZB - Typ) \cdot P_{\text{Kabel}_{\text{fix}_m}} \cdot K_{\text{Tm}_{VZB}} \cdot KBF_{\text{Röhrenkabel}} + LG_{ijk} \cdot (1 - AKK_{VZB}(VZB - Typ)) \cdot (P_{\text{Kabel}_{\text{fix}_m}} + P_{\text{Band}_m} + P_{\text{Schutzhaube}_m}) \cdot K_{\text{Tm}_{VZB}} \cdot KBF_{\text{Erdkabel}} \quad (3.2.2-10)$$

3.2.2.3 Leiterkosten

$$C_{\text{Leiter}_{ijk}} = LLVZB_{ijk} \cdot AKK_{VZB} \cdot P_{\text{Kabel}_{\text{marginal}_m(l)}} \cdot DA_{VZB_{ijk}} \cdot KBF_{\text{Röhrenkabel}} + LLVZB_{ijk} \cdot (1 - AKK_{VZB}) \cdot P_{\text{Kabel}_{\text{marginal}_m(l)}} \cdot DA_{VZB_{ijk}} \cdot KBF_{\text{Erdkabel}} \quad (3.2.2-11)$$

$DA_{VZB_{ijk}}$ = Anzahl Doppeladern im Verzweigerbereich VZB_{ijk}

3.2.3 Kosten des Endkabelnetzes

Als Endkabelnetz wird hier die Verbindung zwischen Gebäuden, in denen sich ein oder mehrere Anschlüsse befinden, und dem üblicherweise in öffentlichem Grund verlegten Verzweigerkabel bezeichnet. Erfasst werden die Kosten des Endverzweigers, der als Bauteil für den Abschlußpunkt des allgemeinen Netzes (APL) eingesetzt wird und der das Anschlußnetz mit der Verkabelung innerhalb des Gebäudes (Endstellenkabel) verbindet, das Verbindungskabel zum Verzweigerkabel (Endkabel) sowie die Montagestelle (Muffe) des Verzweigerkabels, in der Doppeladern für die Hausanschlüsse aus dem Verzweigerkabel entnommen werden. Schwierigkeiten der Kostenbestimmung ergeben sich aus der Variabilität der Kosten pro Anschluß, die sich vornehmlich aus der Art der Bebauung ergeben. Bedeutende Kostenfaktoren sind zum einen die durchschnittliche Länge der Anbindung, die sich aus der Entfernung der Gebäude zum Verzweigerkabel, also in der Regel der nächsten Straße, ergibt, und zum anderen die Zahl der Anschlüsse pro Gebäude, durch die das Ausmaß der Kostensenkungspotentiale durch gemeinsame Nutzung von Endverzweiger, Gräben und Kabeln sowie der Montagestellen vorgegeben wird. Es ergeben sich signifikante Dichtevorteile, die sich aus der Bebauungsdichte und der Art und Größe der Gebäude ergeben. Dichteeffekte können berücksichtigt werden, indem die genannten Variablen - Anschlüsse pro Endverzweiger pro Endkabel, sowie pro Montagestelle und schließlich die Endkabellänge - nach Typ des Verzweigerbereichs und damit nach gegenwärtig drei Anschlußdichteklassen differenziert werden. Eine weitere Differenzierung erscheint aber nur bei Vorliegen hinreichend feiner Daten als sinnvoll. Die Kosten des Endkabels werden wiederum anhand der Kostentreiber Grabenlänge, Kabellänge und Leiterlänge bestimmt.

$$C_{\text{Endkabel}_{ijk}} = C_{\text{Montagestellen}_{ijk}} + C_{\text{Endverzweiger}_{ijk}} + C_{\text{Graben Anbindung}_{ijk}} + C_{\text{Kabel Anbindung}_{ijk}} + C_{\text{Leiter Anbindung}_{ijk}} \quad (3.2.2-12)$$

$$C_{\text{Montagestelle}_{ijk}} = M_{\text{Asl}}(\text{VZB} - \text{Typ}) \cdot \text{Asl_VZB}_{ijk} \cdot P_{\text{M}} \cdot \text{KBF}_{\text{Endkabel}} \quad (3.2.2-13)$$

$$C_{\text{Endverzweiger}_{ijk}} = \text{EVz_Asl}(\text{VZB} - \text{Typ}) \cdot \text{Asl_VZB}_{ijk} \cdot P_{\text{EVz}} \cdot \text{KBF}_{\text{Endkabel}} \quad (3.2.2-14)$$

$$C_{\text{Graben Endkabel}_{ijk}} = G_{\text{Asl}}(\text{VZB} - \text{Typ}) \cdot \text{Asl_VZB}_{ijk} \cdot \text{LH}(\text{VZB} - \text{Typ}) \cdot P_{\text{GE}_m(\text{OF})} \cdot \text{KBF}_{\text{Endkabel}} \quad (3.2.2-15)$$

$$C_{\text{Kabel Endkabel}_{ijk}} = G_{\text{Asl}}(\text{VZB} - \text{Typ}) \cdot \text{Asl_VZB}_{ijk} \cdot \text{LH}(\text{VZB} - \text{Typ}) \cdot P_{\text{Kabel_fix}_m} \cdot \text{KBF}_{\text{Endkabel}} \quad (3.2.2-16)$$

$$C_{\text{Leiter Endkabel}_{ijk}} = \text{DA_Asl}(\text{VZB} - \text{Typ}) \cdot \text{Asl_VZB}_{ijk} \cdot \text{LH}(\text{VZB} - \text{Typ}) \cdot P_{\text{Kabel_marginal}_m(l)} \cdot \text{KBF}_{\text{Endkabel}} \quad (3.2.2-17)$$

mit:

P_{M} = Preis pro Montagestelle

P_{EVz} = Preis pro Endverzweiger

M_{Asl} = Muffen pro Anschluß ($M_{\text{Asl}} \leq 1$, d.h. ein Wert von 0.1 bedeutet, daß über eine Muffe durchschnittlich 10 Anschlüsse angebunden sind.)

EVz_Asl = Endverzweiger pro Anschluß (s.o.)

G_{Asl} = Graben pro Anschluß (s.o.)

DA_Asl = Doppeladern pro Anschluß

LH = Durchschnittliche Länge der Hauszuführung

VZB-Typ = Typklasse des Verzweigerbereichs

3.2.4 Kosten der Endstellenkabel

Die Kosten der Verbindung vom Endverzweiger zur ersten TAE können aufgrund der hohen Anschlußspezifität in einem allgemeinen Modell nur unvollkommen erfaßt werden. Daher wird vorgeschlagen, mit drei Werten zu arbeiten, die dem Durchschnitt der Investitionskosten pro Anschluß in den drei definierten Anschlußdichteklassen entsprechen. Dem entsprechend ergibt sich:

$$C_{\text{Endstellenkabel}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^{m_{ij}} C_{\text{Endstellenkabel}_{ijk}} \quad (3.2.2-18)$$

$$C_{\text{Endstellenkabel}_{ijk}} = \text{Asl_VZB}_{ijk} \cdot (P_{\text{EndStk}} (\text{VZB} - \text{Typ}) + P_{\text{TAE}}) \cdot \text{KBF}_{\text{Endstellenkabel}} \quad (3.2.2-19)$$

3.2.5 Hauptverteilerkosten

Die Kosten des Hauptverteilers werden als lineare Funktion der Doppeladern im Hauptkabel modelliert. Eine fixe Komponente deckt Kosten der Unterbringung des HVt sowie der Räume für die Hereinführung der Kabel in das Gebäude der Vermittlungsstelle oder der Konzentratoreinheit.

$$C_{\text{HVt}} = \sum_{i=1}^n C_{\text{HVt}_i} \quad (3.2.2-20)$$

$$C_{\text{HVt}_i} = P_{\text{HVt_Fix}} \cdot \text{KBF}_{\text{Gebäude}} + P_{\text{HVt_DA}} \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^{m_{ij}} \text{DA}_{\text{HK}_{ijk}} \cdot \text{KBF}_{\text{Ausstattung}} \quad (3.2.2-21)$$

mit:

$P_{\text{HVt_Fix}}$ = Fixe Investition für den HVt

$P_{\text{HVt_DA}}$ = Hauptverteilerinvestition pro Doppelader

$\text{DA}_{\text{HK}_{ijk}}$ = Anzahl Doppeladern im Hauptkabel für die Anschlüsse des Verzweigerbereiches VZB_{ijk}

3.3 Kostenermittlung für Vermittlungseinrichtungen

Die Kosten der Vermittlungseinheiten auf der Ebene des Ortsnetzes setzen sich zusammen aus den Kosten der Teilnehmervermittlungsstellen (TVSt) und den Kosten der abgesetzten Konzentratoren, die räumlich ausgelagerte Funktionseinheiten der Teilnehmervermittlungsstelle darstellen. Die separate Kostenermittlung für die Konzentratoreinheiten ist dennoch sinnvoll, da jeder Standort Kosten für Unterbringung etc. verursacht und Unteilbarkeiten der Investition zu berücksichtigen sind. Die folgenden Formeln und die enthaltenen Baugruppenbezeichnungen beziehen sich auf das EWSD-System der Fa. Siemens.¹⁸

Die Kostenermittlung setzt voraus, daß bekannt ist, welche Anschlußbereiche direkt oder über AK an die verschiedenen TVSt angeschlossen sind. Die abgesetzten Konzentratoren sind annahmegemäß jeweils an genau einer Vermittlungsstelle angebunden. Es wird im folgenden angenommen, daß diese Zuordnung bekannt ist (siehe Abschnitt 3.1.10). Dieser Zuordnung folgend kann ein Ortsnetz in einen oder mehrere Vermittlungsbereiche zerlegt werden. Als Vermittlungsbereiche werden in diesem Zusammenhang die zusammengefaßten Anschlußbereiche bezeichnet, für die Vermittlungsfunktionen in derselben TVSt ausgeführt werden. Es ergibt sich:

¹⁸ Vgl. Siemens AG (Hrsg.): Technische Systembeschreibung für EWSD-Version 11, o.J. sowie Siemens AG (Hrsg.): Technische Unterlage VE-Ausbau und Verkehrsleistungsdaten für die EWSD-Versionen 11 u. 12, 1997. Es wird angenommen, daß die Kosten für das EWSD-System weitgehend den Kosten des ebenfalls von der DTAG eingesetzten Systems S12 entsprechen.

$$C_{\text{Vermittlung}} = \sum_{a=1}^s C_{VB_a} \quad (3.3-1)$$

$$C_{VB_a} = C_{TVSt_a} + \sum_{d=1}^{t_a} C_{AK_{ad}} \quad (3.3-2)$$

mit C_{VB} = Kosten eines Vermittlungsbereichs

3.3.1 Kosten der TVSt

Bei der Bestimmung der Kosten der TVSt wird von der Prämisse ausgegangen, daß drei wesentliche Kostentreiber identifiziert werden können. Es sind dies die Zahl der direkt angeschlossenen Teilnehmer, also der Teilnehmer des eigenen Anschlußbereichs, die Belegungsdauer der ein- und ausgehenden Kanäle und die Zahl der Anrufversuche (Ereignisse). Daneben entstehen Kosten, die keinem der genannten Kostentreiber unmittelbar zugeordnet werden können, wie Kosten für die Unterbringung der Vermittlungsstelle, Stromversorgung, Klimatisierung und ähnliches. Es ergibt sich:

$$C_{TVSt} = C_{\text{Anschluß}} + C_{\text{Nutzung}} + C_{\text{Gebäude und Ausstattung}} \quad (3.3.1-1)$$

3.3.1.1 Anschlußbezogene Kosten

Im folgenden wird zunächst in knapper Form die Ermittlung der anschlußbezogenen Kosten dargestellt.¹⁹ Bei der Kostenberechnung für das Teilnehmeranschlußnetz wird nicht zwischen Anschlußtypen unterschieden, da davon ausgegangen wird, daß sich sowohl analoge Anschlüsse wie auch ISDN-Basisanschlüsse über eine Kupferdoppelader realisieren lassen, ohne daß Änderungen im Bereich der Linientechnik notwendig sind. Der Leitungsabschluß (Beschaltungseinheit) in der Vermittlungsstelle differiert dagegen nach Anschlußtypen. Die Kosten der Teilnehmeranschlußmodule lassen sich als Kosten pro analogem Anschluß oder als Kosten pro ISDN-Basisanschluß ausdrücken.

Beim EWSD-System werden zwei Bauteile als Beschaltungseinheiten für analoge (SLMA) bzw. ISDN - Basisanschlüsse (SLMD) eingesetzt, über die jeweils 16 Teilnehmer angeschlossen werden können. Als anschlußbezogene Gesamtkosten der TVSt ergeben sich :

$$C_{\text{Anschluß}} = Asl_analog_{a0} \cdot \frac{P_SLMA}{16} \cdot KBF_{\text{Vermittlung}} + Asl_digital_{a0} \cdot \frac{P_SLMD}{16} \cdot KBF_{\text{Vermittlung}} \quad (3.3.1-2)$$

mit:

Asl_analog = Anzahl der analogen Teilnehmeranschlüsse im ASB der TVSt

$Asl_digital$ = Anzahl der Basisanschlüsse im ASB der TVSt

P_SLMA = Preis pro SLMA

P_SLMD = Preis pro SLMD

3.3.1.2 Nutzungsabhängige Kosten

Nutzungsabhängige Kosten können in Relation gesetzt werden zur Verbindungsnachfrage in Erlang sowie zur Zahl der Verbindungsaufbauversuche (Call attempts, CA):

$$C_{\text{Nutzung}_a} = C_{\text{Erlang}_a} + C_{CA_a} \quad (3.3.1-3)$$

¹⁹ Anschlußbezogene Kosten der Teilnehmervermittlungsstelle sind bei der Kostenberechnung für den Teilnehmeranschluß zu berücksichtigen. Sie sind kein Bestandteil der Kosten für Zusammenschaltung und kein Bestandteil der Kosten des Zugangs zur Teilnehmeranschlußleitung bei Entbündelung am Hauptverteiler.

3.3.1.2.1 Verbindungsdauerabhängige Kosten

Verbindungsdauerabhängige Kosten ergeben sich durch die an der Verkehrsmenge in der Hauptverkehrsstunde ausgerichtete Bereitstellung von Kanälen im Koppelnetz, in den Teilnehmerleitungseinheiten (Digital line unit, DLU) und in den anschluß- und netzseitigen Anschlußgruppen (Line trunk group, LTG):

$$C_{Erlang_a} = C_{DLU_a} + C_{LTG\ Tin_a} + C_{LTG\ Netz_a} + C_{Koppelnetz_a} \quad (3.3.1-4)$$

Der erste Schritt besteht in der Bestimmung der notwendigen Zahl an Teilnehmerleitungseinheiten (DLU). Jede DLU verfügt über eine begrenzte Zahl von Steckplätzen für Teilnehmeranschlußmodule, aus der sich eine bindende Obergrenze von Teilnehmern pro DLU unabhängig vom Verkehrsvolumen ergibt.²⁰ Die wesentliche Funktion der DLU besteht in der Konzentration des gehenden Teilnehmerverkehrs auf 2 Mbit/s-Multiplexleitungen. Jede DLU stellt zum Koppelnetz 120 Nutzkanäle in der Form von 4 x 2 Mbit/s zur Verfügung. In Abschnitt 3.1.11 wurde ausgehend vom Teilnehmerverkehr mit Hilfe der Erlang-Verlustformel die notwendige Zahl der DLU pro Anschlußbereich ermittelt.

Es ergibt sich:

$$C_{DLU_a} = \#DLU_a \cdot P_{DLU} \cdot KBF_{Vermittlung} \quad (3.3.1-5)$$

mit:

$$P_{DLU} = \text{Preis pro DLU}$$

Je zwei Teilnehmerleitungseinheiten sind gekreuzt mit zwei Anschlußgruppen (LTG) verbunden, die die einheitliche Schnittstelle zum Koppelnetz darstellen. Durch diese Zuordnungsregel entspricht die Zahl der teilnehmerseitigen Anschlußgruppen der Zahl der Teilnehmerleitungseinheiten an der Vermittlungsstelle zuzüglich der Anschlußgruppen für den Anschluß der abgesetzt lokalisierten Teilnehmerleitungseinheiten.²¹

$$C_{LTG\ Tin_a} = \sum_{d=0}^{t_x} \#DLU_{ad} \cdot P_{LTG} \cdot KBF_{Vermittlung} \quad (3.3.1-6)$$

mit:

$$P_{LTG} = \text{Preis pro LTG}$$

Anschlußgruppen stellen auch die Schnittstellen zum Verbindungsnetz, also zu Übertragungseinrichtungen von und zu anderen Vermittlungsstellen dar. Jede LTG stellt Schnittstellen für 4 x 2Mbit/s Verbindungsleitungen (DSV2) bereit. Zur Ermittlung der Zahl der netzseitigen LTG pro Vermittlungsstelle ist es erforderlich, die Zahl der DSV2 zu bestimmen, die an der TVSt angeschlossen sind, um den Externverkehr der Vermittlungsstelle, also den Verkehr, der Ursprung oder Ziel im Bereich einer anderen VSt hat, abzuwickeln. Die Ermittlung der Zahl der DSV2 für die Verbindungen im Ortsnetz sowie für die Verbindungen zum Fernnetz sind im Abschnitt 3.1.10 beschrieben. Es ergibt sich:

$$C_{LTG\ Netz_a} = \#DSV2_a \cdot P_{LTG} \cdot KBF_{Vermittlung} \quad (3.3.1-7)$$

Die Durchschaltung von ein- und ausgehendem Kanal erfolgt im Koppelnetz. Diese Funktion erfüllt das Koppelnetz durch Veränderung der Lage eines 64 kbit/s Kanals innerhalb einer Multiplexleitung und durch Wechsel der Multiplexleitung unter Beibehaltung der Zeitlage des Kanals (Raumstufe). Die Kombination von Zeit- und Raumstufen gewährleistet quasi volle Erreichbarkeit, d.h. ein eingehender Kanal kann mit einem beliebigen ausgehenden Kanal verbunden werden.

²⁰ Diese Obergrenze beträgt für die Version 11 55 SLMAI/SLMD entsprechend 880 Teilnehmer.

²¹ Hinzukommen können LTG für nicht über DLU angeschlossene Teilnehmer, was hier nicht berücksichtigt wird.

Im Grundausbau verfügt das Koppelnetz im System EWSD über eine Durchschaltkapazität von 120 x 2 Mbit/s. Die weiteren Ausbaustufen erfolgen in Schritten von jeweils weiteren 120 x 2 Mbit/s bis hin zu einem Maximalausbau von 1920 x 2 Mbit/s. Die notwendigen Zahl der 2 Mbit/s-Leitungen im Koppelnetz läßt sich ermitteln, indem die anschluß- und verbindungsnetzseitigen Anschlußgruppen (LTG) addiert und mit 4 multipliziert werden, da jede LTG Anschlußmöglichkeiten für 4x 2 Mbit/s bietet. Die Zahl der Koppelnetzbaugruppen ergibt sich dann durch Division der 2 Mbit/s-Leitungen durch 120 und anschließendes Aufrunden zur Berücksichtigung der Unteilbarkeiten:

$$C_{\text{Koppelnetz}_a} = \text{aufrunden}\left[\left(\#LTG_{\text{TIn}_a} + \#LTG_{\text{Netz}_a}\right) \cdot 4 \div 120\right] \cdot P_{\text{KN}} \cdot KBF_{\text{Vermittlung}} \quad (3.3.1-8)$$

mit:

P_{KN} = Preis einer Koppelnetzbaugruppe

3.3.1.2.2 Ereignisabhängige Kosten

Die Suche eines freien Kanals im Koppelnetz gemäß dem Verbindungswunsch des Anrufers wird in digitalen Vermittlungsstellen von einer Mikroprozessorsteuerung vorgenommen, die im EWSD als Koordinationsprozessor CP bezeichnet wird²². Die Aufgabe der Prozessorsteuerung besteht etwa in der Auswertung der Signalisierungsinformation, der Wegesuche und Durchschaltung im Koppelnetz, der Verkehrslenkung oder der Tarifierung und Gebührenerfassung. Diese Aufgaben werden bei jedem Anrufversuch abgearbeitet. Die Kapazität der Mikroprozessorsteuerung der Vermittlungsstelle bemißt sich daher nach Anrufversuchen in der Hauptverkehrsstunde. Hierbei sind auch Anrufversuche zu zählen, die keinen vollständigen Verbindungsaufbau bis zum gerufenen Teilnehmer nach sich ziehen. Die gesamte Verbindungsdauer ist dagegen für die benötigte Prozessorkapazität von wesentlich geringerer Relevanz. Die dynamische Leistungsfähigkeit einer Vermittlungsstelle wird daher in BHCA (busy hour call attempts) angegeben. Die BHCA lassen sich ermitteln indem der Teilnehmerverkehr in Minuten durch die durchschnittliche Gesprächsdauer geteilt und das Ergebnis durch einen Faktor für nicht-erfolgreiche Verbindungsversuche dividiert wird (vgl. Abschnitt 3.1.10). Zu berücksichtigen ist, daß eine Internverbindung nur einen Verbindungsaufbau impliziert; daher ist lediglich gehender Internverkehr pro Teilnehmer zu berücksichtigen, um Doppelzählungen zu vermeiden.

Es wird angenommen, daß die Investition in Verbindungsbearbeitungskapazität bei geringen Anforderungen an die dynamische Leistungsfähigkeit aufgrund von Unteilbarkeiten fix ist. Ab einem festzulegenden Grenzwert für BHCA werden dann sukzessive Erweiterungen der Prozessorsteuerung durch zusätzliche Hardware und angepaßte Software nötig. Diese Erweiterungen werden für das EWSD-System in Schritten zu 1000 BHCA angeboten. Da die Bereitstellung von Rufverarbeitungskapazität durch das Zusammenwirken einer Vielzahl von Baugruppen und Steuerungssoftware erfolgt, deren Einzelerfassung sehr aufwendig ist, wird als pragmatische Alternative vorgeschlagen, bei der Ermittlung des Volumens für ereignisabhängige Investitionen abweichend vom üblichen Vorgehen eine Orientierung an der Praxis der Systemhersteller vorzunehmen, bei der Preise nicht für einzelne Baugruppen sondern für die Funktionalität "call processing" insgesamt angegeben werden.

Die gesamte ereignisabhängige Investition ergibt sich als:

²² Es handelt sich genau genommen um mehrere Prozessoren mit verteilten Aufgaben.

$$C_{CP} = \left[\begin{array}{l} P_{CP} \cdot KBF_{Vermittlung} \quad \left| \text{für } BHCA_{D_{TVSt_a}} \leq Kap_{CP} \right. \\ \left(P_{CP} + \text{aufgerundet} \left(\frac{BHCA_{D_{TVSt_a}} - Kap_{CP}}{1000} \right) \cdot P_{BHCA} \right) \cdot KBF_{Vermittlung} \\ \left. \text{für } BHCA_{D_{TVSt_a}} > Kap_{CP} \right. \end{array} \right] \quad (3.3.1-9)$$

mit:

P_{CP} = Basispreis für die Prozessorsteuerung

$BHCA_{TVSt}$ = Verkehrslast einer Teilnehmervermittlungsstelle

P_{BHCA} = Preis für zusätzliche 1000 BHCA Verarbeitungskapazität

Kap_{CP} = Verarbeitungskapazität in BHCA der VSt-Grundausrüstung

3.3.1.3 Kosten für Unterbringung und Ausstattung von Vermittlungseinrichtungen

Schließlich sind die Kosten zu berücksichtigen, die keinem der genannten Kostentreiber direkt zuzurechnen sind. Hierunter fallen Kosten aus Investitionen in Unterbringung, Stromversorgung incl. Notstromversorgung, Klimatisierung, Terminals für Wartung und Betrieb, Ersatzteile, Werkstattausrüstung, Büroausrüstung, Möbel und sonstiges. Es wird angenommen, daß sich diese Investitionen in absoluten Beträgen für einen TVSt-Standort beziffern lassen. Die angewendeten Kapital- und Betriebskostenfaktoren sollten die durchschnittlich längere ökonomische Lebensdauer von Gebäuden und Ausstattungsinvestitionen im Vergleich zur sonstigen Hard- und Software der Vermittlungsstelle reflektieren. Die Kosten für Unterbringung und Ausstattung von Vermittlungseinrichtungen ergeben sich als:

$$C_{Gebäude + Ausstattung_{TVSt}} = P_{Unterbringung_{TVSt}} \cdot KBF_{Gebäude} + P_{Ausstattung_{TVSt}} \cdot KBF_{Ausstattung} \quad (3.3.1-10)$$

3.3.2 Kosten der abgesetzten Konzentratoren

Die Kostenermittlung für die abgesetzten Konzentratoren erfolgt in prinzipiell gleicher Weise wie für Vermittlungsstellen, daher wird auf eine detaillierte Darstellung der Berechnungsformeln verzichtet. Abgesetzt lokalisiert sind die Teilnehmeranschlußmodule (SLMA/SLMD) und die Teilnehmerleitungseinheiten (DLU). Anschlußgruppen (LTG) sind ausschließlich in der TVSt lokalisiert. Annahmegemäß werden von den Konzentratoren keine Vermittlungsfunktionen wahrgenommen, so daß sich die nutzungsabhängigen Kosten auf die Kosten der Teilnehmerleitungseinheiten reduzieren. Die Kosten für Unterbringung und Ausstattung liegen aufgrund des geringeren Platzbedarfs und Funktionsumfangs unter denen für eine TVSt:

$$C_{AK} = C_{Anschluß_{AK}} + C_{Erlang_{AK}} + C_{Gebäude + Ausstattung_{AK}} \quad (3.3.2-1)$$

mit:

$$C_{Gebäude + Ausstattung_{AK}} = P_{Unterbringung_{AK}} \cdot KBF_{Gebäude} + P_{Ausstattung_{AK}} \cdot KBF_{Ausstattung} \quad (3.3.2-2)$$

3.4 Kostenermittlung für Übertragungswege im Ortsnetz

3.4.1 Verbindungen zwischen abgesetztem Konzentrator und TVSt

Da in den abgesetzten Konzentratoren keine Vermittlung erfolgt, wird der gesamte Teilnehmerverkehr über Lichtwellenleiter (LWL) zur zugeordneten TVSt geleitet. Eine Unterscheidung zwischen Verbindungen, die Quelle und Senke im selben Anschlußbereich haben, und Verbindungen zu anderen Anschlußbereichen ist daher nicht notwendig. Übertragungssysteme lassen sich zerlegen in Endeinrichtungen (Multiplexer und optische Leitungsendgeräte), Zwischenregeneratoren und in die Linientechnik, die

sich wie im Anschlußbereich in die Ebenen der Infrastruktur, der Kabel und der Leiter aufspalten läßt. Im folgenden wird von einer festgelegten Zahl von Fasern pro Kabel ausgegangen, so daß lediglich die Kabelebene betrachtet werden muß. Die abgesetzten Konzentratoren sind an genau eine Vermittlungsstelle angebunden, so daß das Netz auf allen Ebenen eine Sternstruktur aufweist. Die Kosten der Konzentratoranbindung für das gesamte Ortsnetz ergeben sich als:

$$C_{Transport} = \sum_{a=1}^s \sum_{d=1}^{t_a} C_{Transport_{ad}} \quad (3.4.1-1)$$

$$C_{Transport_{ad}} = C_{Übertragungstechnik} + C_{ZWR} + C_{Linientechnik} \quad (3.4.1-2)$$

3.4.1.1 Kosten der Übertragungstechnik

Die Kosten der übertragungstechnischen Einrichtungen an den beiden Enden einer Verbindung lassen sich in die Kosten der Multiplexer und die Kosten der Leitungsendgeräte zerlegen. Da angenommen wird, daß die Übertragung über Lichtwellenleiter erfolgt, ist es erforderlich, die 2 Mbit/s Signale in einen 140 Mbit/s Strom zu überführen. In der PDH-Technik ist zu diesem Zweck das Durchlaufen mehrere Multiplexhierarchiestufen (2/34 Mbit/s und 34/140 Mbit/s) an beiden Enden der Verbindung notwendig. Zunächst ist der gesamte Teilnehmerverkehr eines abgesetzten Konzentrators in das 2 Mbit/s Äquivalent zu überführen. Da Verbindungen zwischen DLU und LTG bereitgestellt werden, ergibt sich die Zahl der 2 Mbit/s-Leitungen (DSV2) aus der Zahl der DLU multipliziert mit 4 zuzüglich weiterer DSV2 für die Bereitstellung von Festverbindungen gemäß einem festzulegenden Faktor. Dieser Wert kann gegebenenfalls nochmals erhöht werden, um Reservekapazitäten im Übertragungsnetz zu berücksichtigen (vgl. Abschnitt 2.3.5).²³

Es ergibt sich:

$$C_{Übertragungstechnik_{ad}} = (\#MUX_{2/34} \cdot P_MUX_{2/34} + \#MUX_{34/140} \cdot P_MUX_{34/140} + \#LE140 \cdot P_LE140) \cdot KBF_{Übertragungstechnik} \quad (3.4.1-3)$$

mit:

$$\#MUX_{2/34} = \text{aufgerundet} \left(\frac{\#DSV2_{ad} \cdot FV_Fkt \cdot Res_Fkt}{16} \right)$$

$$\#MUX_{34/140} = \text{aufgerundet} \left(\frac{\#MUX_{2/34}}{4} \right) \quad (3.4.1-4)$$

$$\#LE140 = \#MUX_{34/140}$$

mit:

$\#MUX_{x/y}$ = Anzahl der Multiplexerpaare einer Multiplexstufe

$\#DSV2$ = Anzahl der DSV2

$\#LE140$ = Anzahl der Leitungsendgerätpaare 140 Mbit/s

$P_MUX_{x/y}$ = Preis für ein Paar Multiplexer einer Multiplexstufe

P_LE140 = Preis für ein Paar Leitungsendgeräte 140 Mbit/s

FV_Fkt = Zuschlagsfaktor zu den DSV2 für bereitgestellte Festverbindungen

Res_Fkt = Zuschlagsfaktor zu den DSV2 für Reservekapazitäten

3.4.1.2 Kosten der Zwischenregeneratoren

Bei längeren Übertragungsstrecken sind Zwischenregeneratoren (ZWR) in regelmäßigen Abständen vorzusehen:

²³ Der Fall nicht vollständig beschalteter DLUs wird vernachlässigt.

$$C_{ZWR} = \left[\begin{array}{l} \text{aufgerundet} \left(\frac{AK_{ad-TVSt_a}}{Abs_ZWR} \right) \cdot P_ZWR \cdot KBF_{\text{Übertragungstechnik}} \quad \left| \quad \text{für} \quad \frac{AK_{ad-TVSt_a}}{Abs_ZWR} \geq 1 \right. \\ \left. \left| \quad 0 \quad \text{für} \quad \frac{AK_{ad-TVSt_a}}{Abs_ZWR} < 1 \right. \right] \quad (3.4.1-5)$$

mit:

$AK_{ad-TVSt_a}$ = Entfernung zwischen abgesetztem Konzentrador und TVSt

P_ZWR = Preis eines Zwischenregenerators

Abs_ZWR = Einzuhaltende Maximalentfernung zwischen Zwischenregeneratoren

3.4.1.3 Kosten der Linientechnik

Die Kosten der Linientechnik ergeben sich aus den Kosten der Kabelverlegung sowie den Kosten des Glasfaserkabels.

$$C_{\text{Linientechnik}} = C_{\text{Infrastruktur}} + C_{\text{Kabel}} \quad (3.4.1-6)$$

3.4.1.3.1 Kosten der Infrastruktur

Die Kosten der Infrastruktur sind abhängig von der Entfernung zwischen AK und TVSt. Darüber hinaus sind Annahmen über die Verlegeweise und die Kosten pro Meter in Abhängigkeit von Oberfläche und Bodenbeschaffenheit zu treffen.

$$C_{\text{Infrastruktur}} = C_{\text{Graben}} + C_{\text{Material}} \quad (3.4.1-7)$$

$$C_{\text{Graben}} = C_{\text{Graben Kanal}} + C_{\text{Graben Erdkabel}} \quad (3.4.1-8)$$

$$C_{\text{Graben Kanal}} = AK_{ad-TVSt_a} \cdot AKK_{VK} \cdot P_{-GrK_m}(ZG_{VK}; OF_{VK}) \cdot KBF_{\text{Kanal}} \quad (3.4.1-9)$$

$$C_{\text{Graben Erdkabel}} = AK_{ad-TVSt_a} \cdot (1 - AKK_{VK}) \cdot P_{-GrE_m}(OF_{VK}) \cdot KBF_{\text{GF-Erdkabel}}$$

$$C_{\text{Material}} = C_{\text{Rohre}} + C_{\text{Band/Schutzhauben}} + C_{\text{Schächte}} \quad (3.4.1-10)$$

$$C_{\text{Rohre}} = AK_{ad-TVSt_a} \cdot AKK_{VK} \cdot P_{-Rohr_m} \cdot ZG_{VK} \cdot KBF_{\text{Kanal}}$$

$$C_{\text{Schächte}} = \frac{AK_{ad-TVSt_a} \cdot AKK_{VK}}{Abs_Schacht} \cdot P_{-Schacht}(ZG_{VK}) \cdot KBF_{\text{Kanal}}$$

$$C_{\text{Band/Schutzhauben}} = AK_{ad-TVSt_a} \cdot (1 - AKK_{VK}) \cdot (P_{-Band_m} + P_{-Schutzhaube_m}) \cdot KBF_{\text{GF-Erdkabel}} \quad (3.4.1-11)$$

mit:

AKK_{VK} = Anteil der Kabelkanaltrassen am Verbindungskabel

3.4.1.3.2 Kabelkosten

Es wird angenommen, daß für ein LWL-System Einmoden-Glasfaserkabel mit 12 Fasern verwendet werden. In den Preisen pro Meter sind sowohl Verlegung wie Spleißung zu berücksichtigen. Die Kabelkosten ergeben sich als:

$$C_{\text{Kabel}} = AK_{ad-TVSt_a} \cdot AKK_{VK} \cdot P_{-GF_m} \cdot KBF_{\text{GF-Röhrenkabel}} + AK_{ad-TVSt_a} \cdot (1 - AKK_{VK}) \cdot P_{-GF_m} \cdot KBF_{\text{GF-Erdkabel}} \quad (3.4.1-12)$$

mit:

P_{-GF_m} = Preis Glasfaser pro Meter

Die so ermittelten Kosten sind entsprechend den bereitgestellten DSV2 auf vermittelte Verbindungen und Festverbindungen aufzuteilen.

3.4.2 Verbindungen zwischen TVSt im Ortsnetz

Für den Transport zwischen Teilnehmervermittlungsstellen sind die Kostentreiber relevant, die bereits für Verbindungen zwischen abgesetztem Konzentrador und TVSt beschrieben worden sind. Zuvor sind allerdings die Verkehrsbeziehungen innerhalb des Ortsnetzes zu determinieren. Zunächst ist es notwendig, den Teilnehmerverkehr aufzuspalten in Verkehr, der innerhalb des Bereichs einer Vermittlungsstelle bleibt, d.h. Anrufer und Gerufener liegen im selben Vermittlungsbereich. Der verbleibende Verkehr läßt sich als Externverkehr beschreiben, der entweder zu einem Teilnehmer im selben Ortsnetz fließt oder das Ortsnetz verläßt. Zur Ermittlung des logischen Netzes werden folgende Konventionen getroffen. Vom gesamten angenommenen Teilnehmerverkehr wird ein festzulegender Prozentsatz als netzextern (Fernverkehr) deklariert. Dieser Verkehr wird zu einem Punkt innerhalb des Ortsnetzes geführt, der als Übergabepunkt zum Fernnetz fungiert. Dieser ist annahmegemäß mit einer TVSt kolloziert. Der verbleibende Ortsverkehr verteilt sich auf die TVSt nach den Anteilen des Teilnehmerverkehrs einer Vermittlungsstelle zum Teilnehmerverkehr des gesamten Ortsnetzes. Es wird Symmetrie zwischen gehendem und kommdendem Verkehr unterstellt. Die Vermittlungsstellen des Ortsnetzes sind auf logischer Ebene

voll vermascht, d.h. eine Ortsverbindung wird höchstens zweimal vermittelt: In der TVSt des Ursprungsvermittlungsbereichs und in der TVSt des Zielvermittlungsbereichs.

Aufgrund der logischen Verkehrsbeziehungen wird das physikalische Netz wie folgt konstruiert. Den logischen Verbindungen zwischen zwei TVSt entspricht ein Übertragungssystem zwischen den Netzknoten, das anhand des direkten Verkehrs zuzüglich Festverbindungen dimensioniert wird. Im Verbindungsnetz werden auch 565 Mbit/s-LWL-Systeme berücksichtigt, die eingesetzt werden, falls ansonsten mehr als ein 140 Mbit/s-System benötigt würde. Der Fernverkehr wird annahmegemäß zusammen mit dem Ortsverkehr in einem gemeinsamen Übertragungssystem zu der TVSt geführt, die mit dem Übergabepunkt des Fernnetzes kolloziert ist. Die Kostenberechnung folgt im wesentlichen der oben erläuterten Berechnung für die Verbindungen zwischen Konzentrator und TVSt. Es ergibt sich:

$$C_{\text{Verbindungsnetz}} = \sum C_{\text{Verbindung}_{x/y}} \quad (3.4.2-1)$$

$$C_{\text{Verbindung}_{x/y}} = C_{\text{Endgeräte}} + C_{\text{Verstärker}} + C_{\text{Linientechnik}} \quad (3.4.2-2)$$

3.4.2.1 Kosten der Übertragungstechnik

$$C_{\text{Endgeräte}_{x/y}} = (\# \text{MUX}_{2/34} \cdot P_{\text{MUX}_{2/34}} + \# \text{MUX}_{34/140} \cdot P_{\text{MUX}_{34/140}} + \# \text{MUX}_{140/565} \cdot P_{\text{MUX}_{140/565}} + \# \text{LE140} \cdot P_{\text{LE140}} + \# \text{LE565} \cdot P_{\text{LE565}}) \cdot KBF_{\text{Übertragungstechnik}} \quad (3.4.2-3)$$

mit:

$$\# \text{MUX}_{2/34} = \text{aufgerundet} \left(\frac{(\# \text{DSV2}_{x/y} + \# \text{DSV2}_{x/FVSt}) \cdot FV_Fkt \cdot Res_Fkt}{16} \right)$$

$$\# \text{MUX}_{34/140} = \text{aufgerundet} \left(\frac{\# \text{MUX}_{8/34}}{4} \right) \quad (3.3.2-4)$$

$$\# \text{MUX}_{140/565} = \text{aufgerundet} \left(\frac{\# \text{MUX}_{34/140}}{4} \right) \text{ für } \# \text{MUX}_{34/140} > 1, 0 \text{ sonst}$$

$$\# \text{LE140} = \begin{cases} \# \text{MUX}_{34/140} & \text{für } \# \text{MUX}_{34/140} = 1 \\ 0 & \text{für } \# \text{MUX}_{34/140} > 1 \end{cases}$$

$$\# \text{LE565} = \# \text{MUX}_{140/565}$$

3.4.2.2 Kosten für Zwischenregeneratoren

$$C_{\text{ZWR}} = \begin{cases} \text{aufgerundet} \left(\frac{\text{TVSt}_x - \text{TVSt}_y}{\text{Abs_ZWR}} \right) \cdot P_{\text{ZWR}} \cdot KBF_{\text{Übertragungstechnik}} & \left| \text{für } \frac{\text{TVSt}_a - \text{TVSt}_b}{\text{Abs_ZWR}} \geq 1 \right. \\ 0 & \left. \text{für } \frac{\text{TVSt}_a - \text{TVSt}_b}{\text{Abs_ZWR}} < 1 \right. \end{cases} \quad (3.4.2-5)$$

3.4.2.3 Kosten der Linientechnik

3.4.2.3.1 Kosten der Infrastruktur

$$C_{\text{Infrastruktur}_{x/y}} = C_{\text{Graben}} + C_{\text{Material}} \quad (3.4.2-6)$$

$$C_{\text{Graben}} = C_{\text{Graben Kanal}} + C_{\text{Graben Erdkabel}} \quad (3.4.2-7)$$

$$C_{\text{Graben Kanal}} = TVSt_x \cdot TVSt_y \cdot AKK_{VK} \cdot P_{GK_m}(ZG_{VK}; OF_{VK}) \cdot KBF_{\text{Kanal}} \quad (3.4.2-8)$$

$$C_{\text{Graben Erdkabel}} = TVSt_x \cdot TVSt_y \cdot (1 - AKK_{VK}) \cdot P_{GE_m}(OF_{VK}) \cdot KBF_{\text{GF-Erdkabel}}$$

$$C_{\text{Material}} = C_{\text{Rohre}} + C_{\text{Band/Schutzhauben}} + C_{\text{Schächte}} \quad (3.4.2-9)$$

$$C_{\text{Rohre}} = TVSt_x \cdot TVSt_y \cdot AKK_{VK} \cdot P_{Rohr_m} \cdot ZG_{VK} \cdot KBF_{\text{Kanal}}$$

$$C_{\text{Schächte}} = \frac{TVSt_x \cdot TVSt_y \cdot AKK_{VK}}{Abs_Schacht} \cdot P_{Schacht}(ZG_{VK}) \cdot KBF_{\text{Kanal}}$$

$$C_{\text{Band/Schutzhauben}} = TVSt_x \cdot TVSt_y \cdot (1 - AKK_{VK}) \cdot (P_{Band_m} + P_{Hauben_m}) \cdot KBF_{\text{GF-Erdkabel}}$$

(3.4.2-10)

3.4.2.3.2 Kabelkosten

Es wird angenommen, daß für 140 Mbit/s und 565 Mbit/s LWL-Systeme Einmoden-Glasfaserkabel mit 12 Fasern verwendet werden. In den Preisen pro Meter sind Verlegung sowie Spleißung zu berücksichtigen. Die Kabelkosten ergeben sich als:

$$C_{\text{Kabel}} = TVSt_x - TVSt_y \cdot AKK_{VK} \cdot P_{GF_m} \cdot KBF_{GF\text{-Röhrenkabel}} + TVSt_x - TVSt_y \cdot (1 - AKK_{VK}) \cdot P_{GF_m} \cdot KBF_{GF\text{-Erdkabel}} \quad (3.4.2-11)$$

Die so ermittelten Kosten des Verbindungsnetzes sind im nächsten Schritt zu zerlegen in die Kosten der Bereitstellung von Übertragungskapazität für Festverbindungen, die Kosten für Fernverbindungen und schließlich die Kosten der Ortsverbindungen. Als Allokationsmaßstab fungiert die Anzahl der DSV2 auf einer Übertragungsstrecke, die für die jeweiligen Verbindungstypen bereitgestellt werden.

3.5 Umrechnung der Netzkosten auf Kosten pro Nachfrageeinheit

Die bis hierher vorgenommenen Modellberechnungen bilden die Basis für die Ermittlung der längerfristigen zusätzlichen Kosten einzelner Netzelemente und von Netzzugangsleistungen auf der Ebene des Ortsnetzes. Kosten werden in den bisher dargelegten Schritten als jährliche Kosten der gesamten Infrastruktur eines untersuchten Ortsnetzes ausgewiesen. Dort wo bei der Bestimmung des Investitionsumfanges die erwartete Verbindungsnachfrage eine Rolle spielt, sind diese Kosten zudem als Kosten der Bereitstellung von Kapazität für die Nachfrage in der Hauptverkehrsstunde zu interpretieren. Die Bestimmung von Kosten einer durchschnittlichen Verbindungsminute oder eines durchschnittlichen Verbindungsaufbaus setzt folglich die Ermittlung der Jahresnachfrage voraus.

3.5.1 Ermittlung der Kosten der Teilnehmeranschlußleitung

Die durchschnittlichen langfristigen Zusatzkosten einer Teilnehmeranschlußleitung auf Basis eines Jahres ergeben sich durch Addition der Kosten, die für die verschiedenen Abschnitte des Teilnehmeranschlußnetzes errechnet worden sind, und die anschließende Division durch die Zahl der Anschlüsse im Ortsnetz. Dabei ist nur der Anteil an den Gesamtkosten zu berücksichtigen, der Teilnehmeranschlußleitungen gemäß ihrem Anteil an den genutzten Doppeladern zuzurechnen ist. In gleicher Weise können auch Kosten für einzelne Abschnitte des Anschlußnetzes, etwa Kosten des Teilnehmeranschlusses im Hauptkabelabschnitt, ermittelt werden.

3.5.2 Ermittlung der Kosten für Verbindungsleistungen

Bei der Ermittlung von Kosten für spezifische Verbindungsleistungen im Rahmen von besonderen Netzzugängen sind mehrere Schritte durchzuführen. Zunächst ist die Leistung, die Gegenstand der Kostenermittlung sein soll, zu definieren. Dann sind die Netzelemente zu bestimmen, die bei der Erbringung der Leistung genutzt werden. Gegebenenfalls sind an dieser Stelle Nutzungsfaktoren zu ermitteln, die angeben, wieviele Einheiten der Nutzung für ein Netzelement bei einer Leistung im Durchschnitt anzurechnen sind. Schließlich sind für die verschiedenen Netzelemente Kosten für eine jahresdurchschnittliche Einheit der Leistungsnachfrage zu ermitteln. Einheiten der Leistungsnachfrage können im vorgestellten Modellierungsansatz eine Verbindungsminute oder ein Verbindungsaufbau sein.

Der hier verfolgte disaggregierte Modellierungsansatz weist Kosten aus für die folgenden Netzelemente:

- Verbindungen zwischen abgesetzten Konzentratoreinheiten und Teilnehmervermittlungsstellen
- Verbindungen zwischen Teilnehmervermittlungsstellen eines Ortsnetzes

- Verbindungen zwischen Teilnehmervermittlungsstellen und einem Übergabepunkt zur Fernnetzebene
- Teilnehmervermittlungsstellen, die weiter unterteilt sind in:
 - zentral oder abgesetzt lokalisierte Teilnehmerleitungseinheiten
 - teilnehmerseitige Anschlußgruppen
 - verbindungsseitige Anschlußgruppen
 - Koppelnetzbaugruppen
 - Steuerungseinheiten (Koordinationsprozessor).

Für jedes dieser Elemente oder, im Falle der Bestandteile der TVSt, Subelemente wurden bei der Bestimmung des Investitionsvolumens Belegungsminuten bzw. Verbindungswünsche in einer durchschnittlichen Hauptverkehrsstunde (multipliziert mit einem Lastspitzenfaktor) zugrundegelegt. Die Leistungsnachfrage in einer durchschnittlichen Hauptverkehrsstunde kann auf die Jahresnachfrage hochgerechnet werden, wenn das Verhältnis beider Größen zueinander bekannt ist. Approximativ kann die Leistungsnachfrage der durchschnittlichen Hauptverkehrsstunde mit einem Faktor multipliziert werden, der dem Kehrwert des Anteils der Nachfrage in der Hauptverkehrsstunde an der Tagesnachfrage entspricht. Dieser Wert ist mit der Zahl der Tage pro Jahr zu multiplizieren, an denen die Hauptverkehrsstunde auftritt.

Somit sind für die einzelnen Elemente Kosten einer durchschnittlichen Leistungseinheit festgelegt. Zur Kostenbestimmung von Diensten, die mehrere Elemente nutzen, sind die Einheitskosten der Elemente mit Elementnutzungsfaktoren der Leistung zu multiplizieren und anschließend zu addieren. Dies wird im folgenden am Beispiel einer Verbindungsminute im Ortsnetz erläutert:

Eine Verbindungsminute belegt an beiden Enden einen Kanal in den konzentrierenden Einheiten. Hinzu kommen ebenfalls an beiden Enden Kanalbelegungen in den teilnehmerseitigen Anschlußgruppen. Für die Netz (sub-)elemente Koppelnetz, Koordinationsprozessor, Verbindungsnetz und Verbindungen zu abgesetzten Konzentratoren sind Nutzungsfaktoren zu ermitteln, die der durchschnittlichen Beanspruchung durch eine Verbindungsminute entsprechen. Der Nutzungsfaktor für Verbindungen zu abgesetzten Konzentratoren ergibt sich an beiden Verbindungsenden durch das Verhältnis des gehenden Ortsverkehrs auf den Verbindungen zwischen abgesetztem Konzentrator und TVSt zum gesamten gehenden Ortsverkehr. Es wird folglich angenommen, daß wenn 50 v.H. des gehenden Ortsverkehrs in diesen Anschlußbereichen generiert wird, der Nutzungsfaktor für die Verbindung zur TVSt 0,5 an jedem Ende beträgt. In diesem Fall ergibt sich für eine (durchschnittliche) Ortsverbindungsminute genau eine Nutzungsminute für Verbindungen zu abgesetzten Konzentratoren. Koppelnetz und Koordinationsprozessor werden in jedem Fall in der TVSt des rufenden Teilnehmers genutzt. Der Nutzungsfaktor für eine zweite TVSt ergibt sich aus dem Verhältnis des gehenden Internverkehrs der Vermittlungsstellen im Ortsnetz zum gesamten gehenden Ortsverkehr. Er liegt folglich zwischen 0 und 1. Ist der Faktor wiederum 0,5, so ergeben sich für eine durchschnittliche Verbindungsminute im Ortsnetz 1,5 Nutzungsminuten im Koppelnetz und analog für einen durchschnittlichen Verbindungsaufbau 1,5 Prozessoraktivitäten. Es ergibt sich zudem im Durchschnitt eine halbe Nutzungsminute im Verbindungsnetz und eine Nutzungsminute der verbindungsseitigen Anschlußgruppen in den beteiligten Teilnehmervermittlungsstellen. Für andere Leistungen ist in gleicher Weise zu verfahren.

3.5.3 Durchschnittsbildung

Kosten werden im hier beschriebenen Ansatz grundsätzlich bezogen auf einzelne Ortsnetze ermittelt. Eine ggf. notwendige Durchschnittsbildung erfolgt mit den Ergebnissen einer als repräsentativ anzusehenden Stichprobe. Dieses Vorgehen wird gewählt, weil insbesondere hinsichtlich der Kosten der Teilnehmeranschlußleitung zu vermuten ist, daß eine auf einer als durchschnittlich erachteten Ortsnetzstruktur basierende Kostenberechnung keine zuverlässigen Ergebnisse liefert. Erst aufgrund der für viele einzelne Ortsnetze ermittelten Werte können Durchschnittsbildungen für die Kosten von Netzelementen und Zusammenschaltungsleistungen sowie für die ggf. anzuwendenden Nutzungsfaktoren auf verschiedenen Aggregationsniveaus angegeben werden. Bei der Durchschnittsbildung sind die ermittelten Kosten in geeigneter Weise zu gewichten. Bei der Bildung von Stichproben ist darüber hinaus dafür Sorge zu tragen, daß die Stichprobe repräsentativ für die Grundgesamtheit ist.

4 Abschließende Bemerkungen

Im folgenden werden die Grundzüge der Kostenmodellierung nochmals zusammengefaßt. Anmerkungen zu den mit der Modellentwicklung verfolgten Zielen und zum weiteren Vorgehen schließen sich an.

4.1 Grundzüge der Kostenmodellierung

Das vorliegende Dokument beschreibt das Verfahren der Kostenermittlung für Netzelemente von Telekommunikationsortsnetzen mit Hilfe eines analytischen Kostenmodells. Modelliert werden die Kosten des Aufbaus und des Betriebs der Netzinfrastruktur, also der Gesamtheit der vermittlungs- und übertragungstechnischen Einrichtungen einschließlich des Teilnehmeranschlusses. Das Modell setzt sich zusammen aus einer Anzahl von technisch und ökonomisch determinierten Beziehungen zwischen Input- und Outputgrößen, also zwischen einzusetzenden Produktionsfaktoren - Arbeit und Kapital - und den damit erzeugten Leistungen in Form von Anschlüssen, hergestellten Verbindungen und Verbindungsminuten. Diese Beziehungen sind aufgrund ihrer allgemeinen Formulierung auf eine Vielzahl konkreter Untersuchungsobjekte, also Ortsnetze mit unterschiedlicher räumlicher Ausdehnung und unterschiedlichen Nachfragecharakteristika, anwendbar.

Betrachtet wird ein Referenznetz, welches auf Annahmen hinsichtlich der relevanten Verfahren beruht, die zukunftsgerichtet und unter Berücksichtigung des Effizienzgebotes für die Produktion derjenigen Leistungen eingesetzt werden sollten, deren Kosten mit Hilfe des Modells zu ermitteln sind. Das Modell kann nicht die Gesamtheit der Produktionsverfahren berücksichtigen, die in der Form verschiedener Anschluß-, Vermittlungs- und Übertragungstechnologien in Telekommunikationsortsnetzen zur Anwendung kommen oder kommen können.

Zu ermitteln sind die Kosten, genauer die langfristigen zusätzlichen Kosten der Bereitstellung von schmalbandigen Verbindungsleistungen im Rahmen der Zusammenschaltung von Netzen und der Bereitstellung anderer besonderer Netzzugänge, insbesondere des Zugangs zur (entbündelten) Teilnehmeranschlußleitung. Das vorgestellte Referenznetz ist im Anschlußbereich charakterisiert als ein passives Kupferdoppeladernetz, das von gegebenen Hauptverteilerstandorten ausgeht. Das Ortsverbindungsnetz ist zweistufig, nämlich als Sternnetz zwischen abgesetzten Konzentratoren und Teilnehmervermittlungsstellen und als Maschennetz zwischen Teilnehmervermittlungsstellen, aufgebaut.

Bei der Kostenermittlung werden die untersuchten Ortsnetze analytisch in verschiedene - über die von ihnen bereitgestellten Funktionalitäten - definierte Netzelemente zerlegt. Im Modell werden die Elemente Teilnehmeranschluß, Übertragung zur Teilnehmervermittlungsstelle, Teilnehmervermittlung, Übertragung zwischen Teilnehmervermittlungsstellen und Übertragung zu einem innerhalb des Ortsnetzes liegenden Übergabepunkt des Fernnetzes betrachtet. Einige Elemente werden im Rahmen der Berechnungen nochmals in Sub-Elemente zerlegt. Für jedes dieser Elemente und Sub-Elemente wird, abhängig von der erwarteten Nachfrage, das notwendige Investitionsvolumen bestimmt. Dieses Volumen wird mit Wiederbeschaffungszeitwerten bewertet und unter Berücksichtigung von Abschreibung, kalkulatorischer Verzinsung und laufenden Betriebskosten in annualisierte Kosten umgerechnet. Diese Kosten werden auf die jährliche Leistungsnachfrage verteilt, um auf diese Weise Kosten von Netzelementen je Verbindungsminute oder jährliche Kosten der Überlassung von Teilnehmeranschlußleitungen zu ermitteln.

4.2 Zweck der Modellentwicklung

Unternehmen, die der Entgeltregulierung gemäß TKG und TEntgV unterliegen, sind verpflichtet, der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post im Rahmen von Genehmigungsverfahren Kostennachweise vorzulegen (§ 2T EntgV). Im Rahmen der Genehmigungsverfahren prüft die Regulierungsbehörde, ob die geltend gemachten Kosten den Kosten der effizienten Leistungsbereitstellung entsprechen (§ 3 TEntgV). Das hier entwickelte Modell soll es dem Regulierer ermöglichen, vorgelegte Kostennachweise, insbesondere solche für Netzzugangs- und Netzzusammenschaltungsleistungen, mit den Ergebnissen von Berechnungen zu vergleichen, die auf einer allgemeinen Basis, nämlich der eines generellen und nicht betreiberspezifischen Referenznetzes, durchgeführt worden sind. Auf der Basis dieses Vergleiches können Genehmigungsentscheidungen getroffen und begründet werden. Hinsichtlich der Genehmigungspraxis für die von marktbeherrschenden Unternehmen geforderten Entgelte sollen transparente und berechenbare Verfahren etabliert werden. Aus diesem Grunde wird das im Rahmen der Entgeltgenehmigung zukünftig anzuwendende Modell vor seinem erstmaligen Einsatz veröffentlicht und allen interessierten Parteien die Möglichkeit der Stellungnahme eingeräumt. Mit der Entwicklung und Veröffentlichung des Modells ist die Erwartung einer an der Sache orientierten Diskussion über das Verfahren zur Festlegung der Höhe der relevanten Entgelte verbunden.

4.3 Anmerkungen zum weiteren Vorgehen

Nach Auswertung der eingegangenen Stellungnahmen zu dem nunmehr vorliegenden Referenzmodell durch die Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post soll dort, wo es für notwendig erachtet wird, eine Überarbeitung oder Erweiterung des Modells erfolgen. Im nächsten Schritt werden die für die Modellrechnungen notwendigen Parameter festgelegt, so daß das Modell in einer Fassung vorliegt, die den Einsatz in der laufenden Regulierungspraxis, insbesondere in Verfahren der Entgeltgenehmigung, erlaubt. In diesem Zusammenhang wird die Regulierungsbehörde gegebenenfalls an die auf dem deutschen Telekommunikationsmarkt tätigen Unternehmen mit der Aufforderung herantreten, zu allen oder ausgewählten der in Anhang B aufgeführten Inputwerte Angaben zu liefern. Parallel zu diesem Verfahren wird ein erweitertes Kostenmodell für die bisher nicht oder nur sehr begrenzt erfaßte Ebene des Fernnetzes erarbeitet. Ziel dieser Entwicklung ist es, in absehbarer Zeit Beurteilungsmaßstäbe für die Kosten aller relevanten Netzzugangsleistungen zur Verfügung zu stellen.

Anhang A: Diskussionsthemen zum Kostenmodell für Telekommunikationsortsnetze

Alle interessierten Parteien sind eingeladen, Stellungnahmen und Kommentare zu dem hier vorgestellten Ansatz der Kostenermittlung für Netzzugangsleistungen im Ortsnetzbereich abzugeben. Ziel dieser Veröffentlichung und des Kommentierungsprozesses ist es, hinsichtlich der Methodik der Kostenermittlung Transparenz zu schaffen und Stellungnahmen bei der Anwendung und Weiterentwicklung des Modells zu berücksichtigen. Es ist beabsichtigt, das Instrument der analytischen Kostenmodellierung im Rahmen zukünftiger Entgeltregulierungsverfahren zur Ermittlung eines Maßstabes der Kosten effizienter Leistungsbereitstellung bei der Prüfung vorgelegter Kostennachweise heranzuziehen. Stellungnahmen zum vorliegenden Referenzdokument sollen sich an den im folgenden aufgelisteten Themen orientieren. Die die jeweiligen Themenblöcke ergänzenden Fragen dienen dazu, die Sichtweise der stellungnehmenden Partei zur Struktur des Modells insgesamt und insbesondere zu getroffenen Annahmen und Konventionen zu erfahren.

1. Nach der beschriebenen Kostenmodellierung werden die Kosten der Netzinfrastruktur grundsätzlich elementbezogen ermittelt, d.h. das Netz wird in Elemente zerlegt, die durch die von ihnen bereitgestellte Funktionalität, wie Vermittlung oder Übertragung, definiert werden. Dienstangebote werden durch die Kombination der Funktionalitäten mehrerer Netzelemente beschrieben.
 - Ist die im Modell vorgenommene Netzerlegung hinreichend detailliert oder bereits zu weitgehend?
2. Das Ausmaß der gemeinsamen Nutzung bestimmter Infrastruktureinrichtungen (Gebäude, insbesondere aber Gräben und Kabelkanalanlagen) zwischen Netzelementen, sowie zwischen den hier untersuchten Telekommunikationsnetzen für schmalbandige Dienste und anderen Netzen (Breitbandverteilnetze, Breitband-Overlay-Netze, Gas-, Wasser-, Elektrizitätsnetze) stellt einen wichtigen Faktor bei der Kostenermittlung dar. Der dargelegte Modellierungsansatz berücksichtigt die Komponente gemeinsamer Nutzung zunächst nicht.
 - Wie sollte nach Ihren Vorstellungen das Ausmaß der gemeinsamen Nutzung zwischen Netzelementen oder Netzen erfaßt und operationalisiert werden?
 - Ist es für Sie hinreichend, Inputpreise, etwa für Tiefbauleistungen, entsprechend anzupassen oder sollte ein expliziter Kostenallokationsalgorithmus in das Modell integriert werden?
3. Für die im Ortsnetzbereich angebotenen Leistungen - Bereitstellung von Anschlüssen, Vermittlungs- und Übertragungsleistungen sowie ggf. Festverbindungen - sind zukunftsgerichtete Nachfrageparameter anzugeben, die sowohl der Kostenermittlung dienen als auch die Ausgangsbasis für die Ermittlung der jährlichen Leistungsnachfrage darstellen.
 - Welche Informationsquellen sollten bei der Bestimmung der Anschlußnachfrage neben Daten der Bevölkerungsstatistik und Netzbetreiberangaben herangezogen werden?
 - Auf Basis welcher empirischen bzw. originären Quellen sollten aus Ihrer Sicht erwartete Teilnehmerverkehrswerte ermittelt werden?
 - In welchem Umfang sollten Differenzierungen zwischen Anschlußtypen oder Kundenarten vorgenommen werden?
4. Die getroffenen Annahmen über die Zahl und die Standorte von Hauptverteilern und Netzknoten des bei der Kostenermittlung zugrundegelegten Referenznetzes haben auf die Ergebnisse, insbesondere hinsichtlich der Kosten der Teilnehmeranschlußleitung, bedeutenden Einfluß.

- Welche Vorgaben sollten aus ihrer Sicht hinsichtlich Zahl und Art der Netzknoten sowie der Standorte der Hauptverteiler im Modell gemacht werden?
5. Im Rahmen der vorgestellten Kostenmodellierung werden Annahmen über die im Referenznetz eingesetzte Technik und über die Netzstruktur getroffen, mit denen die Produktionsverfahren abgedeckt werden sollen, die für die Bereitstellung von schmalbandigen Verbindungsleistungen und Teilnehmeranschlußleitungen derzeit relevant und effizient sind.
- Wird aus Ihrer Sicht eine Erweiterung der Annahmen für notwendig erachtet?
6. Auch bei der Ermittlung der Kapitalkosten des eingesetzten Produktivkapitals werden eine Reihe von Konventionen getroffen. Das in diesem Dokument beschriebene Verfahren weist die folgenden Eckpunkte auf: Die Investitionsgüter gehen mit ihren Wiederbeschaffungszeitwerten, d.h. mit den aktuellen Tagespreisen in die Kostenberechnung ein; die Abschreibung erfolgt linear; das Kapital wird kalkulatorisch auf der Basis eines Zinssatzes verzinst, der sich aus der gewichteten Summe der Renditeforderungen der Eigenkapitalgeber (vor Abzug von Ertragssteuern) und der durchschnittlichen Fremdkapitalverzinsung sowie unter Berücksichtigung von Preisänderungen im Wert der Anlagegüter ergibt; Abschreibung und kalkulatorische Verzinsung werden im Kapitalwiedergewinnungsfaktor in eine Annuität überführt.
- Wie sollten aus Ihrer Sicht die Wiederbeschaffungszeitwerte ermittelt werden?
 - Wie sollten Preisnachlässe, etwa für Großabnehmer, erfaßt werden und wie sind sie zu behandeln?
 - Welche Überlegungen sollten Ihrer Ansicht nach bei der Bestimmung der für die Kostenrechnung relevanten Abschreibungszeiträume für verschiedene Kapitalgüterkategorien berücksichtigt werden?
 - Ist die vorgenommene Differenzierung zwischen Kapitalgüterkategorien hinreichend detailliert?
 - Wie sollte das spezifische Risiko eines Unternehmens, das bei der Eigenkapitalverzinsung neben dem allgemeinen Marktrisiko zu berücksichtigen ist, ermittelt werden?
7. Zu den Kapitalkosten des Anlagebestandes sind Kosten zu addieren, die durch den laufenden Betrieb des Netzes entstehen.
- Wie sollten aus Ihrer Sicht zukunftsgerichtete Betriebskosten der verschiedenen Anlagekategorien ermittelt werden?
 - Sind Betriebskostenfaktoren anwendbar, die der Relation von zu Anschaffungspreisen bewertetem Anlagevermögen und laufenden Ausgaben entsprechen?
 - Wie sollten diese Werte in die Zukunft fortgeschrieben und um mögliche Ineffizienzen bereinigt werden?
8. Die langfristigen zusätzlichen Kosten der Netzelemente des vermittelnden Netzes sind jährliche Kosten der Bereitstellung von Lastspitzenkapazität, also von Kanalbelegungen (busy hour Erlang) und Verbindungswünschen (busy hour call attempts) in der Hauptverkehrsstunde. Die Umrechnung dieser Kosten auf Kosten pro Minute oder pro Verbindungsaufbau erfolgt auf Basis der Konvention, daß die Kosten eines Netzelementes gleichmäßig auf die gesamte jährliche Leistungsnachfrage verteilt werden. Hierzu wird die Nachfrage in einer durchschnittlichen Hauptverkehrsstunde zur gesamten Tagesnachfrage und anschließend zur Jahresnachfrage in Relation gesetzt.
- Welche Erfahrungswerte für die genannten Relationen stehen Ihnen zur Verfügung?
9. Die Ermittlung der langfristigen zusätzlichen Kosten von Netzelementen soll in Form einer Stichprobenberechnung durchgeführt werden. Dabei ist auf Repräsen-

- tativität hinsichtlich der für die Kostenermittlung relevanten Merkmale von Ortsnetzen zu achten. Als derartige Merkmale werden die Anschlußdichte sowie die Teilnehmerzahl von Ortsnetzen angesehen.
- Ist es nach Ihrer Auffassung notwendig, weitere Merkmale von Ortsnetzen bei der Auswahl einer Stichprobe zu berücksichtigen, um Repräsentativität zu gewährleisten?
10. Die in Kapitel 3 des Referenzdokuments beschriebene Modellierung deckt die wesentlichen Bezugsgrößen für die Kosten von Telekommunikationsortsnetzen ab.
- Sollten weitere Bezugsgrößen für Kostenfaktoren in den Modellrahmen eingefügt werden und wenn ja, welche?
 - Sollte die Annahme eines auf allen Ebenen vollvermaschten Verbindungsnetzes, die in großen Ortsnetzen zu einer Überschätzung der Kosten der effizienten Leistungsbereitstellung führen kann, modifiziert werden?
11. Kosten des Vertriebs und der Kundenverwaltung im Bereich der besonderen Netzzugänge werden bei der Kostenermittlung nicht berücksichtigt, da diese Kosten in hohem Maße kundenspezifisch und daher einer Erfassung im Rahmen eines allgemeinen Modells nicht zugänglich sind.
- Sollten zur Bestimmung der Höhe dieser Kosten Bezugsgrößen herangezogen werden, die im beschriebenen Modell nicht erfaßt sind, und wenn ja, welche?
 - Wie hoch sind diese Kosten im Verhältnis zu diesen Bezugsgrößen?
 - Wie hoch ist der Anteil leistungsmengenneutraler Gemeinkosten an den Gesamtkosten von Vertrieb und Kundenverwaltung?
12. Leistungsmengenneutrale Gemeinkosten, also Kosten, die einzelnen Leistungen nach dem Prinzip der Verursachungsgerechtigkeit weder direkt noch indirekt zugerechnet werden können, werden im vorgestellten Kostenmodell nicht erfaßt. Dennoch sind sie nach TEntgV (§ 3 Abs. 2) Bestandteil der Kosten der effizienten Leistungsbereitstellung.
- Welche leistungsmengenneutralen Gemeinkostenarten des Netzbetriebs lassen sich zwar der Gesamtheit der Ortsnetze, nicht aber einzelnen Netzen bzw. Netzelementen zurechnen?
 - Wie ist das Verhältnis dieser Kosten zu der Summe der einzelnen Ortsnetzen zurechenbaren Kosten?
 - Wie hoch ist der Anteil leistungsmengenneutraler Gemeinkosten - ausschließlich der in den beiden vorangehenden Fragen angesprochenen Kosten - an den Gesamtkosten eines Telekommunikationsunternehmens?
13. Gemäß TEntgV sollen leistungsmengenneutrale Gemeinkosten in Form angemessener Zuschläge auf die langfristigen zusätzlichen Kosten bei der Entgeltgenehmigung berücksichtigt werden.
- Erscheint für die unter 11 und 12 genannten möglichen Gemeinkostenkategorien ein einheitlicher oder ein jeweils unterschiedlicher Zuschlag auf die ermittelten Kosten der verschiedenen Leistungsangebote angemessen?

Anhang B: Inputliste

Im folgenden sind die im Modell verwendeten Inputdaten aufgelistet. Die Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post wird voraussichtlich im weiteren Verlauf des Verfahrens an die beteiligten Unternehmen mit der Aufforderung herantreten, Angaben zu allen oder zu ausgewählten Inputwerten zu liefern.

| Verwendete Inputwerte | Verwendete Abkürzung (falls relevant) | Kommentar |
|-----------------------|--|-----------|
|-----------------------|--|-----------|

| Standorte | | |
|--|--|--|
| Ortsnetzgrenzen | | |
| Hauptverteilerstandorte | | |
| Zuordnung von TVSt zu HVt-Standorten | | |
| Zuordnung von abges. Konz. zu HVt-Standorten | | |
| Zuordnung von abges. Konz. zu TVSt | | |

| Planungsvorgaben | | |
|---|---------------------------|---|
| Anteile der verwendeten Leiterdurchmesser für verschiedene Anschlußlängen | | Angabe in tabellarischer Form möglich |
| Technischer Reservefaktor für Doppeladern | TRes_Fkt_DA | Allgemeiner Parameter |
| Ökonomischer Reservefaktor für Doppeladern im HK | Res_Fkt_DA _{HK} | Festlegung auf Ortsnetzebene |
| Ökonomischer Reservefaktor für Doppeladern im VZB | Res_Fkt_DA _{VZB} | Differenzierung nach Anschlußdichte |
| Festverbindungsfaktor im Anschlußnetz | FV_Fkt_DA | Angabe als Anteil der DA für TlnAsl |
| Festverbindungsfaktor im Verbindungsnetz | FV_Fkt | Angabe als Anteil der DSV2 im Verbindungsnetz |
| Reservefaktor im Verbindungsnetz | Res_Fkt | Angabe als Anteil der DSV2 im Verbindungsnetz |
| Anteil der Kabelkanaltrassen im HK | AKK _{HK} | Festlegung auf Ortsnetzebene |
| Anteil der Kabelkanaltrassen im VZB | AKK _{VZB} | Differenzierung nach Anschlußdichte |
| Anteil der Kabelkanaltrassen im Verbindungsnetz | AKK _{VK} | Festlegung auf Ortsnetzebene |
| Anzahl der Züge in Kabelkanalanlagen im HK | ZG _{HK} | Festlegung auf Ortsnetzebene |
| Anzahl der Züge in Kabelkanalanlagen im VZB | ZG _{VZB} | Differenzierung nach Anschlußdichte |

| | | |
|---|---------------------|--|
| Anzahl der Züge in Kabelkanalanlagen im Verbindungsnetz | ZG _{VK} | Festlegung auf Ortsnetzebene |
| Durchschnittlicher Abstand zwischen Kabelschächten | Abs_Schacht | Allgemeiner Parameter; Differenzierung zwischen Kupfer- und Glasfaser-Kabeln |
| Anzahl Kabel pro Trassenmeter im HK | K_Tm _{HK} | Festlegung auf Ortsnetzebene |
| Anzahl Kabel pro Trassenmeter im VZB | K_Tm _{VZB} | Differenzierung nach Anschlußdichte |
| Anteile Oberfläche der HK-Trassen | OF _{HK} | Zusammensetzung der wiederherzustellenden Oberfläche (Grünfl., Asphalt, Pflaster); Festlegung auf Ortsnetzebene |
| Anteile Oberfläche der VZB-Trassen | OF _{VZB} | Zusammensetzung der wiederherzustellenden Oberfläche (Grünfl., Asphalt, Pflaster); Differenzierung nach Anschlußdichte |
| Anteile Oberfläche der Verbindungskabel-Trassen | OF _{VK} | Zusammensetzung der wiederherzustellenden Oberfläche (Grünfl., Asphalt, Pflaster); Festlegung auf Ortsnetzebene |
| Anzahl Montagestellen (Muffen) pro Anschluß | M_Asl | Differenzierung nach Anschlußdichte |
| Anzahl Endverzweiger pro Anschluß | EVz_Asl | Differenzierung nach Anschlußdichte |
| Anzahl der Endkabel und Gräben pro Anschluß | G_Asl | Differenzierung nach Anschlußdichte |
| Doppeladern pro Anschluß im Endkabel | DA_Asl | Differenzierung nach Anschlußdichte |
| Länge der Hauszuführung (Endkabel) | LH | Differenzierung nach Anschlußdichte |
| Maximaler Abstand zwischen Zwischengeneratoren | Abs_ZWR | Allgemeiner Parameter. Differenzierung zwischen 140 Mbit/s- und 565 Mbit/s-Systemen |
| | | |

| | | |
|---|-----------------|---|
| Preise | | Preisangaben werden verstanden als notwendige Gesamtinvestition zur betriebsbereiten Installation der Anlage. |
| Tiefbaupreise für Kabelkanalanlagen pro Meter | P_GrK_m | Differenzierte Angaben für versch. Zugzahlen (z.B. 3/6/12/18 Züge) und nach Oberflächenbeschaffenheit (Grünfläche / Asphalt / Verbundpflaster) erforderlich |
| Preis Graben für Kabelerdverlegung pro Meter | P_GrE_m | Differenzierte Angaben nach Oberflächenbeschaffenheit (Grünfläche / Asphalt / Verbundpflaster) erforderlich |
| Preis PVC-Kabelkanalröhre pro Meter | P_Rohr_m | Differenzierte Angaben nach Durchmesser (50 mm / 100 mm) erforderlich |
| Preis Markierungsband pro Meter | P_Band_m | |
| Preis pro Kabelschacht | P_Schacht | Differenzierte Angaben nach Zugzahl (3/6/12/18 Züge) erforderlich |
| Preis von Kupferkabeln incl. Verlegung (Muffen) pro Meter | | Differenzierte Angaben für Röhren-/Erdkabel, für verschiedene Adernzahlen und Leiterdurchmesser (0,4 mm / 0,6 mm / 0,8 mm) erforderlich |
| Preis für Kabelschutzhauben pro Meter | P_Schutzhaube_m | |
| Preis pro Montagestelle (Muffe) im Verzweigerkabel | P_Muffe | |
| Preis pro Endverzweiger | P_EVz | |
| Preis pro Subscriber Line Module analog (SLMA) | P_SLMA | Baugruppenbezeichnung EWSD |
| Preis pro Subscriber Line Module digital (SLMD) | P_SLMD | Baugruppenbezeichnung EWSD |
| Preis pro Digital Line Unit (DLU) | P_DLU | Baugruppenbezeichnung EWSD |
| Preis pro Line Trunk Group (LTG) | P_LTG | Baugruppenbezeichnung EWSD |
| Preis pro Koppelnetzbaueinheit 120*2Mbit/s | P_KN | |
| Basispreis für die zentrale Steuerungseinheit (CP) der TVSt | P_CP | |
| Preis für zusätzliche 1.000 BHCA Verkehrslast | P_BHCA | |
| Preis pro Multiplexerpaar | P_MUX | Differenzierte Angaben nach Typ (2/34; 34/140; 140/565 Mbit/s) erforderlich |

| | | |
|--|--|--|
| Preis pro Zwischenregenerator | P_ZWR | Differenzierte Angaben für 140 Mbit/s- und 565 Mbit/s-Systeme erforderlich |
| Preis Glasfaser incl. Verlegung (Spleißung) pro Meter | P_GF_m | Differenzierte Angaben für Erdkabel / Röhrenkabel erforderlich; angenommene Faserzahl: 12 GF |
| Preis der optischen Leitungsendgeräte pro Paar | P_LE | Differenzierte Angaben für 140 Mbit/s und 565-Mbit/s Systeme erforderlich |
| Grundpreis Hauptverteiler | P_HVt_Fix | Fixe Komponente der Hauptverteilerinvestition |
| Preis HVt pro Doppelader | P_HVt_DA | DA-abhängige Komponente der Hauptverteilerinvestition |
| Preis des Endstellenkabels | P_EndStK | Differenzierung nach Anschlußdichte |
| Preis einer Teilnehmeranschluß-einheit | P_TAE | |
| Preis eines Kabelverzweigers | P_KVz | |
| Preis für die Unterbringung einer TVSt | P_Unterbrin.gung _{TVSt} | |
| Preis für die Unterbringung eines abgesetzten Konzentrators | P_Unterbrin.gung _{AK} | |
| Ausstattungsinvestitionen für eine TVSt | P_Ausstattung _{TVSt} _t | Umfaßt Stromversorgung, Klimatisierung, Bedienterminals, etc. |
| Ausstattungsinvestitionen für einen abgesetzten Konzentrator | P_Ausstattung _{TVSt} _t | Umfaßt Stromversorgung, Bedienterminals, etc. |

| Nachfragedaten | | |
|--|----------|---|
| Privatkundenanschlüsse pro Planquadrat | PK_PQ | Ermittlung auf Basis der Bevölkerungsstatistik und Wert der Anschlußpenetration bei privaten Haushalten |
| Geschäftskundenanschlüsse in Abhängigkeit von der Zahl der Privatkundenanschlüsse pro Planquadrat | GK_Fkt | Allgemeiner Parameter |
| Durchschnittlicher Verkehr pro Privatkundenanschluß in einer durchschnittlichen Hauptverkehrsstunde | BHE_PK | Allgemeiner Parameter |
| Durchschnittlicher Verkehr pro Geschäftskundenanschluß in einer durchschnittlichen Hauptverkehrsstunde | BHE_GK | Allgemeiner Parameter |
| Durchschnittliche Verbindungsdauer in der Hauptverkehrsstunde | HT | Allgemeiner Parameter |
| Faktor für das Verhältnis der erfolgreichen zu den gesamten Verbindungsversuchen | α | Allgemeiner Parameter |
| Lastspitzenfaktor | LSF | Allgemeiner Parameter |
| Anteil Fernverkehr am gesamten Teilnehmerverkehr | AFV | Festlegung auf Ortsnetzebene |
| Verlustwahrscheinlichkeit für Letztwege | B | Allgemeiner Parameter |
| Dynamische Leistungsfähigkeit einer TVSt in der Grundausstattung | Kap_CP | Allgemeiner Parameter, Herstellerangabe |

| | | |
|--|--------------|---|
| Kapital- und Betriebskosten | | Alle Faktoren werden als allgemeine Parameter interpretiert. |
| Durchschnittliche Preisveränderungsrate der verschiedenen Kapitalgüterkategorien | ΔP_U | Differenzierung nach Gebäuden, Ausstattungsinvestitionen, Übertragungstechnik, Vermittlungstechnik, Kupfer-Röhrenkabel, Glasfaser-Röhrenkabel, Kupfer-Erdkabel, Glasfaser-Erdkabel, Kabelkanalanlagen, Endkabel, Endstellenkabel erforderlich |
| Durchschnittliche wirtschaftlich-technische Nutzungsdauer der verschiedenen Kapitalgüterkategorien | ND_U | Differenzierung wie bei Preisveränderungsrate erforderlich |
| Eigenkapitalquote | eK | |
| Fremdkapitalquote | fK | Nur verzinsliches Fremdkapital |
| Geforderte Eigenkapitalrendite | D | Nach Abzug von Ertragssteuern |
| Effektiver Ertragssteuersatz | T | |
| Zinssatz für Fremdkapital | R | Durchschnittlicher Zinssatz |
| Betriebskostenfaktoren der Kapitalgüterkategorien | BKF_U | Differenzierung wie bei Preisveränderungsrate erforderlich |