

# **Analytisches Kostenmodell Nationales Verbindungsnetz**

**Referenzdokument 2.0**

erstellt durch die WIK-Consult  
im Auftrag der  
Rundfunk und Telekommunikation Regulierungs-GmbH  
(RTR), Österreich

**Bad Honnef, März 2000**



## Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungs- und Tabellenverzeichnis</b>	<b>III</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis/Glossar</b>	<b>V</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Allgemeines	1
1.2 Kontext	1
<b>2 Kosten: Konzeption und Operationalisierung</b>	<b>3</b>
2.1 Langfristige zusätzliche Kosten der effizienten Leistungsbereitstellung	3
2.2 Technologie und Netzstruktur	4
2.3 Elementorientierung	9
<b>3 Ermittlung des betriebsnotwendigen Anlagevermögens für das Verbindungsnetz</b>	<b>11</b>
3.1 Nachfrage	13
3.2 Investitionsrechnung	18
3.2.1 Zugangsnetz	19
3.2.1.1 Klassifikation der Netzknoten	20
3.2.1.2 Zuordnung der Zugangsknoten zu Vermittlungsstellen	21
3.2.1.3 Bestimmung der Investition in das Zugangsnetz	21
3.2.1.4 Logische und physikalische Struktur eines Anschlussbereichs	26
3.2.2 Backbonenetz	27
3.2.2.1 Klassifikation der Netzknoten	28
3.2.2.2 Zuordnungen der Knoten unterer Ebene zu Knoten oberer Ebene	29
3.2.2.3 Verkehrsführung im logischen Netz	29
3.2.2.4 Aspekte der Netzsicherheit	31
3.2.2.5 Ergebnisse der Modellrechnungen zur Verkehrsführung	32
3.2.2.6 Beziehung zwischen logischer und physikalischer Netzebene	33
3.2.2.7 Transportnetz	36
3.2.2.7.1 Ermittlung der Leitungsnachfrage im physikalischen Netz	37
3.2.2.7.2 Konfiguration der Transportnetztopologie	38
3.2.2.7.3 Leitungsführung im Transportnetz	40
3.2.2.7.4 Zuweisung von SDH – Übertragungssystemen	41

3.2.3	Vermittlungstechnik	42
3.2.4	Signalisierungsnetz	50
3.2.5	Netzunterstützende Investitionen	53
<b>4</b>	<b>Kapital und Betriebskosten</b>	<b>56</b>
4.1	Bewertung der Kapitalkosten	56
4.2	Abschreibung	57
4.2.1	Bemessung des Abschreibungszeitraums	57
4.2.2	Abschreibungsmethode	58
4.2.2.1	Lineare Abschreibung	58
4.2.2.2	Ökonomische Abschreibung	60
4.3	Kalkulatorische Verzinsung	63
4.3.1	Eigenkapitalverzinsung	63
4.3.1.1	Das Capital Asset Pricing Model (CAPM)	64
4.3.1.2	Das Dividendenwachstums-Modell (DGM)	66
4.3.2	Fremdkapitalverzinsung	68
4.4	Weitere Komponenten des gewogenen Gesamtkapitalkostensatzes	69
4.4.1	Bestimmung der Kapitalstruktur	70
4.4.2	Einfluss der Besteuerung	73
4.4.3	Nominal- vs. Realverzinsung	75
4.5	Der Kapitalkostenfaktor	77
4.6	Anlagenbezogene Betriebskosten	79
4.7	Annualisierungsfaktor	84
<b>5</b>	<b>Kosten von Zusammenschaltungsleistungen</b>	<b>85</b>
5.1	Transformation in Kosten pro Minute Netzelementnutzung	85
5.2	Leistungen und Netzelementnutzung	85

## Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b>	Netzsichten und Integrationsgrad	7
<b>Abbildung 2:</b>	Struktur des logischen Netzes	8
<b>Abbildung 3:</b>	Struktur des physikalischen Netzes	9
<b>Abbildung 4:</b>	Partitionsmodell des PSTN/ISDN	12
<b>Abbildung 5:</b>	Prozentualer Anteil des Internverkehrs am gesamten Quellverkehr	17
<b>Abbildung 6:</b>	Ringstruktur auf der physikalischen Ebene des Zugangsnetzes	20
<b>Abbildung 7:</b>	Funktionen und Kostenparameter der Add-Drop Multiplexer (ADM)	23
<b>Abbildung 8:</b>	Vergleich Optimale Lösung mit Nearest-Neighbor Heuristik	27
<b>Abbildung 9:</b>	Doppelung und Separierung im Backbonenetz	32
<b>Abbildung 10:</b>	Physikalisches Schichtenmodell der Übertragung	35
<b>Abbildung 11:</b>	BICONSOL - Algorithmus	40
<b>Abbildung 12:</b>	Basisfunktionen einer Vermittlungsstelle	43
<b>Abbildung 13:</b>	Konzept der Zentralkanalsignalisierung	51
<b>Abbildung 14:</b>	Signalisierungsnetz und Nutzkanalnetz	52
<b>Abbildung 15:</b>	Typen von Zusammenschaltungsleistungen	88
<b>Tabelle 1:</b>	Individuelle Lastspitzen	14
<b>Tabelle 2:</b>	Investitions- u. Strukturparameter für ADM und Linientechnik	24
<b>Tabelle 3:</b>	Bestückung und Anzahl der Ringe in einem Access-Cluster	24
<b>Tabelle 4:</b>	Strukturelle Parameter des Transportnetzes in der Backboneebene	38
<b>Tabelle 5:</b>	Bildung von E1 Äquivalenten je Geschwindigkeitsklasse	41
<b>Tabelle 6:</b>	Investitionsparameter für die Vermittlungstechnik	44
<b>Tabelle 7:</b>	Strukturparameter für die Vermittlungstechnik	44
<b>Tabelle 8:</b>	Verhältnis der indirekten netzunterstützenden Investitionen zu den direkten Investitionen	55
<b>Tabelle 9:</b>	Lineare Abschreibung	59
<b>Tabelle 10:</b>	Ökonomische Abschreibung	62
<b>Tabelle 11:</b>	Bilanzorientierte Ermittlung des betriebsnotwendigen Kapitals	71
<b>Tabelle 12:</b>	Anwendung des anlagenspezifischen Kapitalkostenfaktors	79
<b>Tabelle 13:</b>	Ermittlung der Betriebskostenfaktoren des Verbindungsnetzes	82
<b>Tabelle 14:</b>	Ermittlung der Betriebskostenfaktoren für die Netzunterstützung	83



## Abkürzungsverzeichnis/Glossar

ADM	Add-Drop Multiplexer
AK	Abgesetzter Konzentrator
APE	Abgesetzte Periphere Einheit
ASB	Anschlussbereich
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BaAsl (BA)	Basisanschluss im ISDN, stellt zwei Sprachkanäle bereit.
BE	Beschaltungseinheit
BHCA	Busy Hour Call Attempts
B-ISDN	Breitband ISDN
BORSCHT	Kunstwort, mit dem die Funktionen einer Teilnehmerbaugruppe beschrieben werden: Battery, Overvoltageprotection, Ringing, Signalling, Coding, Hybrid, Testing
CC	Cross-Connector
CP	Central Processor
DNR	Dynamical Non-Hierarchical Routing
DX	Kurzbezeichnung für digitale Cross-Connectoren
Ebene-2-VSt	NVSt
Ebene-3-VSt	HVSt, Transitvermittlungsstelle
Erlang	Verkehrsmaß, 1 Erlang entspricht einer Kanalbelegung von einer Stunde
EWSD	Produktfamilienbezeichnung für Vermittlungseinrichtungen der Fa. Siemens
FCC	Federal Communications Commission
FCLASIG	Programmmodul zur Aufteilung der Netzknoten auf die Zugangs- bzw. Backboneebene
FR	Frame Relay
FTRAROUT	Programmmodul zur Berechnung der Leitungsmatrix eines vollvermaschten Backbonenetzes
GoS-Kriterium	Grade of Service; angestrebte Verlustwahrscheinlichkeit in der Hauptverkehrsstunde
BH	Hauptverkehrsstunde
HVt	Hauptverteiler
IC	Interconnection
LE	Leitungsendgerät
LTG	Line Terminal Groups; Leitungsendgerätgruppen zur optischen Signalgabe
MEA	Modern equivalent asset, dt.: modernes Funktionsäquivalent
MHT	durchschnittliche Verbindungsdauer
MSU	Message Signalling Unit
OMC	Operation and Maintenance Centre

PBX	Private Branch Exchange; Nebenstellenanlage
PDH	Plesiochrone Digitale Hierarchie
PoI	Point of Interconnection; Orte der Zusammenschaltung
PoP	Point of Presence; Ort des Netzübergangs vom ISDN/PSTN zum IP-Netz
POTS	Plain Old Telephone Service, einfacher Sprachtelefondienst
PrMux	Primärmultiplexanschluss im ISDN; stellt 30 Sprachkanäle bereit
PSTN	Public Switched Telephone Network; öffentliches vermitteltes Telefonnetz
SCLASIG	Programmmodul zur Hierarchisierung von Netzknoten der Backboneebene
SDH	Synchrone Digitale Hierarchie
SLIC	Subscriber Line Interface; Teilnehmerbaugruppe
SOCC	Statistics of Communications Common Carriers
SP	Signalisierungspunkt
SS7	Signalisierungssystem Nr. 7
STM	Synchrone Transport Modul
STP	Signalling Transfer Point
STRAROUT	Programmmodul zur Berechnung der Leitungen auf den Direktwegen der unteren Backboneebene
TAL	Teilnehmeranschlussleitung
TELRIC	Total Element Long Run Incremental Cost
TRADIS	Programmmodul zur Berechnung der Verkehrsmatrix
TransVSt	Transitvermittlungsstelle (HVSt)
TTRAROUT	Programmmodul zur Berechnung der Leitungen zwischen Knoten der unteren Backboneebene und nicht-zugeordneten Knoten der oberen Backboneebene
VSt_T	Teilnehmervermittlungsstelle (NVSt)
VE	Vermittlungseinheit, funktionale Einheit für Teilnehmer- oder für Transitverkehr
VPN	Virtual Private Networks
VSt	Vermittlungsstelle
WDM	Wave Length Division Multiplexing
WVSt	Weitvermittlungsstelle
ZZK	Zentrale Zeichengabekanäle

# **1 Einleitung**

## **1.1 Allgemeines**

Das Wissenschaftliche Institut für Kommunikationsdienste (WIK) hat im Auftrag der Telekom-Control Österreichische Gesellschaft für Telekommunikationsregulierung mbH (TKC), jetzige Rundfunk und Telekom Regulierungs-GmbH (RTR), ein analytisches Kostenmodell für das öffentliche leitungsvermittelte Telekommunikationsnetz entwickelt. Ziel des Projektes war es, der Behörde ein Werkzeug zur Verfügung zu stellen, mit dessen Hilfe ein Maßstab für die Kosten der effizienten Leistungsbereitstellung ermittelt werden kann. Dieser Maßstab soll bei der Beurteilung von Kostennachweisen marktbeherrschender Unternehmen, insbesondere im Bereich der Leistungen für Zusammenschaltungen des Netzes der Telekom Austria (TA) mit öffentlichen Netzen anderer Betreiber, herangezogen werden.

Am 7. Juni 1999 wurde hierzu durch die Telekom-Control Österreichische Gesellschaft für Telekommunikationsregulierung mbH (TKC) ein Referenzdokument mit dem Titel „Bottom Up Modell für das Verbindungsnetz“ veröffentlicht. Die vom WIK angefertigte Studie enthielt Vorschläge zu einer Methode für die Bestimmung der Kosten von Zusammenschaltungsleistungen. Dieses Referenzdokument war Gegenstand einer öffentlichen Kommentierung.

Die Auswertung der Kommentare hatte ergeben, dass sowohl die Logik als auch die Feinheit der Kostenmodellierung mittelfristig an verschiedenen Stellen geändert werden sollte. Die damals gewonnen Schlussfolgerungen wurden inzwischen in die Modellierung eingearbeitet. Die vorgenommenen Modellmodifikationen sollen anhand des vorliegenden Referenzdokumentes 2.0 beschrieben werden. Einleitend zu nennen sind dabei wesentliche Modelländerungen, wie die vollständig überarbeitete Modellierung des Transportnetzes. Die Approximation der Struktur und gleichsam der Kosten des physikalischen Netzes anhand der Struktur des logischen Netzes unter Hinzuziehung von Kennzahlen, z.B. der sog. Routingfaktoren, kann in der vorliegenden Modellversion entfallen.

Das Referenzdokument 2.0 ist so aufgebaut, dass die vorgenommenen Modelländerungen nicht hervorgehoben, d.h. die Abweichungen vom ursprünglichen Dokument nicht extra herausgestellt werden.

## **1.2 Kontext**

Die Möglichkeit der Netzzusammenschaltung und deren kostenorientierte Entgeltgestaltung soll gewährleisten, dass neu in den Markt eintretende 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 so 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.

Während es als weitgehend akzeptiert gelten kann, dass eine kostenorientierte Entgeltgestaltung für Zusammenschaltungsleistungen anzustreben ist, besteht in der Regel Dissens hinsichtlich der Interpretation des Kostenbegriffs und hinsichtlich der angemessenen Methode der Kostenermittlung.

Bottom-up Kostenmodelle stellen einen analytischen Ansatz dar, der auf einer weitgehend allgemein zugänglichen Wissensbasis die Kostenstruktur des Telekommunikationsnetzes, hier des nationalen Verbindungsnetzes, auf wesentliche Beziehungen reduziert. Über die Angemessenheit dieser Reduktion ist in Folge der bisher veröffentlichten Referenzdokumente ein offener und kritischer Diskurs initiiert worden, dessen Ziel es ist, eine akzeptierte Methodologie der Kostenermittlung zu finden. Dabei ist evident, dass der angestrebte Konsens über die Methode nicht zugleich ein Konsens über sämtliche in die Modellrechnung einfließenden Parameter und über die Interpretation der Ergebnisse sein kann. Die in diesem Dokument beschriebene Methode der Kostenanalyse soll es erlauben, die Kosten des nationalen Verbindungsnetzes zukunftsorientiert und in elementbezogener Weise zu ermitteln. Diese Netzelementkosten können unter Anwendung von Nutzungsfaktoren zu Kosten von Verbindungsleistungen aggregiert werden, wobei hier die Kosten von Leistungen im Zusammenhang der Netzzusammenschaltung im Vordergrund stehen.

Das Referenzdokument ist wie folgt aufgebaut:

In Kapitel 2 wird ein genereller Überblick über den dem Modell zugrunde liegenden Kostenbegriff und dessen Operationalisierung sowie die Schritte der Kostenermittlung gegeben, um grundlegende methodische Fragen aufzuzeigen.

In Kapitel 3 wird die Ermittlung des betriebsnotwendigen Anlagevermögens detailliert dargestellt. Die dort in einigen Abschnitten zu findende „technische“ Darstellung wurde trotz der damit verbundenen Einschränkung hinsichtlich der leichten Lesbarkeit gewählt, um den Lesern einen möglichst tiefen Einblick in die Modellmechanik zu gewähren.

Das 4. Kapitel beschreibt die Schritte zur Annualisierung der Investitionen. Die Argumentation umfasst Fragen nach der Bewertung, der Abschreibung, der Kapitalverzinsung sowie nach der Ermittlung von Betriebskosten.

Kapitel 5 stellt die gewählten Konventionen zur Ermittlungen von Kosten je Zusammenschaltungsminute dar und erläutert die Aggregation von Netzelementkosten zu Kosten von Dienstangeboten.

## **2 Kosten: Konzeption und Operationalisierung**

### **2.1 Langfristige zusätzliche Kosten der effizienten Leistungsbereitstellung**

Der Kostenmaßstab der langfristigen zusätzlichen Kosten, also der Kosten, die einem Unternehmen entstehen, wenn es eine Leistung zusätzlich zu einem Portfolio anderer Leistungen erbringt, ist der Maßstab, der im Wettbewerb bei der Entscheidung darüber angelegt wird, ob eine bestimmtes Produkt am Markt angeboten werden soll oder nicht. Ein Angebot ist dann sinnvoll, wenn die Kosten, die langfristig durch die Produktionsentscheidung insgesamt verursacht werden, durch die erzielbaren Erlöse wenigstens gedeckt werden. Der Erlös der einzelnen Produktionseinheit entspricht dann mindestens den langfristigen durchschnittlichen zusätzlichen (Stück-) Kosten. Sie schließen alle der Leistung direkt oder indirekt zurechenbaren Kosten ein, also insbesondere auch solche, die durch Unteilbarkeiten in der Produktion entstehen. Da echte 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. Es ist zu bedenken, dass gemeinsame Kosten auf unterschiedlichen Ebenen der Wertschöpfung entstehen können und vielfach Produktgruppen (aber eben nicht den einzelnen Produkten) zugeordnet werden können. Deckungsbeiträge für solche Gemeinkosten (im Sinne von „Einzelkosten“ einer Produktgruppe) sollten ausschließlich von den Produkten der Gruppe erbracht werden.

Das vorgestellte Bottom-up Modell ermittelt Kosten der Produktion, die durch den Netzbetrieb entstehen, also im Wesentlichen die Kapital- und Betriebskosten der Infrastruktur. Im Modell werden Gemeinkosten nur dort erfasst, wo sie einer Gruppe von (Infrastruktur-) Leistungen zurechenbar sind, wie möglicherweise die Kosten der Unterbringung technischer Einrichtungen. Für echte Gemeinkosten (overheads), die auf anderen Ebenen der Unternehmenswertschöpfung entstehen, und die somit auch zu der Gesamtheit der modellierten Leistungen nicht in Beziehung gesetzt werden können, sind im Modellrahmen keine Bezugsgrößen vorhanden.

Ziel der Kostenmodellierung ist es, Kosten weitestgehend verursachungsgerecht als Einzelkosten zuzurechnen. Aufgrund der hohen Integration verschiedener Dienste auf vielen Ebenen des Telekommunikationsnetzes könnte man geneigt sein, einen großen Teil der Kosten des Netzes als Gemeinkosten bezogen auf die einzelnen über das Netz realisierten Dienste zu interpretieren. Das Prinzip der Integration besteht demgegenüber darin, die Anforderungen verschiedener Dienste an die Netzinfrastruktur auf einen gemeinsamen Nenner, zum Beispiel in Form beanspruchter Leitungen in einem übertragungstechnischen System, zu bringen. Bezogen auf diese Größe, die als Kostentreiber im Sinne einer aktivitätsorientierten Betrachtung zu verstehen ist, sind Kosten gemeinsam genutzter Einrichtungen als Einzelkosten den Diensten verursachungsgerecht zurechenbar.

Das relevante Inkrement im Sinne des Begriffes der Forward Looking Long Run Average Incremental Cost (FL-LRAIC) ist entsprechend dieser Konzeption die gesamte bereitgestellte Menge eines Netzelementes, ausgedrückt in der jeweiligen Ausbringungseinheit. Für jedes im Rahmen der Kostenanalyse relevante Netzelement ist daher die gesamte auf dieses Element gerichtete Nachfrage aller relevanten Dienste zu bestimmen. Die gesamten zusätzlichen Kosten des Elementes werden wiederum auf alle das Element beanspruchenden Dienste verteilt. Durch dieses Vorgehen wird sichergestellt, dass die in vielen Fällen vorhandenen Kostendegressionspotentiale steigender Ausbringungsmengen berücksichtigt und auf alle Dienste verteilt werden.

Für die hier vorzunehmende konkrete Untersuchung folgt daraus einerseits, dass nicht nur die (zusätzliche) Nachfrage nach Zusammenschaltungsleistungen relevant ist, sondern die gesamte Verbindungsnachfrage einschließlich aller Verbindungen die vollständig im Netz des Anbieters von Zusammenschaltungsleistungen verbleiben. Darüber hinaus muss berücksichtigt werden, dass Netzelemente gemeinsam von leitungsvermittelten Diensten, paketvermittelten Diensten und dauerhaft geschalteten Verbindungen (Festverbindungen/Mietleitungen) genutzt werden können. Diese Verbundproduktion erlangt vor allen Dingen im Transport- oder Übertragungsnetz hohe Relevanz, da der Nachfrage nach Transportkapazität, die aus leitungsvermittelten, schmalbandigen Diensten (POTS) abgeleitet werden kann, ein stetig steigendes Nachfragevolumen aus Datenverkehr und breitbandigen Diensten gegenübersteht. Dadurch ergibt sich für den Netzbetreiber die Möglichkeit, Übertragungssysteme höherer Kapazität wirtschaftlich einzusetzen und somit eine Degression der Kosten je Verbindungsminute oder je geschalteter Leitung zu realisieren.

## 2.2 Technologie und Netzstruktur

Vorrangiges 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 funktio-

nierenden Wettbewerb steht, ist gezwungen, dasjenige Produktionsverfahren zu wählen, mit dem eine Leistung zu minimalen Kosten erbracht werden kann. 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. Darüber hinaus muss gewährleistet sein, dass bei gegebenem Produktionsverfahren nicht mehr Ressourcen eingesetzt werden als unbedingt erforderlich.

Im Folgenden ist die Operationalisierung des anzuwendenden Kostenbegriffs im Kontext der Kostenanalyse für das Verbindungsnetz zu leisten. Mit dem 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 funktionsfähigen 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 (und erfolgreichen) Markteintritten verfügbar sein.

Hinsichtlich der einer Kostenermittlung zugrunde zu legenden Technologie und Netzstruktur sind daher Konventionen zu treffen, die einen Konsens über das gegenwärtig im obigen Sinne "beste" Produktionsverfahren 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.

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 Vermittlungstechnologie. Hinzu kommen Fragen der Bewertung und Abschreibung des Anlagevermögens, Nachfragevolumina, Auslastungsgrade bzw. Reservekapazitäten sowie relevante Betriebskosten.

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. Beide Extremszenarien liefern Informationen, die für die Preisfindung wenig hilfreich sind.

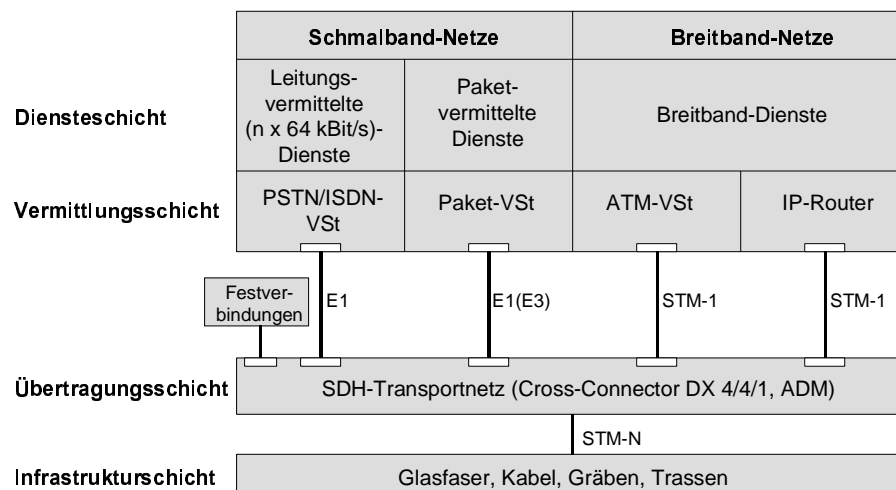
Die Aufgabe von Bottom-up Kostenmodellen kann es nicht sein, eine vollständige Netzoptimierung im Modell durchzuführen. Dies verbietet sich allein aus dem Grund, dass die Standorte von Vermittlungsstellen bzw. von Hauptverteilern nur im Rahmen eines Ansatzes optimiert werden können, der nicht nur das Verbindungsnetz betrachtet, sondern die Anschlussnetze einbezieht. Daher werden weiterhin Elemente der vorgefundenen Netzarchitektur der TA im Modell zu Grunde gelegt. Andere Elemente werden im Rahmen der Arbeit mit dem Modell abweichend von der bestehenden Netzstruktur und mit Blick auf realisierbare Effizienzgewinne festgelegt.

Die zentralen Annahmen lauten wie folgt:

- Die Standorte der Hauptverteiler werden gemäß der vorhandenen Netzarchitektur übernommen, 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 Anschlussdichte orientiert ist, so dass Netzknoten vornehmlich in Ballungszentren lokalisiert sind. Dies kann aufgrund des dominierenden Einflusses der Kosten der Anschlussnetze auf die Gesamtkosten lokaler Netze als Annäherung an ein Standortoptimum gelten.
- Vermittlung beruht auf digitaler Technik. Das öffentliche Telefonnetz beruht auf dem Prinzip der Leitungsvermittlung. Für paketvermittelte Dienste (X.25, Frame Relay) werden eigene Netzknoten aufgebaut. Auf der Ebene der Übertragungstechnik werden Leitungsnachfragen bis 155 Mbit/s (STM-1) integriert, wobei die Berücksichtigung der von Festverbindungen, paketvermittelten Diensten und Breitband-Diensten generierten Leitungsnachfrage in Form von Zuschlägen erfolgt.
- Die bei einigen Netzbetreibern derzeit im Aufbau befindlichen Netze, deren Vermittlung und Übertragung zellorientiert erfolgt, bezeichnen wir zusammengefasst als Breitbandnetze. Diese zumeist nach dem Prinzip des Asynchronen Transfer Modus (ATM) funktionierenden Netze sind grundsätzlich als integrierte Netzplattform für verschiedene Dienste einschließlich des Sprachtelefondienstes geeignet und können die Leitungsvermittlung zukünftig ablösen. Im Rahmen der Kostenanalyse gehen wir allerdings davon aus, dass ein ATM-Netz auf der Vermittlungsschicht lediglich für spezielle Dienstangebote und daher parallel zum vorhandenen PSTN/ISDN errichtet wird. Die Netzintegration erfolgt lediglich in der Übertragungsschicht. (Vgl. Abbildung 1). Dies hat zur Folge, dass die Kosten der Infrastruktur, die durch die Leitungsnach-

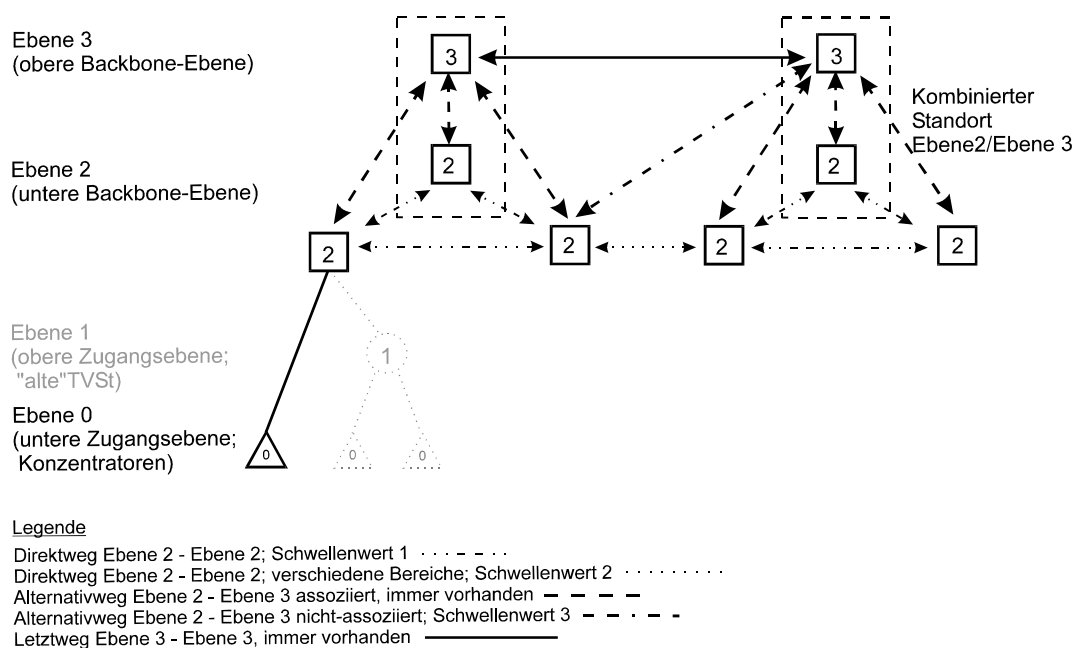
frage der einzelnen Geschwindigkeitsklassen anfallen, modellendogen bestimmt werden.

**Abbildung 1:** Netzschichten und Integrationsgrad



- Das logische Netz zerfällt in drei Hierarchieebenen. Auf der unteren Netzebene, die als Zugangsnetz<sup>1</sup> bezeichnet wird, sind Anschlussbereiche sternförmig an steuernde Vermittlungsstellen angebunden. Auf den beiden oberen Netzebenen (Backbone-netz), die als Teilnehmer- und Transitebene bezeichnet werden und die als teilvermaschtes Netz konzipiert sind, wird Leitwegelenkung und hierarchisches Überlaufrouting praktiziert. Die Transitebene ist vollvermascht. Direktwege werden ab vorzuziehender Schwellenwerte eingerichtet. Bei der Anbindung abgesetzter Konzentratoren an die Vermittlungsstellen spielen Wegewahlaspekte (Leitwegelenkung) keine Rolle, da der gesamte Verkehr zur nächsten Vermittlungsstelle geführt wird (vgl. Abbildung 2).

<sup>1</sup> Wenn in diesem Dokument vom Zugangsnetz gesprochen wird, so ist nicht das Teilnehmeranschlussnetz zwischen Endgerät und Hauptverteiler gemeint, sondern das Netzsegment, das die von der VSt abgesetzten Hauptverteiler mit dieser verbindet.

**Abbildung 2:** Struktur des logischen Netzes

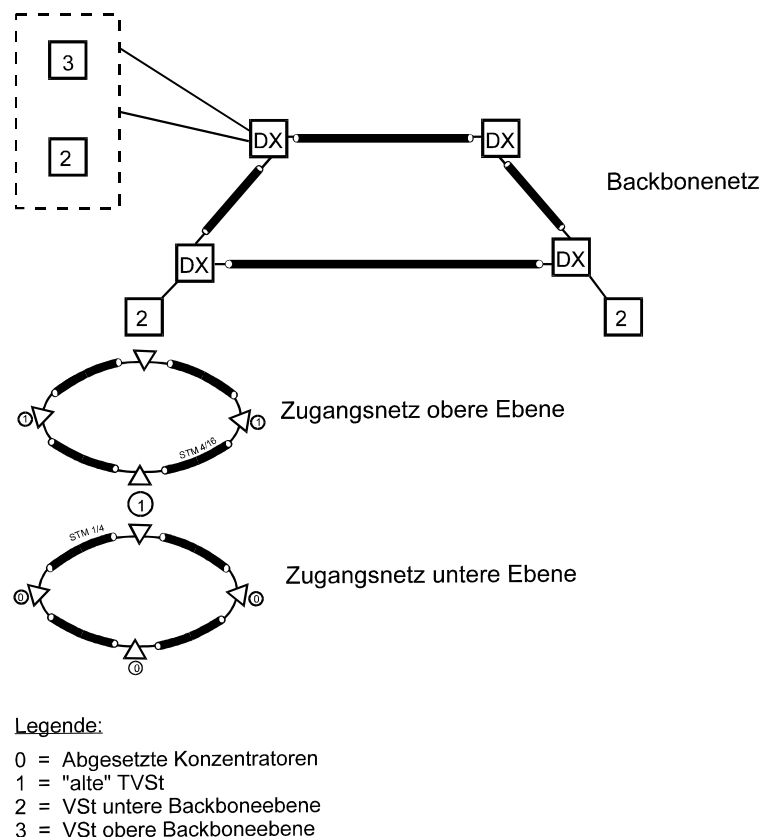
Die untere Backbone-Ebene ist eine stark aber nicht vollständig vermaschte Teilnehmerebene mit regionaler Transitfunktion, über der eine deutlich dünner besetzte Ebene von (reinen) Transitvermittlungsstellen (im Modell: obere Backboneebene) liegt. Die technische Kapazitätsobergrenze für Vermittlungsstellen dieser Ebene liegt derzeit bei 4000 E1 bzw. 2 Mbit/s-Ports. Bei der Festlegung der effizienten Zahl der Transitvermittlungsstellen muss diese Obergrenze berücksichtigt werden. Die Angaben der TA über die Zahl der Ebene-3-VStn kann dabei als Ausgangspunkt gewählt werden.

Es wird gegenwärtig angenommen, dass die Vermittlungseinheiten der oberen Backboneebene unabhängig von den kollokierten Vermittlungsstellen der unteren Ebene betrieben werden. Dies schlägt sich in der Investitionsrechnung für die Vermittlungsstellen nieder. Die Modellierung der oberen Backboneebene als reine Transitebene hat zur Folge, dass auch Verkehrsbeziehungen zu den *Standorten* der Vermittlungsstellen oberer Ebene entweder über einen Direktweg zum dort lokalisierten Knoten der unteren Backboneebene geführt werden oder alternativ über die Transitvermittlungsstelle (obere Backboneebene) laufen (Alternativweg).

Um eine möglichst breite Flexibilität des Modell zu gewährleisten, wurde eine weitere Vermittlungsebene in das Modell integriert. Die Vermittlungsstellen dieser Ebene vermitteln den Verkehr ihres Bereiches intern und sind auf der logischen Ebene sternförmig an die unteren Backboneknoten angebunden. Auf dieser Ebene werden

Alternativwege nicht eingerichtet. Dies wird bei der anzuwendenden Verlustformel und durch die mögliche Vorgabe von Leitungsreserven für ungeplante Verkehrsspitzen berücksichtigt, d.h. statt für 30 Kanäle werden die E1 nur für z.B. 28 Kanäle dimensioniert. Das Transportnetz ist in optischer Übertragungstechnik in der synchronen digitalen Hierarchie (SDH) aufgebaut. Im Zugangsnetz erfolgt die Anbindung in Form von Glasfaserringen, aus denen die Leitungsnachfragen einzelner Anschlussbereiche mittels Add-Drop Multiplexer (ADM) abgezweigt werden. Als Knoten des Transportnetzes der oberen Netzebenen werden digitale Cross-Connectoren eingesetzt. Bei sehr hohen Knotenzahlen wird als Option die Einfügung einer weiteren Ebene von Glasfaserringen zwischen Knoten der Teilnehmer- und der Transitebene berücksichtigt (vgl. Abbildung 3).

**Abbildung 3:** Struktur des physikalischen Netzes



## 2.3 Elementorientierung

Elementorientierung von Kosten und Entgelten bedeutet einerseits, wie bereits beschrieben, dass jedes Netzelement dimensioniert wird, um all jene Dienste, die dieses

Element beanspruchen, abwickeln zu können (sog. TELRIC-Ansatz). Darüber hinaus beinhaltet das Konzept jedoch vor allem das Postulat der Zusammensetzung der Entgelte von Verbindungsleistungen auf Basis der Kosten der von diesen Verbindungen tatsächlich in Anspruch genommenen Netzelemente. Für die Kostenanalyse bedeutet dies, dass ein in hohem Maße disaggregiertes Vorgehen zu wählen ist, um regulierungsverwertbare Informationen zu generieren. Dabei kommt es zunächst darauf an, diejenige Stelle im PSTN/ISDN zu identifizieren, die aus der Teilnehmerperspektive nicht dedizierte, sondern gemeinsame Ressourcen für die Erbringung der nachgefragten Leistung zur Verfügung stellt. Das Schalten von 64 kbit/s Kanälen wird erstmals am Konzentrator eingeschränkt. Bis zu diesem Punkt ist das Netz so dimensioniert, dass jeder Teilnehmer entsprechend dem nachgefragten Anschlusstyp (analog, ISDN-B, ISDN-PrMux) auf dedizierte Ressourcen zurückgreifen kann. Alle Netzkomponenten darüber hinaus müssen verkehrsabhängig dimensioniert werden und bilden somit das Verbindungsnetz.

Die von uns im Rahmen des Modells berücksichtigten Netzelemente (bzw. Netzfunktionen), für die wir ausgehend von Nachfragevolumina zunächst Investitionswerte und in einem zweiten Schritt Kosten auf Jahresbasis ermitteln, sind:

- die Teilnehmervermittlungsfunktion ( $\Rightarrow$  Abschnitt 3.2.3), die weiter zerlegt wird in Konzentrationsfunktion, Leitungsanschlussfunktion, Koppelfunktion und Steuerungsfunktion,
- die Transitvermittlungsfunktion ( $\Rightarrow$  Abschnitt 3.2.3), die weiter zerlegt wird in Leitungsanschlussfunktion, Koppelfunktion und Steuerungsfunktion,
- Transport im Zugangsnetz ( $\Rightarrow$  Abschnitt 3.2.1.3.),
- Transport zwischen zwei verbundenen Ebene-2-Knoten ( $\Rightarrow$  Abschnitt 3.2.2.7),
- Transport zwischen zwei Transitknoten ( $\Rightarrow$  Abschnitt 3.2.2.7),
- Transport zwischen Knoten der Ebene 2 und hierarchisch zugeordneten Transitknoten ( $\Rightarrow$  Abschnitt 3.2.2.7),
- Transport zwischen Knoten der Ebene 2 und nicht-zugeordneten Transitknoten ( $\Rightarrow$  Abschnitt 3.2.2.7),
- sowie die Zeichengabefunktion ( $\Rightarrow$  Abschnitt 3.2.4).

### 3 Ermittlung des betriebsnotwendigen Anlagevermögens für das Verbindungsnetz

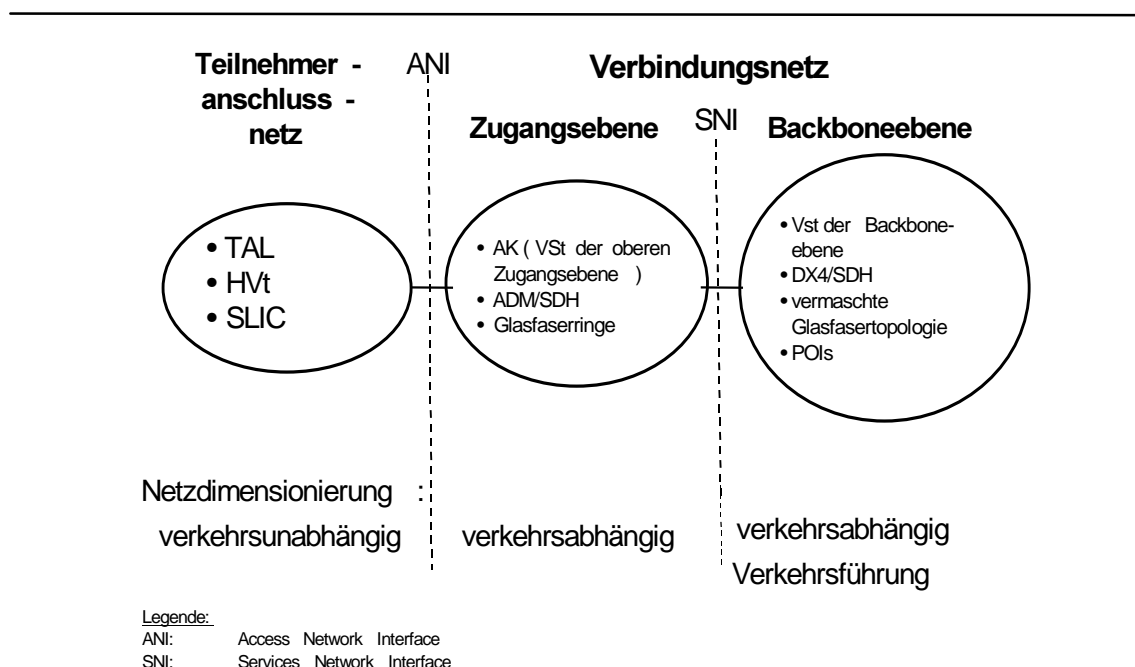
Unser generelles Vorgehen bei der Kostenermittlung stellt sich wie folgt dar: Ausgehend von Nachfragedaten werden wir das zukunftsgerichtet notwendige Investitionsvolumen für das nationale leitungsvermittelte Telekommunikationsnetz (PSTN/ISDN) ermitteln. Dies entspricht dem Konzept der Bottom-up Kostenmodellierung, bei dem ausgehend vom zu erstellenden Leistungsangebot die Kosten der Produktion – hier die Kosten des Netzes – mit Hilfe von technischen und ökonomischen Input-Output Beziehungen ermittelt werden. Besonderes Augenmerk gilt dabei der Abbildung eines effizient gestalteten und betriebenen Netzes, die durch Vorgabe von Strukturparametern, durch Einbau von Algorithmen zur Darstellung einer effizienten Verkehrsführung sowie durch Anwendung von Benchmarks bei der Ermittlung von indirekten Investitionen und Betriebskosten sichergestellt wird.

Zu unterscheiden ist zwischen der Schicht des logischen Netzes und der des physikalischen Netzes (Transportnetz; Übertragungsnetz). Das logische Netz setzt sich aus den Vermittlungseinrichtungen und den sie verbindenden Leitungen, in digitalen Netzen in Form von 2 Mbit/s Verbindungen bzw. Leitungsgruppen – nach europäischer Nomenklatur E1 – zusammen. Es ist technisch gesehen unabhängig vom physikalischen Netz, wenngleich die Struktur des logischen Netzes auf die Kosten des physikalischen Netzes Einfluss nimmt. Das physikalische Netz hat die Aufgabe, alle Leitungsnachfragen aus unterschiedlichen Diensten und den ihnen zugehörigen logischen Netzen zusammenzufassen und durch entsprechende Multiplexer, Übertragungseinrichtungen und Übertragungsmedien zu realisieren, d.h. entsprechende Transportkapazitäten bereitzustellen. Damit ist das physikalische Netz eine integrierte Netzschicht, selbst wenn unterschiedliche logische Netzsichten für verschiedene Dienste bestehen. Die Abbildung 2 und Abbildung 3 zeigen die Unterschiede zwischen logischem und physikalischem Netz. Deutlich wird, dass das logische Netz auf der unteren Ebene der Konzentratoren eine Sternstruktur aufweist, während die obere Netzebene mehr oder weniger stark vermascht ist. Die physikalische Netzsicht, auch Transportnetz genannt, weist auf der unteren Ebene eine Struktur separierbarer Access-Ringe auf, deren Knoten von Add-Drop Multiplexern (ADM) gebildet werden. Das obere Netzsegment weist dagegen eine Vielzahl miteinander verwobener Ringe auf, deren Knoten von digitalen Cross-Connectoren gebildet werden.

Ausgehend von gegebenen Anschlussbereichsgrenzen und Hauptverteilerstandorten wird zunächst eine Aggregation zu Zugangsnetzen mit jeweils einer Vermittlungsstelle vorgenommen. Hinsichtlich der Größe der Zugangsnetze orientieren wir uns an effizienten Vermittlungsstellengrößen. Im nächsten Schritt wird die Verkehrsverteilung zwischen den Teilnehmervermittlungsstellen berechnet und unter Zugrundelegung von Routingregeln die Verkehrsführung ermittelt. Die bei diesen Berechnungen generierten Daten bilden die Grundlage für die Investitionsrechnung. Wir unterscheiden dabei im

Bereich des Transportnetzes zwischen der Zugangsebene, also denjenigen Transporteinrichtungen in Form von Add-Drop Multiplexern, Glasfasern und Gräben, die abgesetzte Konzentratoren ringförmig mit Vermittlungsstellen verbinden, und der Backboneebene. Die Knoten des Transportnetzes in der Backboneebene bilden digitale Cross-Connectoren, die untereinander wiederum mit Glasfasern und der zugehörigen Infrastruktur in Form von Kabelkanälen, Gräben etc. verbunden sind. Mit Hilfe eines Partitionsmodells lassen sich die verschiedenen Teilnetze eines nationalen Festnetzes graphisch darstellen. Die nachfolgende Grafik illustriert sowohl die Abgrenzung von Teilnehmeranschlussnetz und Verbindungsnetz als auch die Schnittstelle zwischen Zugangsebene und Backboneebene im Verbindungsnetz.

**Abbildung 4:** Partitionsmodell des PSTN/ISDN



Ergebnis der Berechnungen sind Investitionswerte für die Bereitstellung von 2 Mbit/s Gruppen zwischen den Vermittlungsstellen (bzw. Konzentratoren) der verschiedenen Ebenen der Netzhierarchie.

Die Verkehrsmengen der Vermittlungsstellen sind Ausgangspunkte der Investitionsrechnung für die Vermittlungstechnik. Die Funktionen der Vermittlungsstellen werden in Konzentration, Leitungsanschluss, Durchschaltung von Nutzkanälen und Steuerung zerlegt. Berücksichtigt werden auch anschlusspezifische Investitionen sowie Investitionen in Unterbringung und weitere Ausrüstung. Darüber hinaus werden Investitionen in den Aufbau des Zeichengabenetzes in Form von Signalisierungsendpunkten und Signalisierungstransferpunkten berücksichtigt.

Investitionen für die Durchführung des allgemeinen Netzbetriebes, die nicht direkt erfasst werden, werden als Zuschlag zur Investitionssumme gerechnet, wobei auf internationale Benchmarks, auf Daten aus der Kostenrechnung der TA soweit verfügbar und auf Angaben anderer Netzbetreiber zurückgegriffen wird. Das gleiche Verfahren werden wir zur Ermittlung der Betriebskosten anwenden.

Investitionen werden abschließend annualisiert und für die oben aufgeführten Netzelemente bzw. -funktionen ausgewiesen. Mit Hilfe von Jahresnachfragemengen werden die Kosten der Netzkapazität auf Minutenbasis umgerechnet (vor möglicher zeitlicher Differenzierung). Diese Werte können in einem abschließenden Schritt mit Hilfe von Nutzungsfaktoren zu Kosten von Zusammenschaltungsleistungen im Sinne des Konzeptes der zukunftsgerichteten langfristigen zusätzlichen Kosten aggregiert werden.

### 3.1 Nachfrage

Das Problem, welches sich aus der Verfolgung des TELRIC-Ansatzes ergibt, liegt in der Notwendigkeit, für alle Dienste, die zusammenschaltungsrelevante Netzelemente nutzen, eine Nachfragebestimmung vorzunehmen. Die Aufstellung eines Nachfrage- und Verkehrsmodells für alle das Netz nutzenden Dienste einschließlich der angebotenen Festverbindungen ist aufgrund der hohen Integration insbesondere im SDH-Transportnetz nur langfristig leistbar. Im Modellansatz wird so vorgegangen, dass eine Nachfragebestimmung zunächst nur für die Nachfrage nach schmalbandigen Verbindungsleistungen, die im ISDN durch Schaltung eines 64 kbit/s Kanals zwischen den Teilnehmern für die Verbindungsdauer realisiert wird, durchgeführt wird. Die hiermit realisierbaren Dienste umfassen Telefonie, Fax und Datenübertragung. Die ebenfalls über das ISDN zugeführten paketvermittelten Dienste (z.B. Datex-P, X.25) werden an dieser Stelle nicht berücksichtigt, da deren Integration sich auf die Teilnehmeranschlussleitung sowie auf die physikalische Ebene des Verbindungsnetzes beschränkt, während ansonsten innerhalb des Netzes eine eigene logische Ebene mit zugehörigen Paketvermittlungseinrichtungen implementiert wird.

Es wird davon ausgegangen, dass für jeden Hauptverteilerstandort Informationen über die Anzahl der drei wichtigsten Anschlusstypen, analoger Anschluss, ISDN-Basisanschluss und Primärmultiplex-Anschluss (PrMux) von der TA zur Verfügung gestellt werden können. Es wird weiterhin davon ausgegangen, dass für alle drei Anschlusstypen eine durchschnittliche Verbindungsnachfrage (interpretiert als Quellverkehr) festgelegt werden kann, die als Ausgangspunkt für die Auslegung des Netzes und als Basis für die Verteilung der annualisierten Kosten dient. Die Verbindungsnachfrage wäre im Sinne der Zukunftsorientierung als erwartete Nachfrage zu bestimmen. Aufgrund der schwierigen Prognostizierbarkeit halten wir allerdings eine enge Anlehnung an aktuelle Werte für angemessen.

Notwendig für die Netzdimensionierung sind Angaben zur Nachfrage in der Hauptverkehrsstunde. Definiert wird die Verkehrslast in der Hauptverkehrsstunde als Durchschnitt aus den  $n$  Stunden eines Jahres mit der höchsten Nachfrage. Im Rahmen der Kostenanalyse ist  $n$  festzulegen. Der Netzausbau orientiert sich am Durchschnitt der Hauptverkehrsstunden der 20 verkehrsreichsten Tage ("normal load" gemäß ITU-T-500).

Es ist zwischen der Hauptverkehrsstunde des Netzes und einzelner Elemente bzw. einzelner Elementgruppen zu unterscheiden. So können beispielsweise die Vermittlungsstellen der Ebene 2 ihren Netzwerkpeak in den Vormittagsstunden erreichen, während die Vermittlungsstellen der Ebene 1 hingegen ihren Peak am Abend aufweisen können.

Eine Berücksichtigung unterschiedlicher Netzwerkspitzen ist nur durch eine explizite Nachfragemodellierung aller derjenigen Dienste zu leisten, die das leitungsvermittelte Telefonnetz beanspruchen. Diese hohe Integrationsdichte von Diensten mit ihrem spezifischen Nachfrageverhalten über den Tagesverlauf ist im Modell bisher nicht berücksichtigt. Die Möglichkeit, dass nicht alle Netzelemente zur gleichen Zeit ihre Lastspitze erreichen, kann im Modell durch Verwendung von Auslastungsgraden berücksichtigt werden. Diese Auslastungsgrade setzen die Nutzung des Elementes zum Zeitpunkt der Hauptverkehrsstunde des Netzes ins Verhältnis zur Nutzung des Elementes zum Zeitpunkt der individuellen Lastspitze. Dieses Vorgehen stellt sicher, dass vorhandene individuelle Lastspitzen eingefangen werden können und zusätzliche Kapazitäten für diese Elemente über die Netzwerkspitze hinaus bereitgestellt werden. Zusätzliche Kapazitäten erfüllen neben dem angesprochenen Zweck der Berücksichtigung von individuellen Lastspitzen auch die Funktion, in der Netzwerkspitze Managementfunktionen abzuwickeln. Zusätzliche Kapazitäten werden zudem als Sicherheitsreserve bereitgestellt, um unerwartete zukünftige Nachfrageänderungen oder Ausfälle einzelner Elemente abzufangen.

Als Beispiel sei die Dimensionierung der abgesetzten peripheren Einheiten (APE) in der Hauptverkehrsstunde geschildert. Die folgende Tabelle soll verdeutlichen, welche Bedeutung die Existenz von Lastspitzen einzelner Elemente („individuelle Lastspitzen“) in diesem Zusammenhang hat.

**Tabelle 1:** Individuelle Lastspitzen

<b>Stunde \ Element</b>	<b>APE A</b>	<b>APE B</b>	<b>Durchschnitt</b>	<b>Summe</b>
<b>1</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>8</b>	<b>1</b>	<b>4,5</b>	<b>9</b>

Betrachtet werden zwei abgesetzte periphere Einheiten A und B. Des Weiteren werden für jeden dieser abgesetzten Konzentratoren zwei Zeitpunkte betrachtet. Konzentrator A weist in der ersten Stunde einen Verkehr von 3 Erlang und in der zweiten Stunde einen Verkehr von 8 Erlang auf. Für Konzentrator B soll gelten, dass die größte Verkehrsmenge von 7 Erlang in der ersten Stunde und in Stunde 2 dagegen nur ein Volumen von 1 Erlang zu bewältigen ist.

Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass die Netzwerkspitze in der Stunde 1 mit einem generierten Gesamtverkehr von 10 Erlang erreicht wird. Die übertragungstechnischen Einrichtungen zwischen APE und der zugehörigen Vermittlungsstelle werden somit für einen Verkehr von 10 Erlang mit der Erlang-Verlustformel dimensioniert. Bei einer unterstellten Gleichverteilung des generierten Verkehrs, fallen dann durchschnittlich 5 Erlang je APE in der Hauptverkehrsstunde an. Wenngleich der meiste Verkehr in der Hauptverkehrsstunde abgewickelt wird, können einzelne Elemente eine individuelle Lastspitze aufweisen, für die zusätzliche Kapazitäten über die Netzwerkspitze hinaus bereitgestellt werden müssen. So hat in obiger Tabelle die APE B in der Stunde 1 mit 7 Erlang seinen individuellen Peak, die APE A in der Stunde 2 mit 8 Erlang. Die konzentrierenden Einrichtungen in den APE dürfen folglich nicht mit dem Verkehr aus der Hauptverkehrsstunde (durchschnittlich 5 Erlang), sondern müssen mit den Verkehrsvolumina aus den individuellen Peaks dimensioniert werden.

Nach der Festlegung der von einem Anschluss durchschnittlich entfalteten Verbindungsnachfrage werden die Quellverkehre für lokale Vermittlungsbereiche durch Aggregation der Verkehrsmengen über alle angeschlossenen Hauptverteiler ermittelt. Anschließend sind Verkehrsbeziehungen zwischen allen Knoten des nationalen Netzes, die Vermittlungsfunktionen ausführen, zu ermitteln. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Netz der TA mit einer Reihe von Netzen Dritter zusammengeschaltet ist und daher ein Teil der nachgefragten Verbindungen ihr Ziel oder ihren Ursprung in anderen Netzen als dem nationalen Festnetz des etablierten Anbieters haben. Zu denken ist an

- alternative Festnetze: Die Zusammenschaltung kann sowohl auf Ebene 2 (VST\_T) und Ebene 3 (TransVSt) erfolgen.
- das internationale Netz: Der Netzübergang erfolgt in der Regel auf der obersten Netzebene. Auslandsvermittlungseinheiten sind mit Vermittlungseinheiten der Transitenebene kolloziert.
- Mobilfunknetze: Der Übergang kann ebenfalls auf den zwei Backboneebenen erfolgen.

Bei der Festlegung des gehenden Teilnehmerverkehrs muss eine Aufteilungsannahme getroffen werden, die konkretisiert, welcher Anteil des Verkehrs nicht im Festnetz der TA endet bzw. beginnt.

Wir spalten den gesamten Teilnehmerverkehr in eine Komponente netzinternen Verkehrs und eine Komponente des Verkehrs zu zusammengeschalteten Netzen auf. Der netzinterne Verkehr wird mit Hilfe einer Verkehrsverteilungsfunktion auf die möglichen Zielknoten verteilt, die als Argumente sowohl die vom Zielknoten insgesamt ausgehende Verkehrsmenge als auch die Entfernung zwischen Ursprungs- und Zielknoten berücksichtigt. Die Verkehrsbeziehung zwischen zwei Knoten ist c.p. je nach Parametrisierung folglich um so größer, je geringer die Entfernung und je größer der ausgehende Verkehr des Zielknotens ist. Dabei ist zu berücksichtigen, dass jeder Knoten auch Internverkehr aufweist, der in geeigneter Weise zu berücksichtigen ist. Die verwendete Verkehrsverteilungsfunktion generiert keine Verkehrsbeziehung eines Knotens zu sich selbst. Daher wird der Internverkehr, also Verkehr, dessen Quelle wie Senke im selben Zugangsbereich liegt, in einem vorgezogenen Rechenschritt als Anteil des gesamten Quellverkehrs bestimmt.

Der Internverkehr wird dabei mittels einer analytischen Funktion erfasst, die so formuliert ist, dass bis zu einem bestimmten Verkehrsschwellenwert der Internverkehr konstant bleibt und dann stetig bis zu einer Obergrenze ansteigt.

$$\delta_i = \begin{cases} \min di & , \text{für } t_i^{oi} \leq \min tra \\ \frac{(\max di - \min di)}{(\max tra - \min tra)^\omega} * (t_i^{oi} - \min tra)^\omega + \min di & , \text{für } \min tra < t_i^{oi} < \max tra \\ \max di & , \text{für } t_i^{oi} \geq \max tra \end{cases} \quad (1)$$

mit:

$\min tra$  = minimaler Verkehrsschwellenwert für den internen Verkehr (in Erlang)

$\max tra$  = maximaler Verkehrsschwellenwert für den internen Verkehr (in Erlang)

$\min di$  = minimaler Internverkehr (in %)

$\max di$  = maximaler Internverkehr (in %)

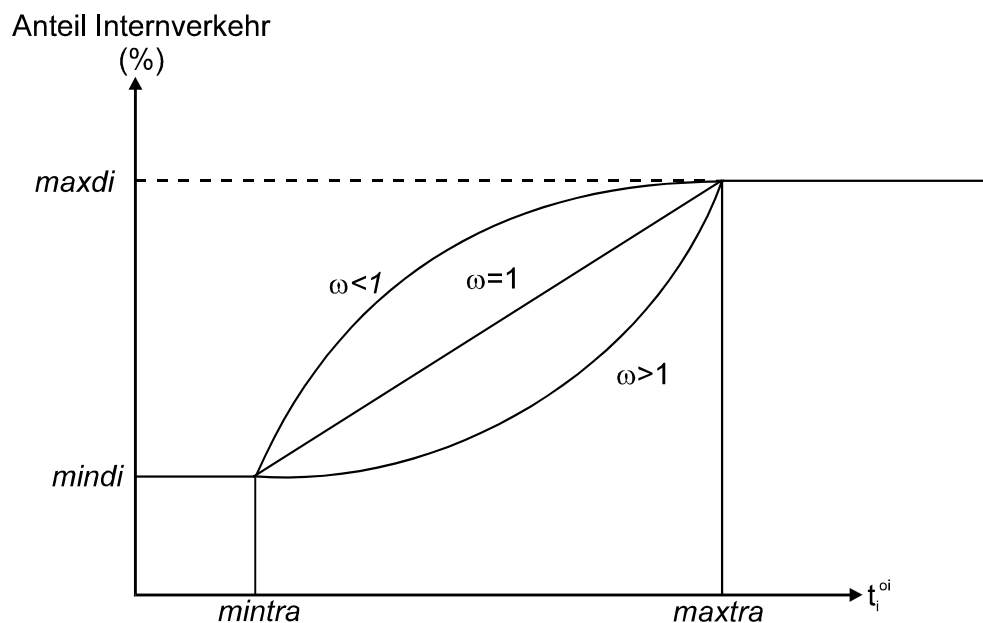
$\delta_i$  = prozentualer Anteil des Internverkehrs am Gesamtverkehr  $t_i^{oi}$ , endogen bestimmt

$t_i^{oi}$  = gesamter Quellverkehr, inklusive Internverkehr

$\omega$  = Maß für den Anstieg der Kurve zwischen  $\min tra$  und  $\max tra$  mit  $\omega > 0$ , wobei  $\omega < 1$  einem konkaven,  $\omega = 1$  einem linearen und  $\omega > 1$  einem konvexen Kurvenverlauf entspricht.

Durch Variation von  $\omega$  kann somit der Grad des Anstiegs zwischen dem Segment  $\min tra$  und  $\max tra$  bestimmt werden.

**Abbildung 5:** Prozentualer Anteil des Internverkehrs am gesamten Quellverkehr



Der ausgehende Verkehr des Knotens  $i$ ,  $t_i^o$ , ergibt sich somit nach Abzug des Internverkehrs vom gesamten Quellverkehr.

Die Verkehrsverteilungsfunktion bereinigt um den Internverkehr lautet:

$$t_{ij}^r = c_i (t_j^o)^\beta * l_{ij}^\alpha, \text{ mit } t_j^o = t_j^{oi} - \delta_j t_j^{oi} \quad (2)$$

mit  $\alpha \leq 0$ ;  $\beta \geq 0$

wobei die Nachfrage zwischen Quell- und Zielknoten  $t_{ij}^r$  mit dem ausgehenden Verkehr des Zielknotens  $t_j^o$  und dem Abstand  $l_{ij}$  zwischen beiden Knoten korreliert. Das Korrelationsmaß wird dabei durch die beiden Parameter  $\alpha$  und  $\beta$  bestimmt. Wir gehen von der Hypothese aus, dass der Einfluss der Entfernung zwischen den Knoten einen geringeren Effekt auf die Verbindungsnachfrage hat als die Verkehrsmengen. Der Proportionalitätsfaktor  $c_i$  gibt den Anteil des von  $i$  generierten am gesamten, durch die Nachfragefunktion definierten abgehenden Verkehr wieder. Er bestimmt, dass die Verkehrsnachfrage von Knoten  $i$  zu allen anderen Knoten  $j$ , mit  $i \neq j$ , nicht größer sein darf als der ausgehende Verkehr des Knotens  $i$ . Als Maß für  $c_i$  wird dabei der ausgehende Verkehr aller anderen Knoten  $t_j^o$  zugrunde gelegt. Der eingehende Verkehr des Knotens  $i$  wird c.p. als Summe der Nachfrage aller anderen Knoten  $j$  zu  $i$ , mit  $i \neq j$ , bestimmt. Bei der Aufstellung der Verkehrsmatrix kann vorgegeben werden, dass sehr schwache Beziehungen, die einen bestimmten Schwellenwert nicht erreichen, nicht weiter berücksichtigt werden. Die Nachfrage, die auf die ggf. nicht berücksichtigten Verkehrsbeziehungen

entfällt, wird auf die verbleibenden Verkehrsbeziehungen proportional zu deren Stärke verteilt. Wir gehen davon aus, dass eine Verkehrsnachfrage bis max. 1 Erlang hinreichend gering ist, um eine Verteilung des Verkehrs auf die übrigen Verkehrsbeziehungen zu rechtfertigen.

Die resultierende Verkehrsmatrix enthält schließlich die vollständige Liste aller internen Verkehrsbeziehungen zwischen allen denkbaren Knotenpaaren.

In einem zweiten Schritt wird nun der Verkehr zu und aus zusammengeschalteten Netzen betrachtet. Hierzu müssen Annahmen darüber getroffen werden, an welchen Knoten der Netzübergang für Verbindungen von und zu Teilnehmern der verschiedenen Anschlussbereiche stattfindet. Plausibel ist, dass Netzübergabepunkte in der Regel an Netzknoten der beiden Backboneebenen liegen. Die Verkehrsbeziehungen zu diesen Knoten werden dann entsprechend dem zu übergebenden Verkehr verstärkt, wobei wir zunächst annehmen, dass die Verkehrsbeziehungen symmetrisch sind. Diese Annahme kann bei Vorliegen detaillierterer Informationen entsprechend angepasst werden.

Im Rahmen der Verkehrsmatrix spielt die Führung des Verkehrs noch keine Rolle, da ausschließlich die Quelle und das Ziel der Verbindung berücksichtigt werden. Die Matrix ist allerdings die Grundlage für die folgenden Berechnungen zur Festlegung der Verkehrsführung (Routing) im Netz.

### 3.2 Investitionsrechnung

Die Verkehrsmatrix konkretisiert die Verbindungsnachfrage, die aus schmalbandigen vermittelten Diensten, also im Wesentlichen aus dem Sprachtelefondienst, herrührt. Andere (nicht-leitungsvermittelte) Dienste und Festverbindungen werden an dieser Stelle noch nicht berücksichtigt. Die von diesen Diensten generierte Leitungsnachfrage wird bei der Investitionsrechnung in Form von Zuschlägen berücksichtigt, welche die Zahl der auf einer Verbindung zwischen zwei Vermittlungsstellen geschalteten Leitungsgruppen erhöht.

Der nächste Schritt besteht in der Ermittlung des Investitionsvolumens, das aufgewendet werden muss, um ein Netz zu errichten, mit dem die gesamte Nachfrage unter Einhaltung definierter Qualitätsstandards, wie Blockierungsrate und durchgängige Netzverfügbarkeit, befriedigt werden kann. Es ergibt sich zunächst die vorgelagerte Frage, wie weit dabei die Anlehnung an eine vorhandene Netzstruktur getrieben werden soll. Wir gehen so vor, dass wir die vorhandenen Hauptverteilerstandorte des Netzbetreibers (also der TA) als Standorte für übertragungstechnische Einrichtungen und potentiell für vermittlungstechnische Einrichtungen als gegeben ansehen. Darüber hinaus sollte die Netzstruktur an einer zukunftsgerichteten effizienten Konfiguration ausgerichtet werden. Dies betrifft zum einen das Verhältnis von steuernden Vermittlungsstellen zu abgesetz-

ten Konzentratoreinheiten, aber auch die Hierarchisierung des Netzes, die Verkehrsführungsregeln und schließlich die Struktur und die Technik des Transportnetzes.

Alle HVT-Standorte (und somit die dort angeschlossenen Teilnehmer) sind mit Vermittlungsstellen zu verbinden, deren Standorte eine echte Teilmenge der Hauptverteilerkoordinaten darstellen. Die Zahl der Teilnehmervermittlungsstellen, die bei effizienter Netzgestaltung notwendig sind, kann aus der mindestopimalen technischen Betriebsgröße für Vermittlungsstellen abgeleitet werden. Da ein nicht unerheblicher Teil der Investitionen in Vermittlungsstellen fix in dem Sinne ist, dass dieser bereits bei Aufnahme des Betriebs, d.h. mit der ersten Ausbringungseinheit, getätigt werden muss, liegen Kostendegressionspotentiale einer wachsenden Vermittlungsstellengröße vor, die die Zusammenfassung großer Teilnehmerzahlen nahe legen. Wir vermuten, dass diese Vorteile bis zu einer gewissen Grenze nicht dadurch aufgewogen werden, dass zur Heranführung des Teilnehmerverkehrs an die VSt größere Verkehrsmengen über längere Wege transportiert werden müssen. Begründet ist dies einerseits dadurch, dass über Glasfasern auch größere Distanzen ohne Verstärker überbrückt werden können und andererseits im Bereich der Leitungsendgeräte ebenfalls eine Kostendegression bei steigender Übertragungsleistung zu beobachten ist.

Die effiziente Netzkonfiguration ist diejenige, die es erlaubt, die gegebene Nachfrage zu den geringsten Kosten zu befriedigen. Das von uns vertretene Modell enthält keinen globalen Optimierungsalgorithmus. Es räumt aber erhebliche Freiheitsgrade bei der Berechnung von alternativen Szenarien ein, so dass es möglich ist, die effiziente Netzkonfiguration näherungsweise zu ermitteln, bzw. ausgehend von einer vorhandenen Konfiguration durch Veränderung von Parametern Kostensenkungspotentiale auszuloten.

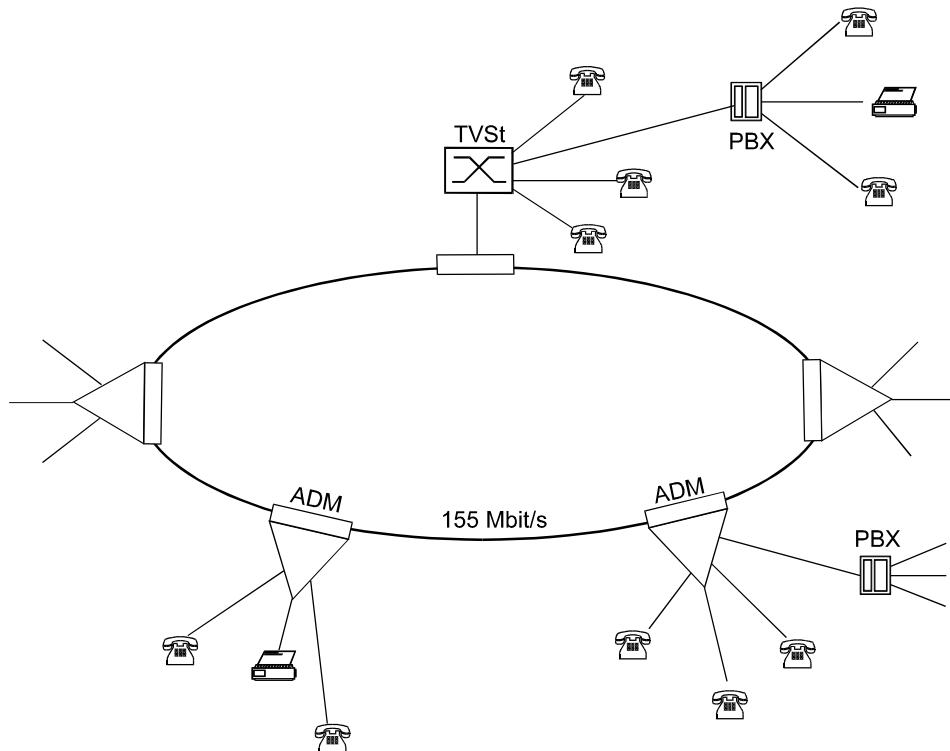
Beschrieben wird zunächst, welchen Regeln die Zusammenfassung von Anschlussbereichen zu Zugangsbereichen folgt und wie die Investitionsrechnung für das Zugangnetz durchgeführt wird. Anschließend wird die Investitionsrechnung für das Backbone-netz und die Vermittlungstechnik erläutert. Den Abschluss der Investitionsrechnung bildet das Zeichengabenetz.

### 3.2.1 Zugangnetz

Hinsichtlich der generellen Netzstruktur des Zugangnetzes werden die folgenden Annahmen getroffen: Die Teilnehmer eines Anschlussbereiches sind entweder an eine Vermittlungsstelle oder an einen abgesetzten Konzentrator angeschlossen. An den abgesetzten Standorten werden keine Vermittlungsfunktionen ausgeführt. Der gesamte Verkehr eines Anschlussbereiches wird folglich zur zugeordneten Teilnehmervermittlungsstelle geführt. Die Anbindung auf der logischen Netzschiicht erfolgt in Form einer Sternstruktur. Auf der physikalischen Netzschiicht wird die Anbindung in Form von Glasfaserringen realisiert. An den Hauptverteilern der abgesetzten Anschlussbereiche sind

sowohl Teilnehmerbaugruppen wie auch konzentrierende Baugruppen angeordnet. Die Einbindung der Konzentratoren in den Glasfaserring erfolgt durch Add-Drop Multiplexer.

**Abbildung 6:** Ringstruktur auf der physikalischen Ebene des Zugangsnetzes



### 3.2.1.1 Klassifikation der Netzknoten

Die Bestimmung der designierten Standorte für Vermittlungsstellen geschieht durch Auswahl der  $n$  verkehrsstärksten (d.h. in der Regel teilnehmerstärksten) Standorte unter der Nebenbedingung eines einzuhaltenden Mindestabstandes. Durch diese Restriktion kann mittels Vorgabe geeigneter Werte vermieden werden, dass die Vermittlungsstellenstandorte zu sehr in den Ballungsräumen konzentriert werden.

Bei der Festlegung der Anzahl der im Modell zu berücksichtigenden Teilnehmervermittlungsstellen sind drei Parameter zu beachten, welche die Größe einer Vermittlungsstelle bzw. den maximal erreichbaren Ausbauzustand begrenzen. Aus dieser maximalen Größe folgt die minimal zu berücksichtigende Zahl der lokalen Vermittlungsstellen. Die Restriktionen sind die Zahl der anzuschließenden Teilnehmer (bzw. Beschaltungseinheiten, BE), der maximal durchschaltbare Verkehr (ausgedrückt in Erlang) sowie die maximale Verarbeitungskapazität für Verbindungswünsche (ausgedrückt in BHCA). Das

System EWSD der Fa. Siemens erreicht gegenwärtig Kapazitäten von 850.000 BHCA und 25.200 Erlang und bis zu 220.000 BE. Bei gegebener Nachfrage nach Verbindungsleistungen können die Kriterien auf das der maximalen Teilnehmerzahl reduziert werden. Die effiziente Zahl der Vermittlungsstellen im nationalen Netz wird neben der Ausbaugrenze im Wesentlichen durch den Vergleich zwischen den Kosten der Vermittlungs- und Übertragungstechnik determiniert. Liegen die Kosten für Aufbau und Betrieb der Übertragungstechnischen Einrichtungen unterhalb der Kosten für die Vermittlungstechnik, ist es effizient, nur so viele VStn einzusetzen, dass die realisierbare Ausbaugrenze pro VSt erreicht wird. Die Vermittlungsstellenanzahl ergibt sich dann durch Division der Beschaltungseinheiten im nationalen Netz durch die Kapazität pro VSt. Die aktuelle Zahl der Vermittlungsstellen mit Teilnehmerfunktionen im TA-Netz ist wesentlich höher, was ein erhebliches Potential möglicher Effizienzgewinne durch Nutzung von Größenvorteilen suggeriert. Zu beachten ist allerdings, dass im Rahmen des "scorched node" Ansatzes die Teilnehmerzahl je HVt-Standort nicht beliebig variiert werden kann, ergo Beschaltungseinheiten je Konzentrator vorgegeben sind, so dass die Vermittlungstellengröße je nach Region oder Ortsnetz unterschiedlich ausfallen kann.

### 3.2.1.2 Zuordnung der Zugangsknoten zu Vermittlungsstellen

Vermittlungsstellen bilden zusammen mit ihren abgesetzten Anschlussbereichen Zugangsbereiche ("Access-Cluster") bzw. lokale Vermittlungsbereiche, deren Zusammensetzung im Rahmen der Kostenmodellierung mit Hilfe eines einfachen Zuordnungsalgorithmus bestimmt wird. Die Zuordnung der Anschlussbereiche zu den Vermittlungsstellen folgt im unteren Zugangsnetz dem einfachen Entfernungskriterium unter Berücksichtigung der angesprochenen Kapazitätsrestriktionen für Vermittlungsstellen. Im Modell wird angenommen, dass es hinreichend ist, die Teilnehmerzahl des Zugangsbereiches als Kenngröße abzufragen und mit der vorgegebenen Obergrenze abzugleichen. Der gesamte beginnende und endende Verkehr eines Zugangsbereichs wird in der zugehörigen Vermittlungsstelle verarbeitet. Dies gilt auch für den Internverkehr der Anschlussbereiche, da angenommen wird, dass an den abgesetzten Hauptverteilerstandorten lediglich eine Bündelung des Teilnehmerverkehrs vorgenommen aber keine Vermittlungsfunktion ausgeführt wird.

Schließlich ist anzumerken, dass die Zuordnung von ASB zu Vermittlungsstellen alternativ zur Anwendung der beschriebenen Kriterien exogen vorgegeben werden kann, wodurch im Rahmen von Sensitivitätsanalysen auch die Betrachtung bestehender oder nach anderen Regeln konfigurierter Netze ermöglicht wird.

### 3.2.1.3 Bestimmung der Investition in das Zugangsnetz

Nach der Zuordnung der Accessknoten zu Vermittlungsstellen und der Durchführung der Verkehrsverteilung können die notwendigen Investitionen in das Zugangsnetz ermit-

telt werden. Wir nehmen an, dass die abgesetzten Konzentratoren eines Access-Clusters über einen oder mehrere Glasfaserringe (self-healing rings) an die Vermittlungsstelle angebunden werden. In einem ersten Schritt ist die gesamte Leitungsnachfrage des Zugangsbereichs zu ermitteln. Zu diesem Zweck wird für jeden Knoten der gesamte Verkehr bestimmt. Der ausgehende Verkehr ist anhand der Anschlusszahlen für jeden Accessknoten determiniert; der eingehende Verkehr ist Resultat der errechneten Verkehrsverteilung zwischen Vermittlungsstellen. Der eingehende Verkehr sowie der Internverkehr eines Zugangsbereiches kann auf die Accessknoten proportional zu deren gehendem Verkehr verteilt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass ein Teil des Verkehrs durch Teilnehmer generiert wird, die direkt an der VSt angeschaltet sind. Deren kommender und gehender Verkehr muss bei der Berechnung für den Transportring nicht berücksichtigt werden.

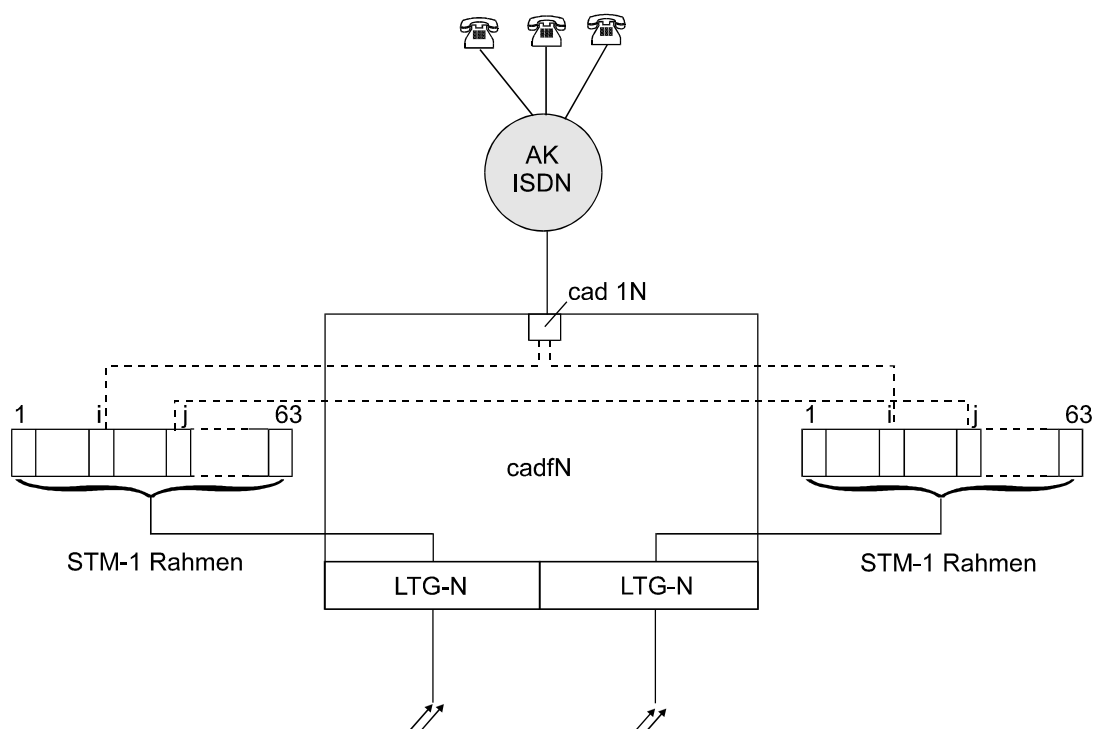
Die Zahl der Leitungen und daraus abgeleitet die Zahl der E1-Gruppen, die zur Anbindung eines Knotens benötigt werden, ergibt sich durch Anwendung der Erlang-Verlustformel unter Berücksichtigung der Leitungsanzahl zwischen Konzentrator und Vermittlungsstelle, die einem einzelnen Teilnehmer jeweils zur Verfügung steht. Angenommen wird, dass in den Konzentratoren jeweils 4 Ausgänge zu je 2 Mbit/s für die angeschlossenen Teilnehmer vorhanden sind. Es ist folglich mittels der Erlang-Formel das maximale Verkehrsangebot für ein Bündel von 120 Kanälen zu ermitteln (bei vorzugebender Verlustwahrscheinlichkeit). Die Leitungsnachfrage ausgedrückt in 2 Mbit/s-Leitungen für den Sprachtelefondienst (einschließlich Fax und Datentransfer) ergibt sich durch Division des gesamten Verkehrsangebotes durch das maximale Angebot je Bündel multipliziert mit 120. Um die Integration verschiedener logischer Netze auf der Transportebene zu berücksichtigen, wird an dieser Stelle die Anzahl der E1-Gruppen durch einen vorzugebenden Faktor um die Leitungskapazität für paketvermittelte Dienste und Festverbindungen erhöht. Es ist vorgesehen, diese zusätzliche Kapazität in Form eines zwischen Zugangs- und Backboneebene differenzierten Zuschlages zu berücksichtigen. Wir gehen davon aus, dass die am Verfahren beteiligten Netzbetreiber im Rahmen des Kommentierungsverfahrens bei der Festlegung dieser Parameter Input leisten können. Ein solcher Zuschlag spiegelt allerdings keinen ursächlichen Zusammenhang zwischen der Nachfrage nach Sprachtelefondienst und der Nachfrage nach anderen Angeboten des Netzbetreibers wider. Es soll lediglich gewährleistet werden, dass die insgesamt für andere Dienstangebote bereitgehaltene Kapazität in angemessener Weise berücksichtigt wird.

Bei diesem Vorgehen wird nicht berücksichtigt, dass das Verhältnis der Kapazitätsansprüche der verschiedenen Dienste nicht auf allen Übertragungsstrecken gleich sein muss. Eine detaillierte Berücksichtigung weiterer Dienstangebote, insbes. der Festverbindungen, ist prinzipiell möglich, da im Modell mit einer Leitungsmatrix gearbeitet wird, die alle Knotenpaare berücksichtigt und die folglich im Detail bearbeitet werden kann. Hierzu wird es allerdings detaillierter Netzbetreiberangaben bedürfen.

Wir nehmen an, dass zwischen Schmalband-ISDN und Breitband-Netzen sowie Festverbindungen eine gemeinsame Nutzung von Multiplexern, Cross-Connectoren und Leitungsendgeräten vorliegt, sofern deren Leitungsnachfrage sich in Form von E1 (2Mbit/s), E3 (34Mbit/s) und STM-1 (155Mbit/s) ausdrückt (vgl. Abbildung 1).

Das Grundtransportsystem in der SDH-Multiplexhierarchie ist das Synchrone Transport Modul 1 (STM-1), das einer Übertragungskapazität von 155 Mbit/s entspricht. Als generelles Strukturprinzip kann angenommen werden, dass die abgesetzten Netzknoten im Zugangsbereich mit Add-Drop Multiplexern (ADM) an einen Ring angeschlossen werden, der sie mit der Vermittlungsstelle verbindet. Die Aufgabe der ADM besteht im Einfügen bzw. Entnehmen von E1-Gruppen aus dem STM-1 Rahmen. Integriert in ADM ist ebenfalls das Leitungsendgerät zur optischen Signalgabe, die auf den SDH-Ebenen STM 1,4,16 und mittelfristig auch 64 erfolgen kann. Die Funktionen eines ADM und die berücksichtigten Kostenparameter sind in der folgenden Abbildung schematisch dargestellt.

**Abbildung 7:** Funktionen und Kostenparameter der Add-Drop Multiplexer (ADM)



Die Investitionsparameter für ADM und Linientechnik, die bei der Investitionsrechnung für das Zugangsnetz verwendet werden, finden sich in der nachstehenden Tabelle:

**Tabelle 2:** Investitions- u. Strukturparameter für ADM und Linientechnik

Parameter	Beschreibung
cad1N	Investition für Ein-/Ausfügen einer E1 in einen ADM-N (N=1,4,16,64)
cadfN	Fixe Investition für einen ADM-N
cglf	Investition in einen Faserkilometer
ckab	Investition in einen Kabelkilometer
cinf	Investition pro Kilometer Tiefbau
fue_a	Anteil der E1 für leitungsvermittelte Dienste an allen Leitungsgruppen im Schmalband-ISDN, sog. Festverbindungsfaktor (Zugangsnetz) ( $\leq 1$ )
fui_a	Anteil an den Infrastrukturinvestitionen, der schmalbandigen Diensten im Zugangsnetz zugerechnet werden kann, sog. Beilauffaktor ( $\leq 1$ )

Zu beachten ist, dass aus Sicherheitsgründen die Leitungsnachfrage aus dem logischen Netz, das eine Sternstruktur aufweist, im physikalischen Netz innerhalb einer Ringstruktur in beiden Richtungen des Ringes geführt wird. Damit wird sichergestellt, dass bei Unterbrechung des Ringes die Leitungskapazität durch einen entsprechenden Mechanismus in den ADM aufrechterhalten werden kann (Konzept der selbstheilenden Ringe). Damit ergibt sich als Anforderung an die Kapazitäten des Ringes, dass die Summe aller Leitungsnachfragen über die Accessknoten des Ringes befriedigt werden kann. Die Anzahl der Ringe und das benötigte System STM-N wird entsprechend der folgenden Tabelle festgelegt:

**Tabelle 3:** Bestückung und Anzahl der Ringe in einem Access-Cluster

Zahl der E1-Gruppen	Anzahl Ringe	Anzahl der STM –1 pro Ring	STM-Level
1 – 63	1	1	1
64 – 252	1	2 – 4	4
253 – 504	2	3 – 4	4
505 – 1008	1	9 – 16	16
1009 – 2016	2	9 – 16	16
2017 – 4032	1	33 – 64	64
4033 – 8064	2	33 – 64	64

Wir nehmen derzeit an, dass in den Fällen, in denen ein Access-Cluster mehr als einen Ring benötigt, alle Ringe mit demselben STM-N System aufgebaut werden. Dies lässt

die mögliche Mischung von Ringtypen innerhalb eines Clusters, durch die eine höhere Systemauslastung erreicht werden könnte, außer Acht. Der Grund für diese Vereinfachung liegt darin, dass ansonsten eine Aufteilung der Zugangsknoten auf die Ringe unter Berücksichtigung ihrer jeweiligen Kapazitätsrestriktionen vorgenommen werden müsste. In jedem Fall liegt die Auslastung der Systeme auch im ungünstigsten Fall über 50 v.H. und im Durchschnitt bei ca. 75 v.H. Ein darüber hinausgehender Reservefaktor kommt nicht zur Anwendung.

Bei den Investitionen in die linientechnische Anbindung der abgesetzten Standorte gehen wir davon aus, dass eine Unterteilung in Infrastrukturinvestitionen (Gräben, Rohre etc.), Kabel- und Leiterinvestitionen vorgenommen werden muss. Während die Investitionen in die einzelnen Glasfasern (je zwei pro Access Ring) in vollem Umfang den E1-Gruppen für schmalbandige Dienste (inkl. Festverbindungen) zugerechnet werden können, wird bei den Investitionen in Kabel und Infrastruktur eine Kostenaufteilung zwischen schmalbandigen und breitbandigen Diensten durchgeführt, da wir davon ausgehen, dass Breitbanddienste über eigene Multiplexer, Leitungsendgeräte und Fasern aber in gemeinsamen Kabeln und Gräben übertragen werden.

Die Gesamtinvestitionen der Übertragungs- und linientechnischen Systeme sowohl für schmal- wie für breitbandige Dienste im Zugangsnetz werden mit Hilfe sog. Festverbindungs- und Beilauffaktoren bestimmt. Unter der plausiblen Annahme einer 100%-igen gemeinsamen Verlegung, kann dann der Anteil der Systemlänge bestimmt werden, auf dem Fasern für schmal- und breitbandige Dienste gemeinsam in einem Kabel verlegt werden. Für den Anteil der gemeinsamen Kabellinien schlagen wir eine gleichmäßige Aufteilung der Kabel- und Infrastrukturinvestition vor.

Bezüglich der Infrastruktur kann im Bereich des Zugangsnetzes weiterhin davon ausgegangen werden, dass, wo immer es möglich ist, eine gemeinsame Verlegung mit Anschlusskabeln (oder anderen Infrastrukturträgern) durchgeführt wird, so dass hier eine Kostenallokation zwischen Teilnehmeranschlussnetz und Zugangsnetz vorzunehmen ist. Innerhalb von Siedlungsgebieten kann von einer 100-prozentigen Mitverlegung ausgegangen werden. Lediglich in Lücken zwischen Siedlungsgebieten muß eine eigene Infrastruktur für das Zugangsnetz errichtet werden. Deren Anteil dürfte zwischen städtischen und ländlichen Gebieten erheblich schwanken. Wir schlagen vor, mit Hilfe von Flächennutzungsdaten das Verhältnis der Siedlungsfläche zur Gesamtfläche Österreichs zu ermitteln. Gemäß diesem Verhältnis wäre das Verhältnis von Mitverlegung zu Alleinverlegung zu bestimmen, welches dann im Faktor  $f_{ui\_a}$  Berücksichtigung findet. Dadurch kann im Modell, die dem Zugangsnetz zugerechnete Investition pro Infrastrukturkilometer abgesenkt werden. Dabei sollte berücksichtigt werden, dass die allen Diensten (bzw. Netzen) zugerechneten Investitionen zusammen den Investitionen in die gemeinsam genutzten Abschnitte entsprechen müssen. Der dem Zugangsnetz zugerechnete Investitionsanteil wäre dann auf die physikalisch separierbaren Netze für schmalbandige und breitbandige Angebote zu verteilen.

#### 3.2.1.4 Logische und physikalische Struktur eines Anschlussbereichs

Das bisher verwendete Approximationsverfahren für die Länge der SDH-Ringe im Anschlussnetz, führte im Einzelfall zu Über- oder Unterschätzungen der tatsächlichen Ringlänge. Deshalb wird im überarbeiteten Modell bei der Ermittlung der Ringlänge nicht die Sterntopologie, sondern ein „Traveling Salesman“ Algorithmus herangezogen. Wenngleich die logische Zuordnung der Konzentratoren zu den Vermittlungsstellen auch weiterhin auf einer Sternstruktur basiert, wird die zugrunde liegende physikalische Topologie mittels eines „Traveling Salesman“ Algorithmus gelöst. Mit anderen Worten, die zugeordneten Konzentratoren werden untereinander und mit der Vermittlungsstelle so verbunden, dass die resultierende Ringlänge bzw. die Infrastrukturinvestitionen minimiert werden.

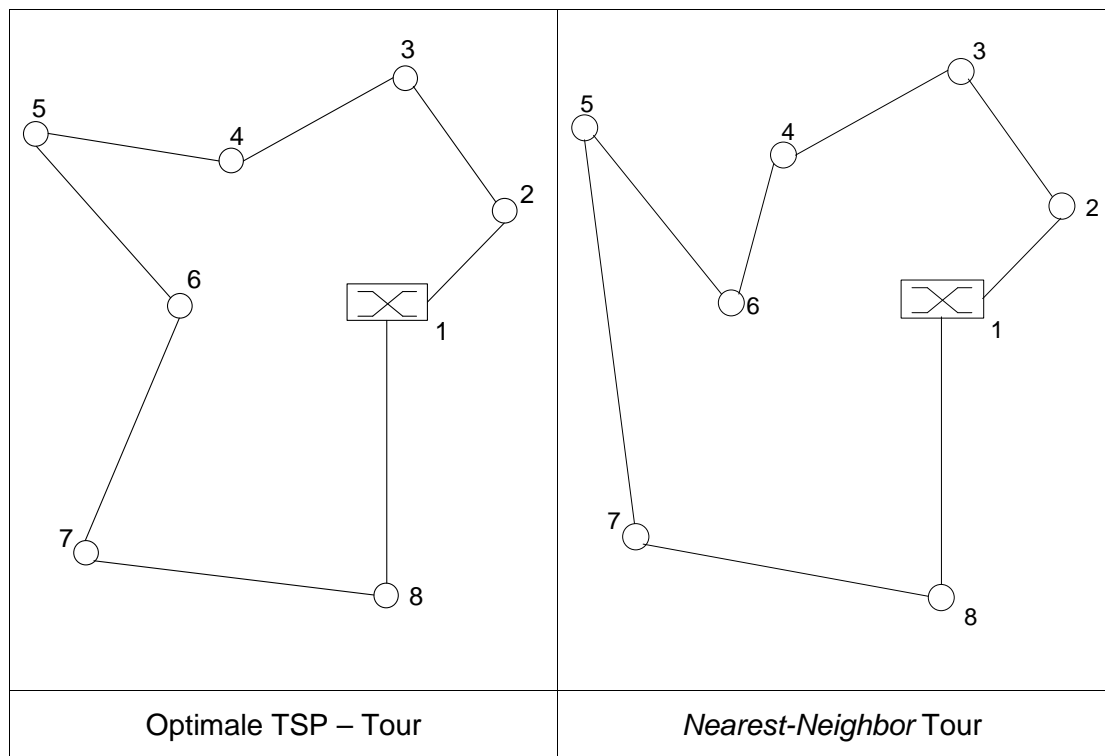
Der für die Berechnung der Ringlänge im Zugangsnetz verwendete Algorithmus ist der Nearest-Neighbor Algorithmus (siehe Abbildung 8). Dieses heuristische Verfahren bestimmt den Ring, indem ausgehend von Knoten 1 immer der dem bereits abgelaufenen Knoten am nächsten liegende Knoten angebunden wird. Somit ergibt sich im gewählten Beispiel ein Ring, der die Knoten 2,3,4,6,5,7,8 anbindet und abschließend den Knoten anschließt. Im Gegensatz dazu besteht der optimale Ring aus einer Anbindungsfolge, wo die Knoten 2,3,4,5,6,7,8 und 1 besucht werden. Der von uns verwendete Algorithmus überschätzt die Ringlänge, die der tatsächlichen kürzesten Luftlinienentfernung entspricht, um ca. 25 %.<sup>2</sup>

Den „Nearest-Neighbor“ Algorithmus halten wir dennoch für angemessen. Neben dem deutlich geringeren Zeitaufwand bei Modellrechnungen kommt hinzu, dass eine Anpassung der Trassenführung an topographische und städtebauliche Gegebenheiten durch Ansatz von Umwegfaktoren nicht vorgenommen werden muss.

---

<sup>2</sup> Für eine empirischen Betrachtung siehe auch : *The traveling salesman problem : A case study in local optimization*, David S. Johnson, Lyle A. McGeoch, 1995

**Abbildung 8:** Vergleich Optimale Lösung mit Nearest-Neighbor Heuristik



### 3.2.2 Backbonenetz

Die lokalen Vermittlungsstellen sind untereinander zum nationalen Fernnetz (oder Backbonenetz) verbunden. Erste wesentliche Aufgabe der Kostenmodellierung ist es hier, ausgehend von der Verkehrsmatrix die Führung der Verkehre im logischen Netz, d.h. auf Ebene der Vermittlungseinrichtungen und der sie verbindenden 64 kbit/s Leitungen bzw. Leitungsgruppen E1 zu ermitteln. Bei der Ermittlung der Verkehrsführung im Netz gehen wir davon aus, dass das Backbonenetz in zwei Hierarchieebenen zu unterteilen ist. Die untere Ebene wird gebildet durch die Vermittlungsstellen mit Teilnehmerfunktion, in denen einerseits der Verkehr der Zugangsbereiche intern vermittelt und andererseits der Verkehr zu anderen Zugangsbereichen direkt oder über Transitvermittlungsstellen (TransVSt) abgegeben wird (bzw. ankommender Verkehr aufgenommen und terminiert wird).

Die obere Netzebene wird gebildet von Transitvermittlungsstellen (HVSt in der TA-Terminologie), in denen Kanäle zwischen Verbindungsleitungen geschaltet werden. An den Transitvermittlungsstellen sind folglich keine Teilnehmer direkt oder indirekt angeschlossen, d.h. sie führen Verkehr, der die Einzugsbereichsgrenzen der hierarchisch

darunter liegenden Vermittlungsstellen mit Teilnehmerfunktion verlässt. Ebenso wickeln sie Interconnection- und reinen Transitverkehr ab. Die Transitvermittlungsstellen befinden sich am Standort der Vermittlungsstellen mit Teilnehmerfunktion (NVSt).

Die Vorstellung eines zweistufigen Backbonenetzes deckt sich mit den Vorgaben etwa der EU-Kommission über die Ausgestaltung der Tarifstruktur für Interconnection. Dort ist als teuerste Leistung die Double-Transit Zusammenschaltung fixiert, bei deren Inanspruchnahme jeder Teilnehmer des nationalen Netzes erreicht werden kann. Bei einer elementorientierten Kostenermittlung enthält dieser Tarif die Kosten der Durchschaltung in zwei Transitvermittlungsstellen und einer lokalen Vermittlungsstelle (vgl. auch die Modellierung von OFTEL für das Netzwerk von British Telecom).

### 3.2.2.1 Klassifikation der Netzknoten

Die Auswahl der Vermittlungsstellen, die Funktionen der oberen Hierarchieebene (Transitfunktion) ausführen, erfolgt wiederum - falls keine Einteilung vorgegeben wird – nach dem Kriterium der höchsten Verkehrslast der Knoten der unteren Backboneebene (vor Zurechnung des Transitverkehrs). Berücksichtigt wird dabei auch der Verkehr der abgesetzten Zugangsknoten, die mit den Knoten der unteren Backboneebene verbunden sind. Durch dieses relativ einfache Kriterium wird erreicht, dass Transitvermittlungsstellen überwiegend in den Bevölkerungszentren lokalisiert werden, was der Netzbetreiberpraxis weitgehend entspricht. Die Anzahl der Transitvermittlungsstellen wird vor jeder Szenariorechnung im Modellrahmen exogen vorgegeben. Dabei orientieren wir uns zunächst an den Angaben der TA zu den in ihrem Netz vorhandenen Relationen zwischen Teilnehmer- und Transitvermittlungsstellen.

Zu beachten ist allerdings, dass die notwendige Zahl der Transitvermittlungsstellen von einer Reihe von Einflussgrößen abhängt:

1. von der Obergrenze für die Vermittlungskapazität der Transitebene. Hier gehen wir von bis zu 4000 2 Mbit/s-Ports pro VSt aus, das sind 120.000 gleichzeitig geschaltete Kanäle.
2. vom Vermaschungsgrad des Netzes. Je mehr Direktwege das Netz enthält, um so weniger Verkehr läuft über die Transitebene und um so weniger Vermittlungskapazität ist hier notwendig.
3. von dem in den Netzknoten der Ebene 2 verbleibenden Internverkehr. D.h. je mehr Internverkehr in diesen Knoten verbleibt desto weniger Verkehr wird über Transitvermittlungsstellen geführt.
4. von den Orten bzw. vermittelnden Ebenen, an bzw. auf denen Zusammenschaltung ermöglicht wird. Erfolgt die Netzübergabe nur auf Ebene 2, fließt in der Summe weniger Verkehr auf die Ebene 3 über.

Im Rahmen konkreter Kostenuntersuchungen ist es daher sinnvoll, nach Durchführung des Routing für eine bestimmte Netzkonfiguration einen Schritt zurück zu gehen und die Verkehrsmengen in den Knoten der Transitebene zu überprüfen. Ggf. kann die Zahl der TransVSt erhöht oder gesenkt werden, um eine angemessene durchschnittliche Verkehrslast auf den Transitknoten zu realisieren.

### 3.2.2.2 Zuordnungen der Knoten unterer Ebene zu Knoten oberer Ebene

Bei der Zuordnung der Knoten der unteren Backboneebene zu denen der oberen Backboneebene wird abermals das einfache Entfernungskriterium herangezogen. Da direkte Verbindungen auch zu nicht direkt zugeordneten Transitknoten zugelassen sind (siehe Abschnitt 3.2.2.3), kann bei Vorgabe entsprechender Parameter vermieden werden, dass der gesamte Fernverkehr, also auch zu Knoten, zu denen eine starke direkte Verkehrsbeziehung besteht, ausschließlich über den hierarchisch direkt zugeordneten Transitknoten abgewickelt wird.

### 3.2.2.3 Verkehrsführung im logischen Netz

Unter Berücksichtigung der somit vorgegebenen Grundstruktur ist im nächsten Schritt die Verkehrsführung festzulegen. Hierbei geht es um die Zuweisung von Wegen und von auf diesen Wegen passierten Vermittlungsstellen für die Verbindungen zwischen jeweils zwei Netzknoten der Backboneebene. Jede Vermittlungsstelle mit Teilnehmerfunktion ist einer Vermittlungsstelle der Transitebene unmittelbar zugeordnet. Im Modell können aber sowohl Verbindungen zwischen lokalen Vermittlungsstellen (auch wenn diese an unterschiedliche Transitvermittlungsstellen angebunden sind) als auch zwischen einer lokalen Vermittlungsstelle und einer Vermittlungsstelle der oberen Ebene, die dieser nicht direkt zugeordnet ist<sup>3</sup>, berücksichtigt werden. Die Einrichtung von Direktwegen erfolgt, sobald der Verkehr zwischen zwei Knoten einen definierten Schwellenwert überschreitet, ab dem die Auslastung von einer oder auch von mehreren E1-Gruppen möglich ist.

Mit Hilfe der Schwellenwerte kann die Hierarchisierung der Netztopologie gesteuert werden. Für die Verbindung zweier Vermittlungsstellen der Teilnehmerebene können differenzierte Schwellenwerte in Abhängigkeit davon gesetzt werden, ob beide im Einzugsbereich derselben Transitvermittlungsstelle liegen oder nicht. In vergleichbarer Weise kann ein Schwellenwert für Verbindungen zu nicht zugeordneten Transitvermittlungsstellen vorgegeben werden. Durch Vorgabe entsprechender Parameter kann somit beeinflusst werden, ob Verkehr zwischen zwei Einzugsbereichen über direkte Wege

---

<sup>3</sup> Wir bezeichnen diese als nicht-zugeordnete TransVSt.

abgewickelt werden darf oder ob zwischen regionalen Netzen eine streng hierarchische Verkehrsführung vorgenommen wird.

Die Ermittlung der Verkehrsführung im logischen Netz ist eine der Kernfunktionen des hier dargestellten Kostenmodells. Sie wird ausgeführt in einer Reihe von aufeinander folgenden Schritten, die in der Softwareumsetzung jeweils verschiedenen Modulen entsprechen.

Im Rahmen der Berechnung wird zunächst die Leitungsmatrix für ein voll vermaschtes Backbonenetz ermittelt (Programmmodul FTRAROUT). Nach Unterteilung in eine untere und obere Ebene und Durchführung der Zuordnung der Knoten unterer zu denen oberer Ebene (vgl. 3.2.2.2), werden alle diejenigen Verbindungen eliminiert, auf denen der Verkehr einen vorgegebenen Schwellenwert unterschreitet, wobei zunächst die Direktwege auf der lokalen Ebene (Modul STRAROUT) analysiert werden. Wird kein Direktweg eingerichtet, so wird der korrespondierende Verkehr der Beziehung des Quellknotens zu dem Transitknoten des Zieleinzugsbereiches sowie der Beziehung zwischen diesem Transitknoten und Zielknoten (Alternativweg) zugeschlagen. Bei der Ermittlung der auf einem Direktweg zu schaltenden E1-Gruppen wird Überlaufrouting dadurch berücksichtigt, dass auf einer Verbindung eine weitere E1-Gruppe erst dann eingerichtet wird, wenn das Verkehrsangebot, das über die vorhandenen Gruppen nicht mit der angestrebten Verlustwahrscheinlichkeit abgewickelt werden kann, einen vorzugebenden Wert überschreitet. Direktwege werden so dimensioniert, dass in der Lastspitze ein bestimmter (relativ hoher) Anteil des Verkehrsangebotes abgewiesen wird und auf eine alternative Verbindung überläuft. Dies ermöglicht es, für die Direktwege auch bei geringen Leitungszahlen eine hohe Auslastung zu erreichen. Bei der Festlegung des Verkehrsschwellenwertes ist zu berücksichtigen, dass ein hoher Schwellenwert dazu führt, dass c.p. weniger Direktwege eingerichtet werden. Der Verkehr wird stärker hierarchisch geführt somit steigt das Verkehrsaufkommen auf der Transitebene und die durchschnittliche Verbindung durchläuft mehrere Vermittlungsstellen.

Die Hierarchisierung der Verkehrsführung kann im Hinblick auf Kostenreduzierung dennoch sinnvoll sein, wenn dadurch eine bessere Auslastung der E1-Gruppen in der logischen Netzebene und der STM-1 Gruppen und STM-N Systemen in der physikalischen Ebene erreicht werden kann. An dieser Stelle zeigt sich erneut der enge Zusammenhang zwischen der logischen und der physikalischen Ebene, und die damit verbundene Auswirkung auf das optimale Design und die Dimensionierung des Netzes.

Im nächsten Schritt werden in gleicher Weise die Verbindungen zu nicht-zugeordneten Transitknoten analysiert. (Modul TTRAROUT).

Der vom Alternativweg überlaufende Verkehr bzw. Verkehr, für den keine direkten Wege berücksichtigt worden sind, wird anschließend über den Letztweg abgewickelt, der der hierarchischen Struktur des Netzes folgt. Auf diesem Weg wird die maximale Zahl von Vermittlungseinrichtungen passiert. Die Knoten der oberen Backboneebene sind in

einem Zwei-Ebenen Netz annahmegemäß vollständig miteinander vermascht, da jede Verbindung die Funktion eines Letztweges wahrnimmt.

Die Leitungen auf dem Letztweg werden mit dem für den Dienst angestrebten Verkehrsverlust, in der Regel 1 Prozent, dimensioniert (Modul STRAROUT).

Bei der Leitungsberechnung für Alternativwege und Letztwege berücksichtigen wir, dass der überlaufende Verkehr keine Poisson-Verteilung mehr aufweist und daher die Erlang-Formel nicht mehr unmittelbar angewendet werden kann. Statt dessen wird eine von Hayward vorgeschlagene Kalkulationsmethode verwendet, um das maximale Verkehrsangebot an eine Leitung zu bestimmen, die Overflow-Verkehr abwickelt.<sup>4</sup> Zentrale Annahme der Approximation ist die Hypothese, dass der zusammengesetzte Verkehr (direkt + overflow) sich genauso verhält, wie ein entsprechender, um eine Sicherheitsmarge erhöhter, äquivalenter Verkehr  $t_{ij}^e$  ohne overflow-Eigenschaften.

Die Dimensionierung der Leitungen für den äquivalenten Verkehr erfolgt dann mittels der Erlang-Verlustformel.

#### 3.2.2.4 Aspekte der Netzsicherheit

Bei der im obigen Abschnitt beschriebenen Verkehrslenkung ist jeder Backboneknoten der Ebene 2 genau einem Ebene-3-Knoten zugeordnet. Das bedeutet für die Verbindungen zwischen diesen Knoten, dass der Erstweg gleich dem Letztweg ist und folglich ein Überlaufen von Verkehr nicht mehr stattfinden kann und zugleich ein erhöhtes Ausfallrisiko besteht. Die Verkehrsverwaltung steht dann vor dem Problem, dass die Verkehrsgüte in bestimmten Situationen sinkt. Um dieses Problem zu entschärfen, nimmt z.B. die TA eine Doppelung der vermittlungstechnischen Einrichtungen am Standort eines Transitknotens vor. Für die Verkehrsführung zwischen der VSt der unteren Backboneebene und der zugeordneten VSt der oberen Backboneebene stehen damit zwei alternative logische Kanten zur Verfügung, d.h. dass nun die gedoppelte Vermittlungstechnik die entsprechende Verkehrsnachfrage bewältigt.

Eine weitere Maßnahme, die die Netzsicherheit erhöht und bereits im Abschnitt 2.2 beschrieben wurde, ist die Separierung der oberen Backboneknoten in völlig selbstständige Vermittlungseinrichtungen der Ebenen 2 und 3. Die Einführung einer reinen Transit-ebene hat den Vorteil, dass jeder Vermittlungsstelle mit angeschlossenen Teilnehmern unabhängig davon, ob sie mit der Transitvermittlungsstelle kolloziert ist, drei Wege zur Verkehrslenkung offen stehen. Und zwar besteht die Möglichkeit, eine direkte Kante zum Zielknoten bzw. zur anderen Ebene-2-VSt, den Alternativweg über eine nicht-zugeordnete TransVst, oder den Letztweg über die zugeordnete Transitvermittlungsstelle zu nutzen. Auch in diesem Fall wird das Ausfallrisiko minimiert

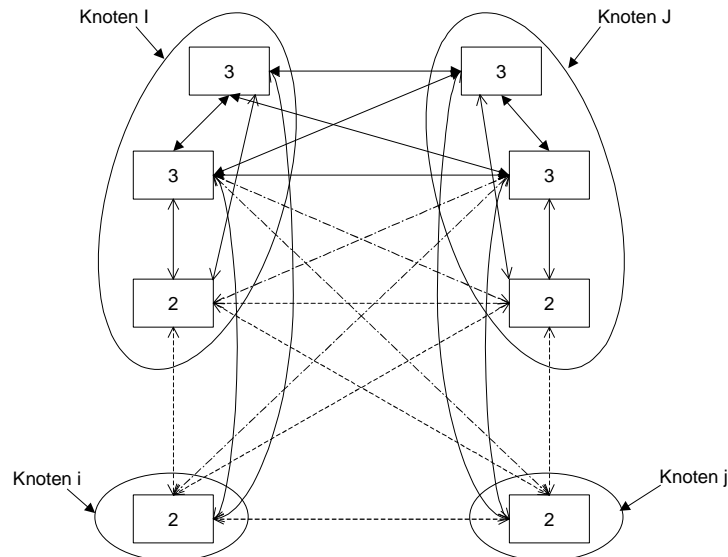
<sup>4</sup> Vgl. Songhurst Teletraffic Engineering in Flood ed., Telecommunication Networks IEE Telecommunications Series 36, London 1997

stelle zu nutzen. Auch in diesem Fall wird das Ausfallrisiko minimiert und ebenso können bei entsprechender Dimensionierung einer Reservekapazität auf den alternativen Kanten irreguläre Überlastungen mit Hilfe der Netzverwaltung ausgeglichen werden.

Schließlich kann der Netzbetreiber auch beide Maßnahmen kombiniert anwenden, um die Netzsicherheit zu erhöhen. Die in einem solchen Netz auftretenden Verkehrsströme sind in der Abbildung 9 exemplarisch dargestellt.

Bei einer konkreten Kostenanalyse ist sicherlich zu beachten, dass eine Netzstruktur mit gedoppelten Transitvermittlungsstellen und zusätzlicher Separierung nicht unbedingt mit dem Effizienzkriterium vereinbar ist. Vielmehr ist bei einer solchen Analyse abzuwägen, ob bei der Dimensionierung der logischen alternativen Kanten (Kante zwischen Ebene-2-VSt und nicht-zugeordneter TransVSt) in einem Netz mit separierter Backboneebene die Berücksichtigung von Reservekanälen je E1 Gruppe nicht ausreicht, um die vorgegebene Verkehrsgüte (GoS) einhalten zu können. Im Grunde muss sich der Netzplaner entweder für den zusätzlichen Aufbau von Vermittlungstechnik oder eine Erhöhung der Übertragungskapazität auf den Alternativwegen entscheiden.

**Abbildung 9:** Doppelung und Separierung im Backbonenetz



### 3.2.2.5 Ergebnisse der Modellrechnungen zur Verkehrsführung

Resultat der Berechnungen ist ein vollständiges Bild der Führung des ISDN/PSTN-Verkehrs im nationalen Verbindungsnetz. Zu jedem Knoten ermittelt das Modell den

beginnenden und endenden Verkehr sowie für die Knoten der oberen Backboneebene den Transitverkehr. Diese Daten, die in Tabellenform vorliegen, bilden die wesentlichen Inputgrößen für die Ermittlung der verkehrsabhängigen Investitionen im Bereich der Vermittlungsstellen. Es lässt sich für jeden Knoten unmittelbar die Zahl der benötigten Anschlussgruppen zum Verbindungsnetz ermitteln, die als Input zur Bestimmung der Investition in die Vermittlungsstellen der unteren und oberen Netzebene eingeht. Ebenfalls bekannt ist an diesem Punkt die Zahl der direkt oder indirekt angeschlossenen Teilnehmer, aus der die Investitionen in die teilnehmerseitigen Anschlussgruppen, die Konzentratoren sowie die Teilnehmerbaugruppen („line cards“) hergeleitet werden können. Die Verkehrsmengen schließlich erlauben den Rückschluss auf die benötigte Prozessorleistung. Das Vorgehen bei der Bestimmung der Investition in Vermittlungstechnik wird in Abschnitt 3.2.3 dargestellt.

Für jedes unmittelbar verbundene Knotenpaar ermittelt das Modell den angebotenen und abgewickelten Verkehr auf der Verbindung, die Zahl der Leitungen und E1-Gruppen sowie die Länge der Verbindung (im Sinne der direkten Entfernung - Luftlinie - zwischen den Knoten). Mit Hilfe dieser Daten lassen sich Kennziffern für das logische Netz insgesamt und dessen einzelne Ebenen ermitteln. Zentrale Größen, die für die folgende Investitionsrechnung notwendig sind, sind die Zahl der Leitungsgruppen im Netz (summiert über alle Verbindungen) und das Produkt aus Anzahl der Leitungsgruppen und deren Länge, ebenfalls als Summe aller individuellen Verbindungen. Weitere Parameter, die ermittelt werden können, sind die Auslastungen der E1-Gruppen sowie der (durchschnittliche) Anteil des überlaufenden Verkehrs am gesamten Verkehrsangebot für verschiedene Verbindungstypen.

### 3.2.2.6 Beziehung zwischen logischer und physikalischer Netzebene

Die bisherigen Ausführungen beschreiben die im Modell angenommene bzw. errechnete Struktur der logischen Netzebene. Die logische Ebene lässt sich, wie gezeigt, beschreiben durch Netzknoten, die 64kbit/s Leitungen vermitteln und die durch 2 Mbit/s (E1) Gruppen miteinander verbunden sind. Die Leitungsgruppen werden in der physikalischen Netzebene bzw. im Transportnetz zu STM-1 Gruppen zusammengefasst und werden dann in höherbitratige Übertragungssysteme STM-N transportiert.

Der Ausbau des Transportnetzes erfolgt daher in Telekommunikationsnetzen seit einigen Jahren ausschließlich mit der neueren SDH-Technik (**S**ynchrone **D**igitale **H**ierarchie). Im Unterschied zur PDH-Technik kann im SDH jede synchrone Bitrate, also 2, 8, 34 und 155 Mbit/s aus dem Signal einer höherliegenden Hierarchie entnommen werden, ohne dass ein De-Multiplexen erforderlich wäre. Erreicht wird dies durch die netzweite Synchronisierung des STM-1 Rahmens, auf den sodann bis auf einzelne Leitungen oder Gruppen zugegriffen werden kann. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Gruppen E1 (2 Mbit/s), E3 (34 Mbit/s) und E4 (155 Mbit/s) als Leitungsnachfrage aus den verschiedenen logischen Netzsichten kommen und die Gruppe E4 auch als Zu-

sammenschaltung zwischen SDH und noch vorhandenen PDH Inseln benutzt werden kann. Die Ein- und Ausfügung von E2 (8 Mbit/s) ist nach ETSI-Norm nicht mehr vorgesehen.

Beim Einsatz von SDH besteht der erste Schritt in der Aggregation von je 63 E1 zu einem Synchronen Transport Modul 1 (STM-1) durch entsprechendes Multiplexing<sup>5</sup>. Diese Funktion ist ausschließlich auf der elektrischen Ebene angesiedelt. Anschließend kann das Signal elektrisch-optisch gewandelt und über eine Glasfaserinfrastruktur übertragen werden. Die optische Signalübertragung auf der Hierarchieebene STM-1 erfolgt mit 155 Mbit/s.

Mehrere STM-1 können auf das Niveau STM-4 (entsprechend 622 Mbit/s) oder STM-16 (entsprechend 2550 Mbit/s) gemultiplext werden, wobei die elektrisch-optische Wandlung auf dem jeweils höheren Niveau erfolgt. Die hohen Übertragungsgeschwindigkeiten, die über Glasfasern realisiert werden können, eröffnen erhebliche Potentiale zur Realisierung von Kostendegressionseffekten durch Bündelung von E1-Gruppen in STM-N Übertragungssystemen. Diese Bündelung führt zu einem abnehmenden Vermaschungsgrad des Netzes von der logischen Ebene über die STM-1 Ebene bis hin zur STM-4- und STM-16-Ebene. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 10 verdeutlicht.

Im Modell wird die Multiplexfunktion in allen Systemen STM-N (N=1,4,16) auf der elektrischen Ebene vorgenommen und auch eine Ausweitung auf STM-64 als mögliche Option berücksichtigt. In zukünftigen Höchstkanalsystemen (10 Gbit/s) ist zu erwarten, dass zwischen dem zu übertragenden optischen Signal und den elektrischen Signalen eine Zwischenebene auf der Basis des optischen Multiplexens einzuführen ist (Wave Length Division Multiplex – WDM und DWDM). Allerdings ist der wirtschaftliche Einsatz von WDM bzw. DWDM Übertragungssystemen in nationalen Netzen erst zu erwarten, wenn ein steigender Verkehr aus zukünftigen Breitbanddiensten zu befriedigen ist.

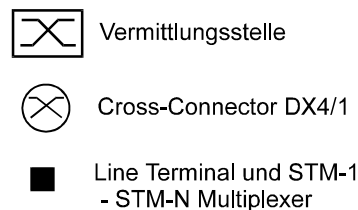
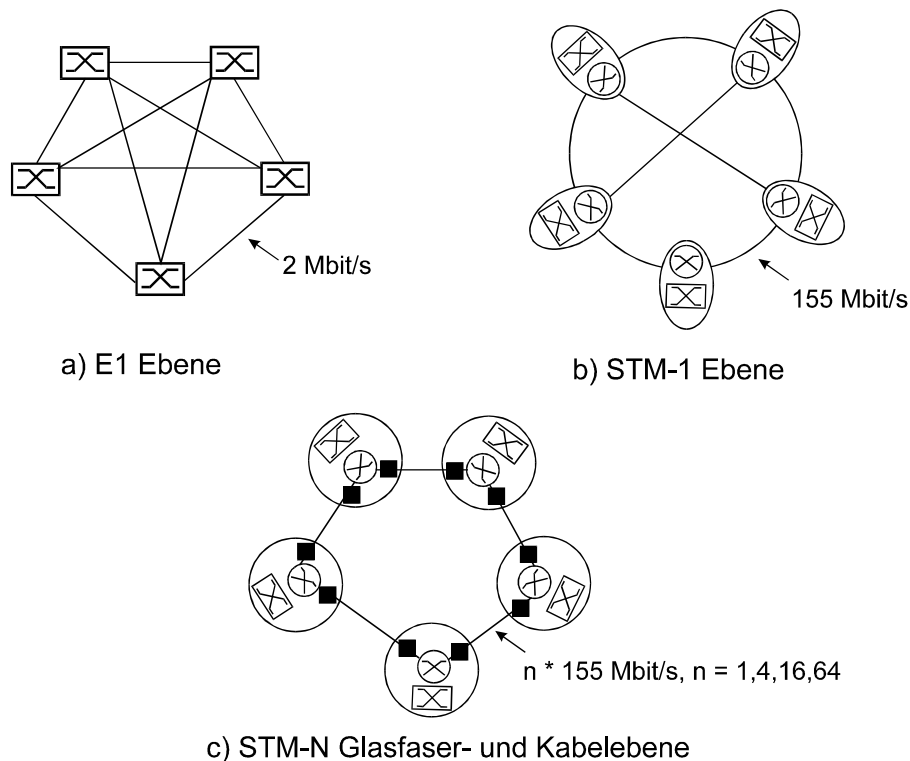
Die Knoten des Transportnetzes werden von digitalen Cross-Connectoren gebildet. Sie werden genutzt, um entweder E1 zu Vermittlungseinrichtungen abzuzweigen oder diese zwischen ein- und ausgehenden STM-1 Rahmen durchzuschalten. Die Struktur eines Cross-Connectors entspricht daher in etwa der einer Vermittlungsstelle. Die Durchschaltung erfolgt allerdings nicht fallweise für einzelne Verbindungen aufgrund der Auswertung von Signalisierungsinformationen, sondern dauerhaft gemäß den Vorgaben des Netzmanagements<sup>6</sup>. Hierdurch kann ein hoher Flexibilitätsgrad bei der Führung des Verkehrs im Transportnetz erreicht und Reservekapazitäten, im Falle von Überlast bzw. bei Systemausfällen, kurzfristig zugeschaltet werden.

---

<sup>5</sup> Es ist auch möglich, verschiedene Eingangssignale in synchronen Multiplexern zu mischen (wie etwa 1,5 Mbit/s oder 34 Mbit/s) und elektrisch-optisch zu STM-N zu wandeln.

<sup>6</sup> „Dauerhaft“ bedeutet hier, dass eine eingerichtete Schaltung bis zum Eintreffen geänderter Steuerungsinformationen bestehen bleibt.

**Abbildung 10:** Physikalisches Schichtenmodell der Übertragung



Es ist leicht nachvollziehbar, dass der Aufbau von Übertragungsstrecken für eine geringe Zahl von E1-Gruppen pro Verbindung, wie sie charakteristisch für viele Direktwege zwischen Vermittlungsstellen mit Teilnehmerfunktion sind, aus ökonomischen Gründen nicht in Frage kommt, da economies of scale und scope in der Übertragungs- und Linientechnik ungenutzt bleiben würden. Das wesentliche Optimierungsproblem der Netzplanung ist es, den trade-off zwischen Effizienzgewinnen durch Konzentration von Leitungsgruppen auf wenige Übertragungssysteme und Effizienzverlusten durch einen Anstieg der gesamten Leitungslänge (und dem damit verbundenen häufigeren Umgruppieren der E1-Gruppen in digitalen Cross-Connectoren) im Transportnetz auszutariieren. Im Transportnetz wird die Führung einer E1-Verbindung zwischen zwei Vermittlungsstellen über „Umwege“ bis zu einem gewissen Grad hingenommen, um die STM-N

Systeme möglichst hoch auszulasten. Jede E1-Verbindung wird daher durchschnittlich über mehr als einen Abschnitt des Übertragungsnetzes geroutet. Die Kenntnis der Beziehung zwischen der durchschnittlichen Länge einer Kante im logischen Netz und der korrespondierenden Kante im Transportnetz ist für den von uns verfolgten Ansatz der Kostenmodellierung von zentraler Bedeutung. Dabei sind Aspekte der Netzsicherheit im Transportnetz durch paritätische Mehrwegeführung und deren Einfluss auf die korrespondierenden Kanten im Transportnetz zu berücksichtigen.

### 3.2.2.7 Transportnetz

Um größtmögliche Präzision bei der Netzmodellierung zu erreichen, ist in die Modellversion 2.0 ein Programmmodul (TOGOCA) zur expliziten Modellierung des Transportnetzes integriert worden. Die Basis für unsere Investitionsrechnung ist die zuvor erzeugte E1-Leitungsgruppenmatrix, die in Form einer oberen Dreiecksmatrix vorliegt. Diese sind weiterhin um Leitungsnachfragen aus anderen logischen Netzen bzw. um Festverbindungen mittels Zuschlägen zu ergänzen<sup>7</sup>. Die E1-Matrix ist aufgrund der vorgegebenen Verkehrsschwellenwerte bereits weniger stark vermascht als die zugrunde liegende Verkehrsmatrix. Der Konzentrationseffekt der Übertragungseinrichtungen des Transportnetzes führt zu einer weiteren Abnahme des Vermaschungsgrades (siehe auch Abbildung 10). Das Modul hat dabei die folgenden drei fundamentalen Aufgaben zu erfüllen:

- Berechnung der Topologie des physikalischen Netzes
- Verkehrsführung je Geschwindigkeitsklasse im physikalischen Netz
- Zuweisung der Einrichtungen und Übertragungssysteme der SDH Transportnetzarchitektur für jeden einzelnen Netzknoten

Die Berechnung einer physikalischen Netztopologie in Telekommunikationsnetzen bei vorgegebenen Knoten beinhaltet die Entscheidung, zwischen welchen Knotenpaaren eine Netzkante mittels eines zugehörigen Übertragungsmediums eingerichtet wird. Dabei sind Kostengesichtspunkte aber auch Aspekte der Netzzuverlässigkeit (Mehrwegeführung, Auslastungsgrad) explizit zu berücksichtigen. Die Bewertung potentieller Netzkanten wird zunächst mit Hilfe einer einfachen Kostenfunktion vorgenommen, die den Einsatz von Optimierungsalgorithmen ermöglicht.<sup>8</sup>

---

<sup>7</sup> Langfristig können auch diese Nachfragen mit entsprechendem Ressourceneinsatz explizit modelliert werden. Für erste Modellanwendungen halten wir jedoch den Rekurs auf globale Zuschläge für ausreichend.

<sup>8</sup> Die eigentliche Kostenermittlung wird ex-post durch eine detaillierte Bewertung der einzelnen Netzkomponenten vorgenommen.

Anhand der ermittelten Leitungsgruppen für jeden übertragungstechnischen Netzausschnitt wird in einem anschließenden Schritt die genaue Zuweisung von übertragungstechnischen Komponenten (Funktionen der Cross-Connectoren, Regeneratoren, Linientechnik) vorgenommen.

#### 3.2.2.7.1 Ermittlung der Leitungsnachfrage im physikalischen Netz

Nach der Bestimmung der Leitweglenkung und der Ermittlung der Anzahl von E1 Gruppen zur Befriedigung der Leitungsnachfrage pro logischer Kante im Schmalband-ISDN müssen zunächst die Leitungsnachfragen nach Festverbindungen im Schmalband-ISDN sowie nach E3 Gruppen und STM-1 Gruppen im Breitband-ISDN festgelegt werden. Dies ist erforderlich, da durch die Integration von Schmal- und Breitband-Netz auf der Übertragungsschicht Verbund- und Größenvorteile auftreten, die die Stückkosten der Übertragungs- und Linientechnik für leitungsvermittelte E1 Gruppen im Schmalband-ISDN reduzieren.

Um das Transportnetz bzw. die Einrichtungen der Übertragungs- und Linientechnik des SDH-Netzwerks entsprechend dimensionieren zu können, werden Prozentsätze verwendet, die den Anteil der Nachfrage nach Leitungsgruppen niedriger Geschwindigkeitsklassen zur integrierten Nachfrage mit der nächst höheren Geschwindigkeitsklasse angeben. Die resultierenden Faktoren erlauben es, die Leitungsnachfrage des PSTN/ISDN sukzessive zu erhöhen, um die gesamte Nachfrage nach Übertragungsleistungen an ein integriertes Transportnetz zu bestimmen. Dabei wird angenommen, dass die Leitungsnachfrage in folgende Geschwindigkeitsklassen unterteilt werden kann: In die Nachfrage nach

- E1 - Gruppen (2 Mbit/s Übertragungsrate)
- E3 – Leitungsgruppen (34 Mbit/s Übertragungsrate)
- STM-1 Leitungsgruppen (155 Mbit/s Übertragungsrate).

Für die Ermittlung der Gesamtanzahl der E1-Gruppen im Schmalband-ISDN wird zwischen Leitungsnachfrage nach vermittelten E1 Gruppen und Nachfrage nach E1 Gruppen für Festverbindungen unterschieden. Mit Hilfe des Nachfrageanteils der vermittelten E1 an der gesamten E1 Leitungsnachfrage wird zugleich der Festverbindungsanteil bestimmt.

Die Bestimmung des Breitband-Verkehrs durch proportionale Erhöhung der Leitungsnachfrage des Schmalband-ISDN setzt voraus, dass die Relationen in der Verkehrsmatrix des Schmalband-ISDN mit denen des Breitband-ISDN annähernd übereinstimmen.

Die Tabelle 4 beschreibt die Parameter, durch die die Leistungsnachfrage im Transportnetz ausgehend von der Leitungsnachfrage nach vermittelten Diensten im Schmalband-ISDN bestimmt wird. Dabei bildet eine STM-1 Gruppe das Äquivalent für 63 E1 und eine E3 für 16 E1, wie in Tabelle 5 dargestellt.

**Tabelle 4:** Strukturelle Parameter des Transportnetzes in der Backboneebene

Kennziffer	Wertebereich	Bedeutung
fue_LL	$0 < fue\_LL < 1$	Anteil der E1 für leitungsvermittelte Dienste an allen Leitungsgruppen im Schmalband-ISDN.
fue_E3	$0 < fue\_E3 < 1$	Anteil der E1 Gruppen an der integrierten Leitungsnachfrage nach E1 und E3 Gruppen
fue_STM-1	$0 < fue\_STM-1 < 1$	Anteil der E1+E3 Gruppen an der integrierten Leitungsnachfrage nach E1, E3, E4 und STM-1 Gruppen
uf	$1 \leq uf$	Umfangfaktor für geografische Gegebenheiten

### 3.2.2.7.2 Konfiguration der Transportnetztopologie

Nach der Bestimmung der Nachfragebeziehungen zwischen den vermittelnden Knoten steht der Netzplaner nun vor dem Problem, die vorgegebenen Knotenstandorte miteinander so zu verbinden, dass auf der einen Seite die Kosten für den Transport des Verkehrs minimiert werden und auf der anderen Seite die Nachfrage auch unter Berücksichtigung von GoS befriedigt werden kann. Diese beiden Ziele bestimmen gleichzeitig die Abfolge der Netzplanung. D.h. nach der initialen Festlegung der Netzstruktur wird dann geprüft, ob die Vielzahl von Nachfragebeziehungen zwischen den Netzknoten auch tatsächlich realisiert werden kann. Diese interdependente Vorgehensweise kann nur mit Hilfe eines iterativen Verfahrens zu einer optimalen Netzkonfiguration führen.

Im Modell berechnet das Submodul TOOT (Topology Optimisation Tool) ausgehend von der logischen Netzstruktur, die durch das Verkehrsroutingmodul aus Abschnitt 3.2.2.3 bestimmt wurde, ein dem Effizienzkriterium genügendes Transportnetz. Mit Hilfe eines Optimierungsalgorithmus (BICONSOL) werden in diesem Modul die tatsächlich zu realisierenden physikalischen Kanten zwischen den Backboneknoten bestimmt. Der Algorithmus generiert mit einer kombinierten Add-Drop Heuristik eine annähernd optimale Netzwerktopologie unter Berücksichtigung von Zweiwegeführung zwischen allen Netzknoten der Backboneebene.

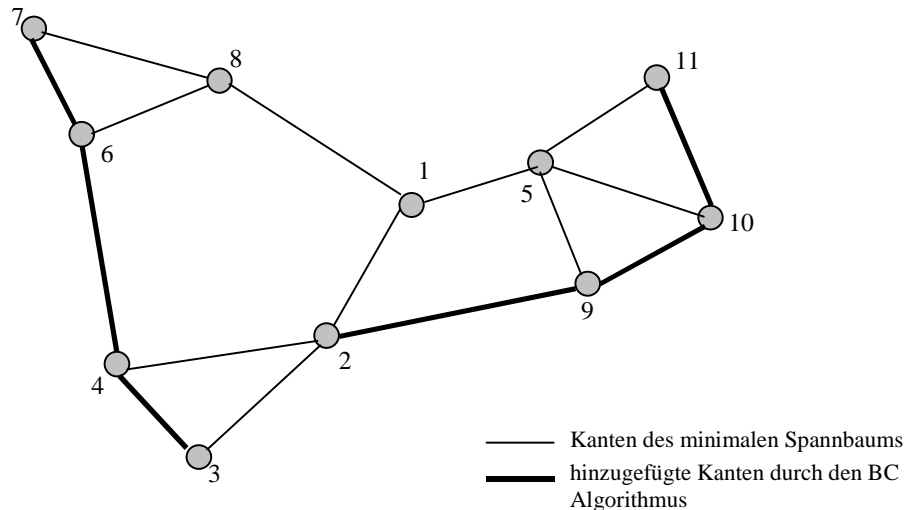
In erster Linie findet dabei eine Orientierung an den Kosten je verlegtem km Kabel bzw. je Trassenkilometer statt, d.h. es wird diejenige Netzstruktur gesucht, in der alle Knoten angebunden sind und in der die Summe der Kantenlängen ein Minimum erreicht. Diese Struktur bezeichnet man auch als minimalen Spannbaum. Danach wird anhand des

Leitungsaufkommens je Kante untersucht, ob die Kosten dieses Baums durch eine veränderte Anordnung der Kanten weiter reduziert werden können. Die dann vorliegende optimale Baumstruktur wird durch Einfügung weiterer physikalischer Kanten vermascht, wobei jede Kante, die dem Baum zugefügt wird, einen Basisring bildet. Dieser Prozess wird solange durchgeführt, bis alle Knoten auf einem Basisring liegen. Die Kantenauswahl zur Bildung der Basisringe berücksichtigt sowohl die Länge der Kanten als auch die Anzahl der Knoten, die auf dem zugehörigen Basisring liegen. Nach Abschluss dieses Add-Verfahrens ergibt sich eine 2fach zusammenhängende Netztopologie, d.h. dass alle Netzknoten mindestens über zwei kantendisjunkte Transportwege miteinander verbunden sind. Diese Netztopologie kann ggf. wieder leicht ausgedünnt werden, um Basisringe größerer Länge zu erhalten und damit Kosten der Linientechnik zu sparen. Dies wird in einem nachfolgenden Drop-Verfahren durchgeführt, das diejenigen Netzkanten herausfiltert, deren Entfernung eine Kosteneinsparung ermöglicht, ohne dass andererseits der Zweifachzusammenhang zerstört wird. Der ablaufende Prozess lässt sich folglich in vier Schritte gliedern:

1. Berechnung des minimalen Spannbaums
2. Optimierung des Spannbaums
3. Bildung von Basisringen (Zweifachzusammenhang der Netzkonfiguration)
4. Entfernung redundanter Kanten

Es stellt sich heraus, dass sich insbesondere unter der Annahme hoher linientechnischer Kosten und geringer Kosten für die Leitungsführung sehr schwach vermaschte Topologien ergeben, die nur wenige Basisringe enthalten. Dies führt zu Leitungsführungen über eine Vielzahl von Zwischenknoten.

Die nachstehende Abbildung 11 illustriert exemplarisch den ablaufenden Prozess zur Ermittlung einer effizienten Netztopologie.

**Abbildung 11:** BICONSOL - Algorithmus

Dabei repräsentieren die dünn dargestellten Kanten den optimalen Spannbaum und die fett dargestellte, die für die Zweiwegeführung notwendigen zusätzlichen Kanten. Im Anschluss daran erfolgt die Prüfung der Netzstruktur auf überflüssige Kanten des ursprünglichen Spannbaums. Das Mehrwegenetz enthält in diesem Stadium im Allgemeinen Kanten, die für die Bikonnectivität nicht zwingend notwendig sind und deren Wegfall zu einer Reduktion der Kosten für Infrastruktur und Übertragung führt. Im Netzbeispiel der Abbildung 11 würde dies die Entfernung der Kante (5,10) bedeuten. Die Zweiwegeführung ist in jedem Fall gewahrt, die Kosten, die durch Verlegung und Betrieb der Kante entstehen, werden eingespart und die Ringlänge für die Führung des Verkehrs zwischen Knoten 5 und 10 ist hinreichend gering.

### 3.2.2.7.3 Leitungsführung im Transportnetz

Resultat der Transportnetzkonfiguration ist die akkumulierte Anzahl an E1 Gruppen je Netzknoten, welche mit der Verkehrsnachfrage zwischen den Knoten korrespondiert. Die E1 Anzahl setzt sich aus den E1 Gruppen des Schmalband-ISDN und den E1 Äquivalenten des Breitbandnetzes zusammen. Dabei werden die Leitungsgruppen bzw. Geschwindigkeitsklassen in folgende E1 Äquivalente umgerechnet:

**Tabelle 5:** Bildung von E1 Äquivalenten je Geschwindigkeitsklasse

Geschwindigkeitsklasse	E1 Äquivalent
E1	1
E3	16
E4	63
STM-1	63

Aufgabe des Submoduls für die Führung der Leitungsnachfragen (ROUTE) ist es nun, ausgehend von der Anzahl der E1, E3 und STM-1 Leitungsgruppen die Führung der jeweiligen Gruppe im physikalischen Netz festzulegen. Das Leitungsroutingmodul sucht dabei die kürzesten disjunkten Wege, die eine Leitungsbeziehung zwischen zwei Knoten realisieren. Im Ergebnis liegt nun das Leitungsaufkommen je Transportweg vor oder mit anderen Worten die Anzahl der jeweiligen Leitungsgruppen, die über die einzelnen physikalischen Netzkanten transportiert werden müssen. In einem abschließenden Schritt wird anhand der Leitungsnachfrage, die für die Übertragung im SDH-Transportnetz notwendige Anzahl der STM-1 Rahmen bestimmt.

#### 3.2.2.7.4 Zuweisung von SDH – Übertragungssystemen

Im Anschluss an die Leitungsführung werden die STM-1 Rahmen zu Modulen des SDH mit einer höheren Übertragungsgeschwindigkeit zusammengefasst. Ausgehend von der Anzahl der STM-1 Rahmen, die die übertragungstechnischen Geräte der Transportnetz-knoten durchlaufen, werden die kostenoptimalen Leitungsendgeräte des SDH-Netzes festgelegt. D.h. Größe und Funktionen der Cross-Connectoren an den Kantenenden wird durch die Wahl derjenigen Kombination von STM-N-Rahmen ( $N = 1, 4, 16, 64$ ) bestimmt, die die Kosten der Übertragung, der aus der Leitungsnachfragen berechneten Anzahl von STM-1 Rahmen, pro Kante minimiert. Dabei gilt, dass ein gut ausgelastetes Übertragungssystem STM-N der höheren Hierarchie im SDH weniger Kosten als mehrere kleinere Übertragungssysteme STM-1 verursacht.

Im Anschluss an die Zuweisung der Transportmodule im zu realisierenden SDH-Netz liegt eine komplette Liste über die übertragungstechnischen Geräte und Baugruppen vor. Ebenfalls bekannt ist die Menge der linientechnischen Investitionsgüter, wie Regeneratoren und Glasfasern je Transportnetz-kante, bzw. die gesamte Trassenlänge des Backbonenetzes. Daraus können sowohl die Gesamtkosten als auch die individuellen Kosten pro Leitungsgruppentyp und Systemelement berechnet werden. Die Kosten von gemeinsam genutzten Elementen werden entsprechend den E1 Kapazitätsäquivalenten gemäß Tabelle 4 zugewiesen.

### 3.2.3 Vermittlungstechnik

In den folgenden Abschnitten wird die Investitionsrechnung für die Vermittlungsfunktionen beschrieben. Im Modell werden die Berechnungen für jede einzelne Vermittlungsstelle durchgeführt, wobei abgesetzte Konzentratoren als Teil der jeweiligen steuernden Vermittlungsstelle – allerdings mit gesonderten Unterbringungskosten – behandelt werden. Wir gehen davon aus, dass als Grundlage der forward looking Kalkulation ein voll-digitalisiertes Netz zugrunde zu legen ist.

Die von uns verwendeten Bezugsgrößen für die Investitionsrechnung sind die Zahl der an einer Vermittlungsstelle direkt und indirekt angeschlossenen Teilnehmer, die Anzahl der Anrufversuche, die aus dem von der Vermittlungsstelle verarbeiteten Verkehr in Erlang abgeleitet wird und die Zahl der von einer VSt abgehenden E1-Gruppen zum Verbindungsnetz. Anhand dieser Bezugsgrößen wird der Investitionsumfang ermittelt, der notwendig ist, damit die Vermittlungsstelle ihre wesentliche Aufgabe, die bedarfsweise Durchschaltung von 64 kbit/s Kanälen entweder

- zwischen zwei Teilnehmern,
- zwischen Teilnehmer und Verbindungsleitungen oder
- zwischen zwei Verbindungsleitungen

erfüllen kann.

Ähnlich wie im Falle der Cross-Connectoren lassen sich auch für die Vermittlungsstelle Basisfunktionen definieren, für deren Bereitstellung Investitionen getätigt werden müssen. Das Ein- und Ausführen der E1-Gruppen in den Vermittlungsknoten, die Durchschaltung von 64 kbit/s Kanälen im Koppelfeld, die Konzentration (und Dekonzentration) des Teilnehmerverkehrs sowie die Bereitstellung von Schnittstellen zu den Teilnehmeranschlussleitungen in Form von Teilnehmerbaugruppen (Beschaltungseinheiten) werden hier als Basisfunktionen betrachtet.

Darüber hinaus erfüllen Vermittlungsstellen eine ganze Reihe weiterer Funktionen, die zum Teil in unmittelbarem Zusammenhang mit den Basisfunktionen stehen, die aber auch neue erweiterte Dienste definieren. Beispiele für Ersteres sind Leitweglenkung, Gebührenerfassung oder Signalisierungsfunktion. Erweiterte Dienste sind z.B. CENTREX-Funktionen, d.h. die Verlagerung von Nebenstellenfunktionen in die Vermittlungsstelle, oder IN-Funktionen wie etwa Rufe zu Freephone oder kostenpflichtigen Diensten, Virtual Private Networks (VPN), Televotum oder Calling Card Nutzung. Andere Dienstmerkmale sind teilnehmerorientiert, wie etwa die ISDN-Dienstmerkmale Anrufweiterschaltung, Makeln, Konferenz, automatische Wahlwiederholung und Rückruf bei besetzt. Die genannten Dienstmerkmale werden durch Modifikationen in der Software der Vermittlungsstelle, z.T. auch übergeordneter Netzmanagementeinrichtungen, realisiert, die auch zu steigenden Hardwareanforderungen führen. Teilweise werden

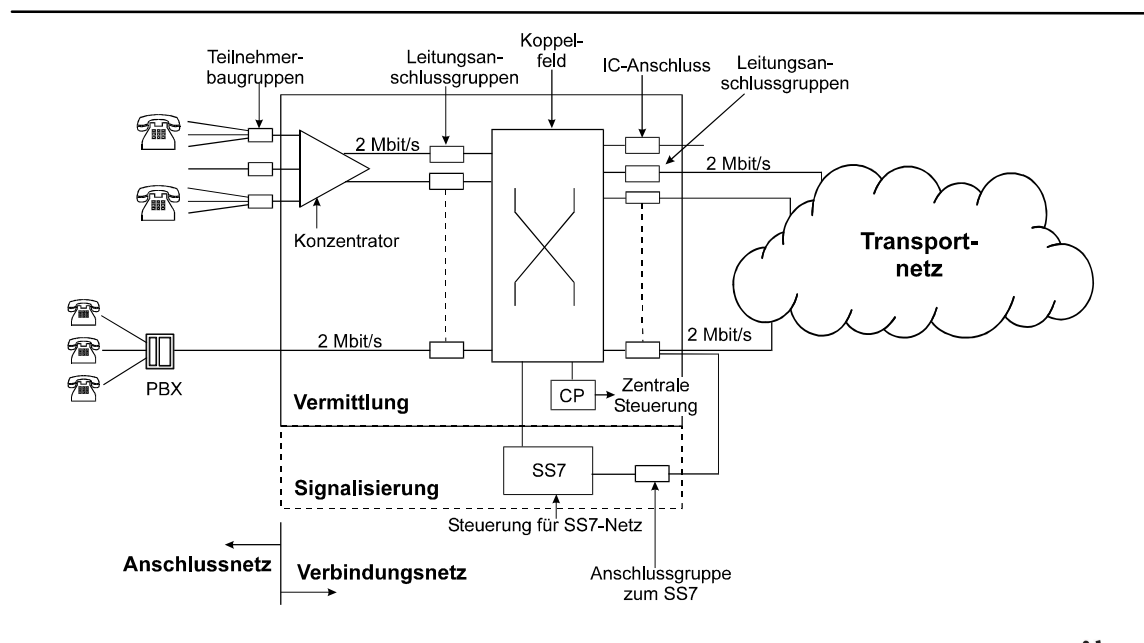
diese Funktionen in das Basisangebot der Hersteller integriert, teilweise werden sie als gesonderte Leistungsmerkmale ausgewiesen und abgerechnet. Bei der Festlegung der Investitionsparameter, insbesondere für die Steuerung der Vermittlungsstelle, ist sicherzustellen, dass lediglich solche Funktionen berücksichtigt werden, die zusammengeschalteten Netzbetreibern im Rahmen der getroffenen Vereinbarungen zum Interconnectionentgelt zur Verfügung gestellt werden.

Eine weitere wesentliche Anforderung an die Kostenmodellierung ist es, die Trennung der anschlussbezogenen Investitionen von den verkehrsbezogenen Investitionen zu ermöglichen. Nur Letztere können als inkrementell zu Verbindungsleistungen und damit auch als inkrementell zum Interconnectionangebot eines Betreibers angesehen werden. Theoretisch ist die Trennlinie zwischen anschlussorientierter und verbindungsorientierter Investition zwischen Konzentrator und Teilnehmergruppen (Line Cards), wie in Abbildung 12 aufgezeigt, klar zu identifizieren. Aufgrund der möglichen Integration der Funktionen auf gemeinsamen Baugruppen kann die Festlegung der auf die Einzelfunktionen entfallenden Investitionsanteile in der Praxis jedoch Probleme aufwerfen.

In den folgenden Abschnitten werden die bei der Investitionsrechnung berücksichtigten Baugruppen bzw. Funktionen beschrieben und die Formeln zur Ermittlung der jeweiligen Investitionssumme pro Vermittlungsstelle erläutert.

Vorangestellt wird eine graphische Übersicht über die betrachteten Vermittlungsfunktionen bzw. Baugruppen, die sich in der folgenden Abbildung findet:

**Abbildung 12:** Basisfunktionen einer Vermittlungsstelle



Die Investitionsparameter, die zur Bestimmung der Gesamtinvestition je Vermittlungsstelle herangezogen werden, sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

**Tabelle 6:** Investitionsparameter für die Vermittlungstechnik

Parameter	Definition
ca/b	Investition für den Anschluss eines analogen Teilnehmers
cs <sub>0</sub>	Investition für den Anschluss eines Teilnehmers mit ISDN-BasisAnschluss
ckon	Investition in konzentrierende Baugruppen je 2 Mbit/s
cla	Investition für Leitungsanschlüsse zum Koppelfeld je 2 Mbit/s
ccp	Investition in Steuerungskapazität je 1000 BHCA
ckop	Investition in Koppelnetzbaugruppen je 2 Mbit/s
cub	Investitionen in Unterbringung einschließlich Klima, Energieversorgung etc.
cfix	Fixe Investitionen für Funktionen der Vermittlungseinheit, die von keinem der anderen Parameter erfasst werden

Neben den Investitionsparametern werden, wie im Falle der Berechnungen für das Transportnetz, eine Reihe von strukturellen Parametern verwendet, die in der nachstehenden Tabelle zusammengefasst sind:

**Tabelle 7:** Strukturparameter für die Vermittlungstechnik

Parameter	Definition
Oc1	Auslastungsgrad für Konzentratoren
Oc2	Auslastungsgrad für Leitungsanschlüsse
Oc3	Auslastungsgrad für Koppereinrichtung
Oc4	Auslastungsgrad für Prozessorsteuerung
Oc5	Auslastungsgrad für IC-Ports
#gr <sub>fix_kop</sub>	Grundkapazität der Koppereinrichtung in 2Mbit/s Anschlüssen
#bhca <sub>fix_cp</sub>	Grundkapazität der Prozessorsteuerung in BHCA
$\eta$	Verhältnis der erfolgreichen zu den gesamten Verbindungsversuchen in der Hauptverkehrsstunde
MHT	Mittlere Verbindungsdauer in der Hauptverkehrsstunde

### Teilnehmerbaugruppen

Teilnehmeranschlusseinheiten bilden die Schnittstelle zwischen der physikalischen Verbindung zum Teilnehmer in Form der Kupferdoppelader oder anderer Medien und

den Vermittlungseinheiten. Ihre Aufgabe liegt in der Übermittlung und, falls nötig, Konversion der über die Teilnehmeranschlussleitung übertragenen Nutz- und Signalisierungsinformationen, in der Prüfung der Leitung sowie in der Spannungsversorgung für die angeschlossenen Endgeräte. Die Funktionen der Teilnehmerbaugruppen werden mit dem Kunstwort BORSCHT zusammengefasst (**B**atterie, **O**vervoltageprotection, **R**inging, **S**ignalling, **C**oding, **H**ybrid, **T**esting).

Üblicherweise werden mehrere Teilnehmeranschlüsse auf einer Baugruppe zusammengefasst. Diese Baugruppe ist aus Teilnehmersicht der konzentrierenden Einheit vorgelagert. Daher spielt die erwartete Verbindungsnachfrage der Teilnehmer keine Rolle. Die Investitionen für die Teilnehmerbaugruppen müssen daher in vollem Umfang den Kosten des Teilnehmeranschlussnetzes zugerechnet werden. Somit wären sie für die Berechnung der Kosten von Zusammenschaltungen nicht weiter zu berücksichtigen<sup>9</sup>. Es ist allerdings zu bedenken, dass es gemeinsame Kosten von Teilnehmeranschlussnetz und Verbindungsnetz gibt, die mit Hilfe eines geeigneten Maßstabes auf beide Netzsegmente verteilt werden müssen. Zu denken ist dabei insbesondere an die Unterbringung (einschließlich Stromversorgung, Klimatisierung, etc.) der vermittlungstechnischen Einrichtungen und der abgesetzten Konzentratoreinheiten. Die am Standort entstehenden direkt zurechenbaren Kosten bieten sich als Allokationsmaßstab für die gemeinsamen Kosten an. Insofern ist eine gesonderte Investitionsrechnung auch für Teilnehmerbaugruppen im Rahmen der Kostenmodellierung für das Verbindungsnetz sinnvoll. Dabei ist eine Unterscheidung zwischen den wesentlichen Anschlusstypen, nämlich analog ( $a/b$ ) und ISDN-Basisanschluss ( $S_0$ ) notwendig. Primärmultiplexanschlüsse ( $S_2M$ ) benötigen keine spezielle Teilnehmerbaugruppe, da sie direkt über 2 Mbit/s Leitungsanschlüsse mit dem Koppelfeld verbunden werden. Für eine Vermittlungsstelle  $i$  ergeben sich die Investitionen in Teilnehmerbaugruppen nach der folgenden Formel. Die Anschlusszahlen werden dabei über alle Knoten eines Zugangsbereiches aggregiert.

$$C_{\text{Teilnehmer}_i} = \# \text{Asl}_{a/b} * ca/b + \# \text{Asl}_{\text{ISDN}} * cs_0 \quad (3)$$

### Konzentrierende Baugruppen

Diese Baugruppen erfüllen die Aufgabe, den Teilnehmerverkehr zu bündeln und auf das Grundsystem des logischen Netzes, die 2 Mbit/s-Verbindung (E1), umzusetzen. Aus Sicht der Teilnehmer bilden sie in den meisten Fällen die erste verkehrsabhängig dimensionierte Baugruppe des Netzes. Konzentratoren sind entweder direkt am Ort der Vermittlungsstelle oder in Form von abgesetzten Konzentratoren (AK) in benachbarten Anschlussbereichen lokalisiert. Wir summieren die Investitionen jeweils für ein gesamtes Access-Cluster, unterscheiden folglich auch an dieser Stelle nicht zwischen am Ort der Vermittlungsstelle und abgesetzt angeordneten Konzentratoren. Wir gehen davon

---

<sup>9</sup> Sie können aber im Kontext anderer Fragestellungen (z.B. Universaldienst) Relevanz erlangen.

aus, dass ein Investitionswert für die Konzentration des Teilnehmerverkehrs pro 2 Mbit/s Schnittstelle bestimmt werden kann. Um die Investitionen in die Transporteinrichtungen des Zugangsnetzes zu ermitteln, wurde bereits die Zahl der E1-Gruppen zwischen abgesetzten Konzentradorstandorten und der zugehörigen Vermittlungsstelle ermittelt. Dieser Wert kann an dieser Stelle mit dem Investitionsparameter  $ckon$  multipliziert werden, wobei allerdings berücksichtigt werden muss, dass die E1-Gruppen für die Anbindung der PrMux-Anschlüsse nicht berücksichtigt werden müssen, da jeder Anschluss genau einer E1 entsprechend 30 Nutzkanälen entspricht, für die keine weitere Konzentration durchgeführt wird. Die Konzentrationsfunktion wird von den in vielen Fällen über PrMux angeschlossenen Nebenstellenanlagen durchgeführt. Andererseits müssen Konzentratoren für direkt an der VSt angeschlossene Teilnehmer berücksichtigt werden. Die Investitionsformel, die wiederum für den gesamten Zugangsbereich gilt, lautet:

$$C_{Konzentrator\_i} = \frac{(\# gr_{access\_i} - \# S_2M)}{oc1} * ckon \quad (4)$$

mit:

$$\# gr_{access\_i} = \sum_{\text{über alle Access-Knoten}} \# gt_{ij} + \# gt_{VSt\_T}$$

$\# gt_{VSt\_T}$  = Anzahl der Leitungsgruppen für die Verkehrskonzentration der direkt angeschlossenen Teilnehmer

#### Leitungsanschlussgruppen für 2 Mbit/s

Leitungsanschlussgruppen, häufig auch als „ports“ bezeichnet, stellen eine einheitliche Schnittstelle zwischen den 2-Mbit/s Leitungsgruppen des Verbindungsnetzes bzw. den 2 Mbit/s-Ausgängen der konzentrierenden Baugruppen für den Teilnehmerverkehr und dem Koppelnetz als der "eigentlichen" Vermittlungseinheit dar. Die Zahl der benötigten 2 Mbit/s-Schnittstellen lässt sich unmittelbar aus den an der Vermittlungsstelle anliegenden E1-Gruppen des Verbindungsnetzes zuzüglich der 2 Mbit/s-Gruppen für beginnenden und endenden Teilnehmerverkehr herleiten. Diese Daten sind als Resultat der Verkehrsführungsberechnungen verfügbar. Nach Festlegung des Investitionswertes pro 2 Mbit/s Anschluss ergibt sich die Investition für eine Vermittlungsstelle mit Teilnehmerfunktion als:

$$C_{Leitungsanschluss\_i} = \frac{\# gr_{access\_i} + \# gr_i}{oc2} * cla \quad (5)$$

mit:

$\# gr_i$  = Zahl der mit der Vermittlungsstelle verbundenen 2 Mbit/s Gruppen (vgl. auch Formel (4))

Für die Transitvermittlungseinheit lautet die entsprechende Formel:

$$C_{\text{Leitungsanschluss}_i\text{TransVE}} = \frac{\# gr_{i\text{transit}}}{oc2} * cla \quad (6)$$

### Koppelnetzbaugruppen

Die Aufgabe des Koppelnetzes besteht in der Durchschaltung von 64 kbit/s Nutzkanälen zwischen ein- und ausgehenden Leitungen gemäß dem Verbindungswunsch des Anrufers. Die Verbindung der Leitungen erfolgt dabei entweder durch Änderung der Zeitlage eines Kanals innerhalb eines 2 Mbit/s Systems (Zeitstufe) oder durch Wechsel des 2 Mbit/s Systems bei Beibehaltung der Zeitlage (Raumstufe). Durch Kombination beider Verfahren ist praktisch vollständige Erreichbarkeit gewährleistet, d.h. jeder eingehende kann mit jedem ausgehenden Kanal verbunden werden. Einige dieser 2 Mbit/s Schnittstellen werden für spezielle Funktionen, wie etwa Ansagefunktionen, benötigt, so dass die Zahl der effektiv anzuschließenden 2 Mbit/s Leitungen etwas darunter liegt. Für die Zukunft sind erhebliche Steigerungen dieser heute noch beobachteten Kapazitätsgrenze zu erwarten. Die notwendige Kapazität des Koppelfeldes lässt sich ermitteln anhand der Zahl der angeschlossenen 2 Mbit/s Schnittstellen, wobei eine unteilbare Investitionskomponente für die Basiskapazität zu beachten ist. Im Rahmen der Investitionsrechnung wird die notwendige Kapazität mit Wiederbeschaffungspreisen je angeschlossener 2 Mbit/s Schnittstelle bewertet. Die angeschlossenen 2 Mbit/s Gruppen sind oben bereits im Rahmen der Investitionsrechnung für Leitungsanschlüsse ermittelt worden. Die Investitionsformel lautet:

$$C_{\text{Koppelfeld}_i} = \# gr_{\text{fix}_kop} * ckop + \max \left\{ \frac{\# gr_{\text{access}_i} + \# gr_i - \# gr_{\text{fix}_kop}}{oc3} * ckop, 0 \right\} \quad (7)$$

mit

$\# gr_{\text{fix}_kop}$  = Fixe Kapazität des Koppelnetzes in 2 Mbit/s Anschlüssen

### Steuerungsbaugruppen (Central Processor)

Die Steuerung des Koppelnetzes erfolgt durch einen oder mehrere Mikroprozessoren. Deren wesentliche Aufgabe besteht darin, die Koppelnetzeinstellung gemäß der vorliegenden Signalisierungsinformation einzustellen und für die Dauer der Verbindung zu überwachen. Daneben werden weitere Funktionen wie Verkehrslenkung oder Gebührenerfassung ausgeführt. Wesentlicher Kostentreiber der Steuerungseinheit ist die Zahl der Verbindungswünsche in der Hauptverkehrsstunde unabhängig davon, ob eine gewünschte Verbindung tatsächlich vollständig zustande kommt. Es sind daher nicht nur die erfolgreichen Anrufversuche, sondern auch die nicht-erfolgreichen Versuche (Teilnehmer besetzt, Teilnehmer hebt nicht ab) bei der Ermittlung der benötigten Steuer-

rungskapazität zu berücksichtigen. Die Angabe der Leistungsfähigkeit der Steuerungseinheit erfolgt in Busy Hour Call Attempts (BHCA). Die Anzahl der Busy Hour Call Attempts für eine Vermittlungsstelle lässt sich aus den vorliegenden Verkehrswerten ableiten, wenn geeignete Annahmen über die durchschnittliche Verbindungslänge und über das Verhältnis von erfolgreichen zu nicht-erfolgreichen Anrufversuchen getroffen werden. Man geht davon aus, dass ca. 60% der Wählversuche zu vollständigen Verbindungen führen. Diese Angaben sollten von den am Kommentierungsverfahren beteiligten Netzbetreibern konkretisiert werden. Die Ableitung der gesamten Verbindungswünsche in der Hauptverkehrsstunde ergibt sich gemäß folgender Formel für Teilnehmervermittlungseinheiten und Vermittlungseinheiten mit Teilnehmerfunktion als

$$\# bhca_{i\_VE\_T} = \frac{\left( t_i^{oi} + \sum_{j=1}^{\#nod} t_{ji} \right) * 60}{MHT} * \frac{1}{\eta} \quad (8)$$

und für Transitvermittlungseinheiten als

$$\# bhca_{i\_TransVE} = \frac{(t_i^{trans}) * 60}{MHT} * \frac{1}{\eta} \quad (9)$$

mit:

$t_i^{oi}$  = Gesamter ausgehender und interner Verkehr des Knotens  $i$  in Erlang

$t_i^o$  = Gesamter ausgehender Verkehr des Knotens  $i$

$\sum_{j=1}^{\#nod} t_{ji}$  = Gesamter eingehender Verkehr des Knotens  $i$  von allen anderen Knoten, mit  $j \neq i$

$t_i^{trans}$  = Transitverkehr in Knoten  $i$

Weiterhin gehen wir davon aus, dass sich Funktionspreise für Steuerungskapazität ausgedrückt in BHCA (bzw.  $N$  BHCA,  $N=1000, \dots$ ) ermitteln lassen, die sowohl Hardware wie Software abdecken. Auch hier umfasst die Investitionsfunktion eine fixe Basiskomponente sowie mengenvariable Investitionen ab Überschreiten einer vorzugebenden Kapazitätsgrenze. Sie lautet in allgemeiner Form:

$$C_{Prozessor\_i} = \frac{\# bhca_{fix\_cp}}{1000} * ccp + \max \left\{ \frac{\# bhca_i - \# bhca_{fix\_cp}}{1000 * oc4} * ccp, 0 \right\} \quad (10)$$

mit

$\# bhca_{fix\_cp}$  = Fixe Kapazität der Prozessorsteuerung, ausgedrückt in BHCA.

Auch hier wird gemäß der Vorberechnungen zwischen Teilnehmervermittlungseinheiten und Transitvermittlungseinheiten unterschieden. Zu beachten ist, dass die hardwareseitig erreichbare Rufverarbeitungskapazität von den Leistungsmerkmalen abhängt, die in der Vermittlungsstelle durch die eingebrachte Software implementiert sind. Auch die Art der Verbindungen hat Einfluss auf die vom Prozessor zu leistende Arbeitszeit. In den vergangenen Jahren kam es tendenziell zu einer Absenkung der Rufverarbeitungskapazität vorhandener Hardware bedingt durch den immer größer werdenden Leistungsumfang der in den Vermittlungsstellen implementierten Software und bedingt vermutlich auch durch einen steigenden Anteil von Verbindungen zu Diensterufnummern, in Mobilfunknetze oder zu anderen Zusammenschaltungspartnern. Der Funktionspreis für *BHCA* hängt implizit daher immer von der erwarteten Zusammensetzung der Verbindungen und von implementierten Leistungsmerkmalen ab. Bei der Festlegung des Funktionspreises muss daher klargestellt werden, welche Verbindungen und Merkmale berücksichtigt werden sollen. In erster Näherung sind alle Leistungsmerkmale zu nennen, die im Rahmen von Zusammenschaltungsvereinbarungen über Netzgrenzen hinweg in Anspruch genommen werden können.

### Sonstiges

Abschließend sind sonstige Investitionen zu betrachten, die unteilbar pro Vermittlungsstelle anfallen und die in Ihrer Gesamtheit als inkrementell zu Verbindungsleistungen anzusehen sind. Zu denken ist etwa an Kontrollterminals, Einrichtungen zur Verkehrsmessung oder zur Speicherung von Verbindungsdatensätzen. Wir gehen davon aus, dass ein Investitionsparameter pro VSt\_T bzw. TransVSt bestimmt werden kann.

Durch Addition der einzelnen Investitionskomponenten kann abschließend die Gesamtinvestition in Vermittlungstechnik, die Verbindungsleistungen direkt zurechenbar ist, ermittelt werden. Nicht berücksichtigt werden Investitionen für Teilnehmerbaugruppen, die in vollem Umfang dem Anschlussnetz zugerechnet werden müssen. Differenziert wird zwischen Teilnehmervermittlungseinheiten einschließlich abgesetzter Konzentratoren sowie Transitvermittlungseinheiten:

$$C_{VE\_T} = C_{Konzentrator\_i} + C_{Leitungsanschluss\_VE\_T\_i} + C_{Koppelfeld\_VE\_T\_i} + C_{Prozessor\_VE\_T\_i} + cfix_{VE\_T} \quad (11)$$

und

$$C_{TransVE\_i} = C_{Leitungsanschluss\_TransVE\_i} + C_{Koppelfeld\_TransVE\_i} + C_{Prozessor\_TransVE\_i} + cfix_{TransVE} \quad (12)$$

Nach Annualisierung können diese Investitionen unter Heranziehung von Jahresnachfragemengen auf Minutenbasis, also als „Kosten“ je Minute lokaler Vermittlung oder Transitvermittlung, ausgedrückt werden. Der Ausdruck Kosten ist apostrophiert, da Kosten streng genommen nur für bereitgehaltene Kapazitäten angegeben werden können, während Minutenkosten durch Umrechnungskonventionen ermittelt werden.

### Unterbringung

Investitionen in Unterbringung umfassen Gebäude sowie innerhalb des Gebäudes Doppelböden und/oder Kabelroste, Stromversorgung, Klimatisierung, Feuer- und Blitzschutz. Wir beabsichtigen, den Investitionsparameter *cub* danach zu differenzieren, ob es sich um die Unterbringung einer abgesetzten Konzentratoreinheit, die Unterbringung einer Teilnehmervermittlungsstelle oder die Unterbringung einer Teilnehmervermittlungsstelle mit kollozierter Transitvermittlungsstelle handelt. Im Unterschied zu den im vorstehenden Abschnitt behandelten sonstigen Investitionen, sind diese nicht vollständig den Verbindungsleitungen zuzurechnen, sondern müssen als gemeinsame Investitionen von Anschlussnetz und Verbindungsnetz interpretiert werden. Die elementorientierte Kostenanalyse macht es notwendig, diese Investitionen des Verbindungsnetzes nochmals zwischen Vermittlungs- und Übertragungstechnik aufzuteilen. Wir halten eine Allokation der Investition entsprechend dem Maßstab der direkt zurechenbaren Investitionen, die an den Unterbringungsorten anfallen, d.h. ausgenommen der Investitionen in Linientechnik, für angemessen.

Grundstücke unterliegen keiner zeitlich begrenzten Nutzung, das bedeutet, dass Investitionen in Grundstücke nicht planmäßig abgeschrieben werden können. Im Modell wird deshalb der Investitionsparameter *cub\_I* verwendet, der die Investitionen in den auf eine VSt entfallenden Grundstücksanteil angibt.

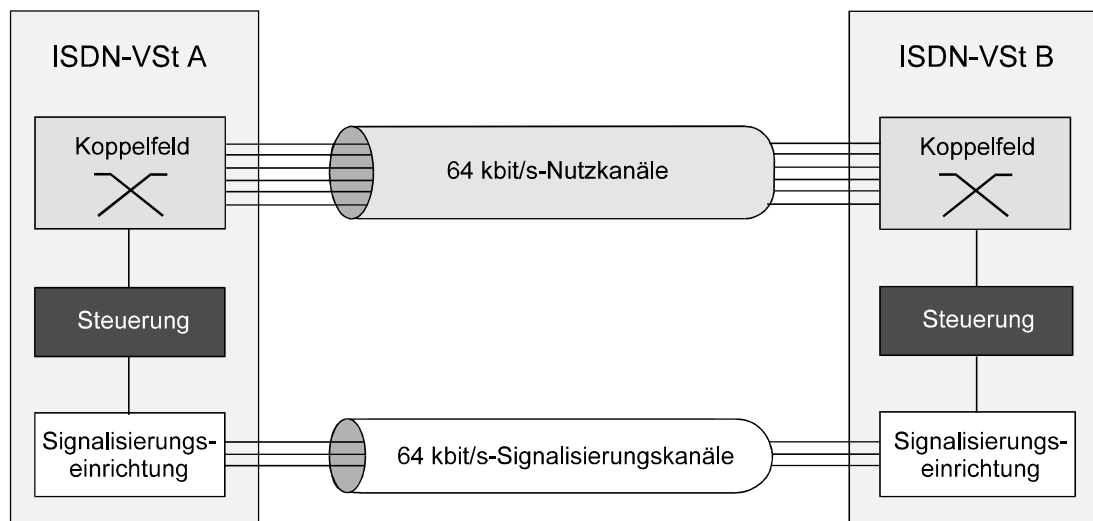
### 3.2.4 Signalisierungsnetz

Der Auf- und Abbau der 64 kbit/s Nutzkanalverbindungen im ISDN erfolgt durch den Austausch von Zeichengabeinformationen. Zeichengabe- oder Signalisierungssysteme haben die Aufgabe, Wahlinformationen zwischen Vermittlungsstellen auszutauschen, die Gebührenzahlung einzuleiten und die Informationen der Verbindungssteuerung zu interpretieren. Hierzu wird das von der ITU standardisierte Signalisierungssystem Nr. 7 (SS7) eingesetzt. Kennzeichen des SS7 ist die Trennung der Wege der Nutzinformation von den Signalisierungswegen. Die Signalisierungsinformationen werden gebündelt und über separate Kanäle geführt (Zentrale Zeichengabekanäle, ZZK). Ein 64 kbit/s-Signalisierungskanal ermöglicht die Übermittlung von Signalisierungsinformationen für die Steuerung von durchschnittlich mehreren hundert Nutzkanälen.

Das Signalisierungsnetz bildet logisch ein eigenständiges Netz mit eigenen Netzknoten, welches das Nutzkanalnetz überlagert. Das angewendete Vermittlungsprinzip ist das

der Paketvermittlung im Gegensatz zur Leitungsvermittlung im Nutzkanalnetz. Auf der Ebene des Informationstransports ist das Signalisierungsnetz wiederum in das SDH-Transportnetz integriert. Genutzt wird entweder ein Kanal einer E1 oder ein eigenes Leitungsbündel, das nur ZVK enthält.

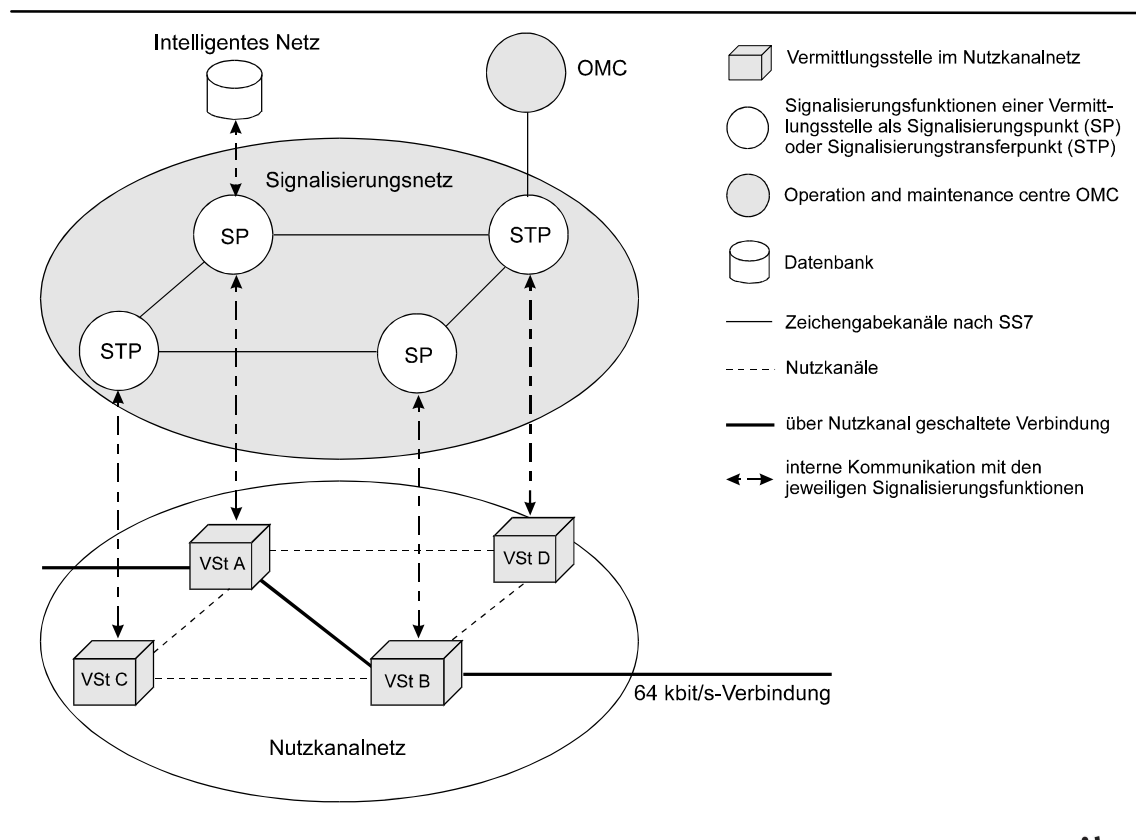
**Abbildung 13:** Konzept der Zentralkanalsignalisierung



Quelle: Siemens Systemhaus

Die vermittelnden Knoten des Signalisierungsnetzes können in zwei Kategorien eingeteilt werden:

- Signalisierungspunkte (Signalling Point, SP) sind Knoten, in denen die Signalisierungsinformation zur Schaltung der Nutzkanäle in der zugeordneten Vermittlungsstelle des Nutzkanalnetzes ausgewertet werden. Alle Teilnehmer- und Transitvermittlungsstellen (genauer gesagt deren Zeichengabesteuerung) können als SP im ISDN fungieren. Sie tun dies im Rahmen aller Verbindungen, bei denen die Nutzkanäle über diese Knoten geschaltet werden.
- Signalisierungstransferpunkte (Signalling Transfer Point, STP) sind Knoten des Signalisierungsnetzes, in denen die Signalisierungsinformationen nur vermittelt, aber nicht bearbeitet werden. Dies bedeutet, dass die Nutzkanalverbindung nicht durch den zugeordneten Knoten geschaltet wird. Folglich kann ein Knoten des SS7 für manche Verbindungen SP und gleichzeitig für andere Verbindungen STP sein, abhängig davon, ob der Nutzkanal durch die zugeordnete Vermittlungsstelle geschaltet wird oder nicht (siehe Abbildung 14).

**Abbildung 14:** Signalisierungsnetz und Nutzkanalnetz

Quelle: Siemens Systemhaus

Die genauen Abläufe im SS7 sind komplex. Die Kosten, die eine Verbindung verursacht hängen von einer Reihe von Parametern ab, die, folgt man dem Postulat der Verursachungsgerechtigkeit, zu einer stark differenzierten Kostenstruktur für verschiedene Verbindungen führen würden. Diese Differenzierung ist mit erheblichem Aufwand verbunden und kann, falls sie für unabdingbar erachtet wird, nur in enger Kooperation mit den Netzbetreibern durchgeführt werden.

Wir schlagen eine vereinfachte Investitionsrechnung vor, in der die Zahl der Anrufversuche als zentraler Kostentreiber für die Investition in das Signalisierungsnetz betrachtet wird. Diese Vereinfachung soll dennoch dazu dienen, die Kosten eines effizienzorientierten Signalisierungsnetzes zu approximieren.

Jede Vermittlungseinrichtung erfüllt für alle Verbindungen, die über sie geführt werden, die Funktion eines Signaleinstellens und muss daher über entsprechende Einrichtungen zur Auswertung der Zeichengabeinformation und über Schnittstellen zu den Zentralen Zeichengabekanälen (ZZK) verfügen. Angenommen wird, dass sich vergleichbar zur CP-Steuerung ein Investitionswert je BHCA bestimmen lässt. Ein Investi-

tionswert wird ebenfalls ermittelt für Schnittstellen zu ZZK, deren Zahl pro Vermittlungseinrichtung bei Kenntnis der Kapazität je Kanal ebenfalls aus der Zahl der BHCA abgeleitet werden kann.

Jeder Signalisierungspunkt ist mit zwei Signalisierungstransferpunkten verbunden. Wir gehen davon aus, dass alle STPs annähernd gleich ausgelastet sind, so dass ein fester Investitionsbetrag je STP angenommen werden kann. Die Anzahl der STP-Paare im Netz kann gemäß der Netzstruktur der TA festgelegt werden.

### 3.2.5 Netzunterstützende Investitionen

Mit den bisher behandelten Kategorien sind die direkt für einzelne Vermittlungsstellen, sowie für die Komponenten des Transport- und Signalisierungsnetzes zu berücksichtigenden Investitionen erfasst. Neben diesen direkten Investitionen sind Investitionen zu berücksichtigen, die der Aufrechterhaltung des Netzbetriebs dienen, deren Höhe sich aber anhand der Kostentreiber des Modells nicht direkt ermitteln lässt. Investitionen, die in diese Kategorien fallen, sind z.B.

- Grundstücke und Gebäude, soweit nicht direkt im Rahmen der Unterbringung berücksichtigt
- Fuhrpark
- Werkstattausrüstung und Ersatzteile
- Büroausstattung, allgemeine EDV
- Netzmanagement
- Andere netzunterstützende Ausrüstungen.

Da diese Investitionen nicht anhand der direkten Kostentreiber ermittelt werden, muss eine alternative Bezugsgröße gewählt werden. Wir gehen davon aus, dass die indirekten Investitionen sich proportional zu den direkten Investitionen entwickeln. Zur Ermittlung der Proportionen schlagen wir die Aus- bzw. Bewertung von Daten aus dem betrieblichen Rechnungswesen von Netzbetreibern vor. Der Rekurs auf Daten des Rechnungswesens stellt zwar einen potentiellen Widerspruch zu der von uns verfolgten Methode der Bottom-up Kostenmodellierung dar. Es ist dennoch unumgänglich, im Bereich der netzunterstützenden Investitionen (wie auch im Bereich der Betriebskosten) diesen Weg zu gehen. Es wird letztlich darauf ankommen, die Informationen des Rechnungswesens zu interpretieren und, wenn nötig, dem verfolgten Zweck anzupassen.

Ziel bei diesem Vorgehen ist es, zunächst die Kategorien der Anlagebuchhaltung der Netzbetreiber zu identifizieren, in der diejenigen direkten Investitionen der Netzinfrastruktur erfasst werden, die ebenfalls in der Modellrechnung berücksichtigt sind. Im

nächsten Schritt ist das Anlagevermögen zu identifizieren, das ebenfalls dem Netz- bzw. Infrastrukturbereich zugeordnet werden kann, das aber aus anderen als den berücksichtigten Investitionen besteht. Aus dem Verhältnis der vorhandenen Anlagevermögensgrößen zueinander kann, bei Bewertung zu Wiederbeschaffungspreisen, ein erster Benchmark für die Relation der direkten zu den netzunterstützenden bzw. indirekten Investitionen abgeleitet werden.

Je nach Detailliertheit der Kostenrechnungsdaten können die netzunterstützenden Investitionen den Netzelementen direkt zugeordnet werden.

Wir nehmen allerdings an, dass die aus diesen Investitionen resultierenden Kapitalkosten und Betriebskosten bezüglich einiger oder aller der von uns betrachteten Netzelemente als Gemeinkosten zu behandeln sind, weil sie entweder prinzipiell nicht zurechenbar sind oder weil die Kostenrechnungssystematik mit den von uns definierten Netzelementen nicht übereinstimmt. In diesem Fall kann gemäß dem von uns präferierten Ansatz der Gemeinkostenallokation nach dem Maßstab der direkten Investitionen ein Aufschlag in Form eines einheitlichen Prozentsatzes zu den direkten Investitionen der einzelnen Netzelemente angewendet werden.

Werden hingegen als Zuschlagbasis (bzw. als Schlüsselgröße) die jährlichen Kapitalkosten oder die annualisierten Kosten (einschließlich Betriebskosten) der direkten Investitionen gewählt, so werden Gemeinkosten c.p. stärker auf die Netzelemente verteilt, die eine hohe Risikoprämie, eine kurze Nutzungsdauer oder einen relativ hohen Betriebskostenanteil aufweisen. Letzteres wäre nicht unplausibel, da die Betriebskosten eines Netzelementes möglicherweise mit den netzunterstützenden Investitionen positiv korreliert sind, z.B. könnte mit einem höheren Wartungsaufwand der Linientechnik ein größerer Fuhrpark einhergehen. Dagegen wird eine solche Korrelation zwischen Risiko bzw. Nutzungsdauer und den Kosten der netzunterstützenden Funktionen nicht festzustellen sein.

Diese gegenläufigen Effekte erlauben den Schluss, dass der von uns präferierte Ansatz nicht nur aufgrund der Praktikabilität- die Forderung nach einer verursachungsgerechten Kostenzurechnung nicht verletzt. Eine prozessorientierte Kostenrechnung könnte den Problemen der Kalkulation von Zuschlagssätzen durch die Ermittlung von Kostentreibern und Bezugsgrößen begegnen, würde aber den Rahmen des vorliegenden Modells überschreiten.

Die Berechnung des Zuschlages setzt zunächst voraus, dass das Verhältnis von direkten und indirekten Investitionen ermittelt worden ist. Anschließend muss die Investitionssumme für die netzunterstützenden Funktionen, differenziert nach Kategorien, mit dem in Kapitel 4 beschriebenen Kapital- und Betriebskostenfaktor annualisiert werden. Diese jährlichen Kosten werden dann auf die einzelnen Netzelemente proportional zu den entsprechenden direkten Investitionswerten verteilt.

Wir beabsichtigen, in einem ersten Schritt Benchmarks für das Verhältnis der direkten zu den indirekten Investitionen für das Verbindungsnetz aus öffentlich zugänglichen Quellen, wie Statistiken, Geschäftsberichten oder Kostenstudien abzuleiten.

Die Tabelle 8 soll die Generierung von Prozentsätzen zur Ermittlung der indirekten Investitionen illustrieren. Dabei wird angenommen, dass die Investitionen für Netzunterstützung lediglich in die drei Kategorien Vermittlungs- und Signalisierungstechnik, Übertragungstechnik und Linientechnik unterteilt werden können. Die weitere Verteilung auf die Netzelemente erfolgt, wo nötig, gemäß proportionaler Zuschläge. Wir betrachten diesen Ansatz als ein relativ einfaches und somit praktikables Verfahren zur Bestimmung der indirekten Investition eines effizienten Netzbetreibers. Im Modell besteht die Möglichkeit, differenzierte Zuschlagssätze, die aus detaillierteren Verfahren gewonnen werden, für jedes Netzelement einzusetzen.

**Tabelle 8:** Verhältnis der indirekten netzunterstützenden Investitionen zu den direkten Investitionen

Güterkategorien des Anlagevermögens für die Netzunterstützung	Anlagengruppe		
	Vermittlungstechnik	Übertragungstechnik	Linientechnik
1 Fuhrpark	*	*	*
2 Werkstattausstattung	*	*	*
3 Büroausstattung	*	*	*
4 Grundstücke und Gebäude	*	*	*
5 Allgemeine EDV	*	*	*
6 Netzmanagement	*	*	*
7 Sonstige netzunterstützende Ausrüstung	*	*	*
VA Vorhandenes Anlagevermögen (ohne Netzunterstützung)	*	*	*
Zuschlagsfaktor Fuhrpark (1/VA) ↓	*% ↓	*% ↓	*% ↓
Zuschlagsfaktor sonstige Ausrüstung (7/VA)	*%	*%	*%

## 4 Kapital und Betriebskosten

### 4.1 Bewertung der Kapitalkosten

Bei der Frage, welcher Wertansatz für Investitionsgüter, in diesem Kontext bei der Konkretisierung der Investitionsparameter des Kapitels 3, zu wählen ist, werden in erster Linie zwei konkurrierende Ansätze diskutiert: zum einen der Anschaffungs- bzw. Herstellungswert zum Beschaffungszeitpunkt und zum anderen der Wiederbeschaffungszeitwert bzw. Tageswert als der Preis, der zum Bewertungszeitpunkt für die Erneuerung des vorhandenen Investitionsgutes durch ein modernes Gut gleicher Funktion und Qualität im Neuzustand<sup>10</sup>, 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 und der Ansatz der Anschaffungswerte daher leicht durchführbar ist, wurde (und wird) er von vielen Telekommunikationsunternehmen praktiziert. Solange auf den Märkten kaum Wettbewerb herrschte war ein solches Vorgehen aus Sicht des Unternehmens auch bei sinkenden Inputpreisen unproblematisch. Angesichts drohender oder bereits erfolgter Markteintritte ist ein Unternehmen dagegen gezwungen, seine Preise an geänderten Bewertungen auszurichten, wenn es nicht vom Markt verdrängt werden will.

Wenn die Preise für Anlagegüter dagegen inflationsbedingt steigen, verteuern sich Ersatzinvestitionen derart, dass sie über Outputpreise, die auf der Basis der Anschaffungskosten kalkuliert sind, nicht gedeckt werden können. Das zentrale Argument für die Ermittlung kalkulatorischer Abschreibungen anhand von Tagesneuwerten beruht in diesem Falle aus Unternehmenssicht auf der Forderung nach Substanzerhaltung.

Im Hinblick auf das Ziel der hier vorzunehmenden Kostenanalyse ist das entscheidende Argument gegen die Bewertung von Anlagen auf Anschaffungskostenbasis jedoch darin zu sehen, dass es im deutlichen Widerspruch zur regulatorisch verlangten zukunftsgerichteten Kostenermittlung steht. Ziel der regulatorischen Intervention in die Preissetzung ist es, Nachfrager nach Zusammenschaltung mit den Kosten (d.h. bewertetem Ressourcenverzehr) zu belasten, die sie durch ihre Angebotspolitik im Endkundenbereich verursachen. Derart kostenorientierte, d.h. aktuelle Knappheitsrelationen widerspiegelnde Entgelte setzen die ökonomisch richtigen Anreize für Investitionen in eigene Infrastruktur<sup>11</sup>. In diesem Sinne korrespondiert mit der Ermittlung zukunftsgerichteter

---

<sup>10</sup> In der angelsächsischen Literatur wird hierfür der Begriff des "modern equivalent asset" (MEA) verwendet.

<sup>11</sup> Vgl. hierzu Oftel: "Long run incremental cost is a forward looking concept and so would be reflected more accurately by the use of current cost accounting (CCA) rather than historic cost accounting (HCA). [...] Operators would be encouraged to set efficient retail prices if they could purchase a major input (interconnection) at a charge that was set by reference to the cost of the resources consumed by

Kosten die Bewertung des produktionsnotwendigen Anlagevermögens zu Wiederbeschaffungszeitwerten.

## 4.2 Abschreibung

Zweck der Ermittlung von Abschreibungen auf Gegenstände des Anlagevermögens ist die möglichst verursachungsgerechte Allokation von "Periodengemeinkosten"<sup>12</sup>. Zu klären ist in diesem Zusammenhang, über welchen Zeitraum das Investitionsgut abzuschreiben ist und mit welcher Abschreibungsmethode eine möglichst verursachungsgerechte Kostenallokation erreicht werden kann.

### 4.2.1 Bemessung des Abschreibungszeitraums

Im Sinne des hier vertretenen wertmäßigen bzw. kalkulatorischen Ansatzes der Kostenermittlung ergibt sich bei der Bestimmung des Zeitraums, über den ein Investitionsgut abzuschreiben ist, ein nicht leicht zu lösendes Prognose-Problem. Denn es sind bei der Abschätzung der voraussichtlichen Nutzungsdauer eines Investitionsgutes die Entwicklungen bei einer Reihe von unterschiedlichen Einflussfaktoren zu berücksichtigen.

Zunächst einmal ist der technische und zeitliche Verschleiß des Gutes relevant, d.h. es ist eine Aussage darüber zu treffen, wann das Gut abnutzungs- bzw. altersbedingt aus dem Produktionsprozess ausscheiden wird. Die Nachfrageentwicklung bei den produzierten Gütern ist einzubeziehen, da ein Rückgang der Nachfrage zum Abbau von Produktionskapazitäten führen kann. Des weiteren ist zu berücksichtigen, dass der technische Fortschritt dazu führen kann, dass zur Senkung der laufenden Produktionskosten bestehende Anlagen frühzeitig durch neue ersetzt werden. Die Entwicklung dieser und ggf. weiterer relevanter Einflussfaktoren ist somit über mehrere Jahre im voraus abzuschätzen, um ein realistisches Urteil über die voraussichtliche Nutzungsdauer des Investitionsguts abgeben zu können.

Um dieses Prognose-Problem umgehen zu können, aber auch aus anderen Gründen (Vorsichtsmotiv, möglichst geringe Abweichung der internen von der externen Rechnungslegung, etc.) übernehmen viele Unternehmen die in der Bilanz angesetzten Nutzungsdauern in den Bereich der Kostenrechnung. Hierzu ist jedoch anzumerken, dass die bilanziellen Wertansätze steuer- und handelsrechtlichen Vorschriften unterliegen

---

its provision. Since replacement costs would be the costs faced by a new entrant, signals would be given to encourage efficient entry into and exit from interconnection services, if the incumbent's interconnection charges were set on the basis of forward looking costs." (Ofel, 1995, S. 19)

<sup>12</sup> Vgl. Hummel/Männel (1990b, S. 182): "Periodengemeinkosten sind solche Kosten (oder besser gesagt: Ausgaben), die für die Leistungen oder die Betriebsbereitschaft von zwei oder mehreren Perioden gemeinsam entstehen und daher auch bei Anwendung bester Erfassungsmethoden nicht direkt diesen einzelnen Zeitabschnitten zugerechnet werden können."

und in der Regel auf von den Finanzverwaltungen herausgegebenen Richtlinien basieren, in denen für verschiedene Branchen und Anlagekategorien die "betriebsgewöhnlichen" Nutzungsdauern vorgegeben werden. Bei einer Übernahme der bilanziellen Werte in die Kostenrechnung wird somit der bei der Erstellung der Bilanz vorherrschende Zweck des Schutzes der Kapitalgeber auf die kalkulatorische Rechnung übertragen. Da diesem Zweck entsprechend die Nutzungsdauern der Anlagegüter in der Bilanz unter Vorsichtsaspekten eher kurz bemessen werden, wird die tatsächliche Dauer im Durchschnitt unterschätzt.<sup>13</sup> Der Ansatz der bilanziellen Nutzungsdauern in der Kostenrechnung ist somit kritisch zu sehen. Um die tatsächliche wirtschaftlich-technische Nutzungsdauer der Anlagen abschätzen zu können, müssen folglich Prognosen über die Entwicklung der Einflussfaktoren angestellt werden. Ein Vergleich mit Festlegungen, die in internationalen Regulierungsverfahren gemacht worden sind, ist in diesem Zusammenhang ohne Zweifel hilfreich.

Es ist offensichtlich, dass die Festlegung der erwarteten ökonomischen Nutzungsdauer nie zu objektiv "richtigen" Ergebnissen führen kann, sondern stets Werturteile enthalten muß. Diese Urteile sind im Verfahren transparent darzustellen und sollten einer offenen Diskussion zugänglich gemacht werden.

#### 4.2.2 Abschreibungsmethode

Bei der Diskussion der Abschreibungsmethoden beschränken wir uns auf die lineare und die ökonomische Abschreibung. Die lineare Abschreibung ist relevant für Kostenbetrachtungen insbesondere aufgrund ihrer einfachen Anwendbarkeit. Die Annahme einer gleichmäßigen Verteilung des Wertverzehrs über die gesamte Nutzungsdauer mag darüber hinaus für das einzelne Anlagegut unrealistisch sein, kann aber über alle Güter einer Klasse dennoch akzeptable Ergebnisse liefern. Die Annahme gleicher Abschreibungsbeträge ist sinnvoll und gerechtfertigt, vor allem dann, wenn Wissen über die tatsächliche Verteilung des Wertverzehrs nicht vorliegen. Die ökonomische Abschreibung wird dagegen als die Methode angesehen, die die Wertentwicklung eines Anlagegutes am realistischsten wiedergibt. Aufgrund der hohen Informationsanforderungen ist diese Methode jedoch in der Regel nur mit einer Reihe von Vereinfachungen anwendbar.

##### 4.2.2.1 Lineare Abschreibung

Die lineare Abschreibung, bei der der Abschreibungsprozentsatz über die Nutzungsdauer hinweg konstant bleibt, ist die gebräuchlichste Abschreibungsmethode. Wie das

---

<sup>13</sup> Vgl. Männel (1997, S.7).

Beispiel A in Tabelle 9 zeigt, führt sie zu jährlichen Abschreibungsbeträgen, die unter der Annahme, dass es keine Preisänderungen gibt, ebenfalls konstant sind.

**Tabelle 9: Lineare Abschreibung<sup>14</sup>**

Investition	1000,00						
Nutzungsdauer	10						
Abschreibungssatz	10%						
Jahr	A: Tageswert bei Inflation von 0%	Abschreibungsbetrag	B: Tageswert bei Inflation von 4 %	Abschreibungsbetrag	C: Tageswert bei Deflation von 2 %	Abschreibungsbetrag	
1	1000,00	100,00	1040,00	104,00	980,00	98,00	
2	1000,00	100,00	1081,60	108,16	960,40	96,04	
3	1000,00	100,00	1124,86	112,49	941,19	94,12	
4	1000,00	100,00	1169,86	116,99	922,37	92,24	
5	1000,00	100,00	1216,65	121,67	903,92	90,39	
6	1000,00	100,00	1265,32	126,53	885,84	88,58	
7	1000,00	100,00	1315,93	131,59	868,13	86,81	
8	1000,00	100,00	1368,57	136,86	850,76	85,08	
9	1000,00	100,00	1423,31	142,33	833,75	83,37	
10	1000,00	100,00	1480,24	148,02	817,07	81,71	
Gesamtabschreibung	1000,00			1248,64		896,34	

Die Rechenbeispiele B und C zeigen, dass sich aufgrund der Anwendung des Tageswertprinzips bei Inflation und Deflation im Falle von Stichtagsberechnungen jährliche Änderungen der Abschreibungsbeträge ergeben. Weiterhin zeigen diese Beispiele, dass die Summe der Abschreibungsbeträge weder mit dem ursprünglichen Investitionsbetrag noch mit dem Tageswert am Ende der Nutzungsdauer übereinstimmt.

Im Inflationsfall B liegt der Wert der Gesamtabschreibung (1.248,64 EUR) unter dem Tageswert zum Ersatzzeitpunkt (1.480,24 EUR). Es könnte sich somit der Einwand ergeben, dass die Abschreibung auf den jeweiligen Tageswert (Wiederbeschaffungswert) hier nicht das Ziel der Substanzerhaltung erfüllt und dass daher eigentlich auf den Wiederbeschaffungswert zum Ersatzzeitpunkt im Jahr 10 abzuschreiben sei. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass das Unternehmen durch die Wiederanlage der erwirtschafteten Abschreibungsgegenwerte bis zum Ersatzzeitpunkt Zins- und Zinseszinserträge erzielen kann. Distler/Männel (1997, S. 48) zeigen auf, dass unter bestimmten - nicht unrealistischen - Bedingungen, "... für die kontinuierliche Reinvestitionstätigkeit nicht der Ansatz von am Wiederbeschaffungspreis des tatsächlichen Ersatzzeitpunktes orientierten Abschreibungen notwendig ist, sondern eine *tagesneuwertorientierte Abschreibungsbemessung* ausreicht."

<sup>14</sup> Dieses und alle folgenden Rechenbeispiele basieren auf der Anwendung des Tageswertprinzips. Es wird unterstellt, dass der Restwert des Investitionsgutes am Ende der Nutzungsdauer (Schrottwert) vernachlässigbar klein ist.

Im Deflationsfall C liegt der Wert der Gesamtabschreibung (896,34 EUR) unter der ursprünglichen Investitionssumme von 1.000,- EUR, jedoch über dem Tageswert zum Ersatzzeitpunkt (817,07), so dass auch hier die Substanzerhaltung sichergestellt ist.

Wie bei der Diskussion der Frage Nominal- vs. Realverzinsung in Abschnitt 4.4.3 und bei der Darstellung des integrierten Ansatzes in Abschnitt 4.5 aufgezeigt wird, relativiert sich der Effekt von Preisänderungen auf die Kapitalkosten, wenn nicht nur die Abschreibungs- sondern auch die Verzinsungskomponente betrachtet wird. Der dort verfolgte Ansatz der Realverzinsung führt zu einer geringeren Zinsbelastung im Inflationsfall und zu einer höheren im Deflationsfall.

#### 4.2.2.2 Ökonomische Abschreibung

Nach der ökonomischen oder auch Ertragswertabschreibung<sup>15</sup> wird der jährliche Abschreibungsbetrag aus der Differenz zwischen dem Kapitalwert des Anlagegutes zu Beginn und am Ende der Periode berechnet. Bei Oftel<sup>16</sup> wird der Kapitalwert, d.h. der ökonomische Wert eines Anlagegutes als der Preis gesehen, zu dem ein neuer Wettbewerber das Gut unter Berücksichtigung seines bestehenden (Rest-) Potentials kaufen würde. Aus der Definition des Kapitalwerts als der Summe der zu erwartenden Einnahmenüberschüsse aus der Nutzung des Anlagegutes, abdiskontiert auf den jeweiligen Zeitpunkt, ergeben sich zwei wesentliche Konsequenzen für die Ermittlung der Abschreibungsbeträge. Zum einen folgt daraus, dass in die Berechnungen alle relevanten Einflussfaktoren auf den ökonomischen Wert des Gutes einzubeziehen sind. D.h. insbesondere die folgenden Faktoren sind zu berücksichtigen:<sup>17</sup>

---

<sup>15</sup> Vgl. Schneider (1992, S. 220ff).

<sup>16</sup> Oftel (1996, S. 57).

<sup>17</sup> Vgl. Oftel (1996, S. 58).

- *Die Entwicklung der laufenden Kosten (Betriebskosten) des Anlagegutes*  
Eine Erhöhung der Betriebskosten führt zu einer Senkung der zu erwartenden Einnahmenüberschüsse und somit zu einer beschleunigten ökonomischen Abschreibung. Eine Kostenverringerung führt entsprechend zu niedrigeren Abschreibungsbeträgen.<sup>18</sup>
- *Die relevante Diskontrate*  
Eine erhöhte Diskontrate verringert, ceteris paribus, den Kapitalwert und erhöht somit den Abschreibungsbetrag.
- *Die Entwicklung des Wiederbeschaffungswertes*  
Der Wiederbeschaffungspreis des Anlagegutes mit äquivalenter Technologie wird, abgesehen von der allgemeinen Preisentwicklung, insbesondere von technologischen Entwicklungen abhängen. Ein schneller technischer Fortschritt wird zu sinkenden Preisen und zu einer beschleunigten ökonomischen Abschreibung führen.
- *Die Produktivitätsentwicklung*  
Die sinkende Produktivität eines Anlagegutes kann verbunden sein mit einer verringerten Outputkapazität oder einem erhöhten Verbrauch an Inputs. In beiden Fällen sinkt der ökonomische Wert und es erhöht sich der Abschreibungsbetrag.
- *Der Alterungsprozess*  
Dieser Prozess kann technisch bedingt sein und geht dann in der Regel einher mit einer sinkenden Produktivität. Er kann aber auch dadurch verursacht sein, daß die Preise substitutiver Güter sinken. Z.B. würde eine Preissenkung im Straßen- oder Luftverkehr zu einer beschleunigten Abschreibung von Bahnanlagen führen.
- *Die Nachfrageentwicklung*  
Nicht nur die Preisentwicklung bei substitutiven Gütern, sondern die Nachfrageentwicklung allgemein ist ein entscheidender Parameter der ökonomischen Abschreibung. Nachfragerückgänge führen zu sinkenden Einnahmen und Einnahmeerwartungen und somit zu erhöhten Abschreibungen.

Die zweite wesentliche Konsequenz und somit auch wesentliche Unterschied zu den zuvor dargestellten Abschreibungsmethoden besteht darin, daß man bei einer strengen Anwendung des Konzepts der ökonomischen Abschreibung die jeweiligen Abschreibungsbeträge nicht über mehrere Jahre im voraus, sondern nur von Jahr zu Jahr neu berechnen kann. Dies liegt darin begründet, dass die Entwicklung sämtlicher oben genannter Einflussfaktoren jährlich erneut abzuschätzen und in die Kapitalwertermittlung einzubeziehen ist.<sup>19</sup>

---

<sup>18</sup> Bei den folgenden Faktoren wird jeweils nur der abschreibungserhöhende Effekt dargestellt.

<sup>19</sup> Staff Subcommittee on Depreciation (1998, S. 4).

In der nachstehenden Tabelle 10 sind Beispielrechnungen von ökonomischer Abschreibung in den Fällen steigender und fallender Erlöse dargestellt. Es wird in der Rechnung davon ausgegangen, dass sich bei den Annahmen an die Einflussfaktoren über die Nutzungsdauer hinweg kein Anpassungsbedarf ergibt, dass also insbesondere die Erlösentwicklung über die fünf Jahre hinweg exakt prognostizierbar ist.

Tabelle 10: Ökonomische Abschreibung

Investition		1000										
Nominaler Zinssatz		8%										
Fall A: Steigende Erlöse												
Gegenwartswert der Erlöse in												
Jahr	Erlös	Lfd. Kosten	Überschuß	Diskontfaktor	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	Jahr 4	Jahr 5	Kapitalwert	Ökon. Abschr.	
1	300	250,00	50,00	1,00	50,00					1011,83	-26,95	
2	400	250,00	150,00	1,08	138,89	150,00				1038,77	78,90	
3	500	250,00	250,00	1,17	214,33	231,48	250,00			959,88	193,21	
4	600	250,00	350,00	1,26	277,84	300,07	324,07	350,00		766,67	316,67	
5	700	250,00	450,00	1,36	330,76	357,22	385,80	416,67	450,00	450,00	450,00	
					1011,83	1038,77	959,88	766,67	450,00		1011,83	
Fall B: Fallende Erlöse												
Gegenwartswert der Erlöse in												
Jahr	Erlös	Lfd. Kosten	Überschuß	Diskontfaktor	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	Jahr 4	Jahr 5	Kapitalwert	Ökon. Abschr.	
1	700	250,00	450,00	1,00	450,00					1144,24	394,46	
2	600	250,00	350,00	1,08	324,07	350,00				749,77	318,02	
3	500	250,00	250,00	1,17	214,33	231,48	250,00			431,76	235,46	
4	400	250,00	150,00	1,26	119,07	128,60	138,89	150,00		196,30	146,30	
5	300	250,00	50,00	1,36	36,75	39,69	42,87	46,30	50,00	50,00	50,00	
					1144,24	749,77	431,76	196,30	50,00		1144,24	

Die Beispiele zeigen, dass sich der Abschreibungsverlauf der Entwicklung der mittels des Investitionsguts generierten Erlöse anpasst. Bei steigenden Erlösen nimmt die ökonomische Abschreibung zu, bei fallenden nimmt sie ab. Im Fall A ist im ersten Jahr sogar statt einer Abschreibung eine Zuschreibung erforderlich, was auf den Effekt einer verringerten Diskontierung der Erlöse im Jahr 2 zurückzuführen ist.

Unter dem Aspekt einer möglichst verursachungsgerechten Kostenzurechnung ist die ökonomische Abschreibung 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 (degressive Abschreibung) oder zunehmenden (progressive Abschreibung) Jahresraten abgibt. Leistungsschwankungen im Zeitablauf, die beispielsweise durch Nachfrageveränderungen ausgelöst sein können, werden so nicht erfasst. Zum anderen würde von einer starren linearen, degressiven oder progressiven Abschreibung nicht erfasst, dass ein Investitionsgut aufgrund einer technischen Neuentwicklung unerwartet früh veralten kann, wodurch sich sowohl seine Restnutzungsdauer als auch sein Ertragswert verringern würde. Des weiteren kann bei einer konsequenten Anwendung des Konzepts der ökonomischen Abschreibung nie der Fall eintreten, daß ein Investitionsgut länger als prognostiziert genutzt wird. Das in Abschnitt 4.2.1 diskutierte Prognoseproblem könnte demnach nicht entstehen.

Es ist also festzustellen, dass die ökonomische Abschreibung als die Abschreibungsmethode anzusehen ist, die am ehesten in der Lage ist, für eine verursachungsgerechte Zuordnung der Anlagenkosten auf die Jahre der Nutzungsdauer zu sorgen, da nur bei

Anwendung dieser Methode alle relevanten Einflüsse auf die Höhe der Kapitalkosten berücksichtigt werden. Des weiteren kann sichergestellt werden, dass sich aus der Addition der Kapitalwerte der einzelnen Anlagegüter der richtige Gesamtkapitalbestand ergibt, was wiederum die in Abschnitt 4.4.1 angesprochenen Implikationen für die Bestimmung der Kapitalstruktur hat.

Der wesentliche Nachteil der ökonomischen Abschreibung ergibt sich daraus, dass sie sehr hohe Datenanforderungen stellt. Wie oben dargestellt, müssen bei konsequenter Anwendung der Methode für jedes einzelne Anlagegut die genannten Einflussgrößen (zukünftige Preisentwicklung, Entwicklung der Nachfrage, technischer Fortschritt, etc.) über die gesamte Restnutzungsdauer hinweg jährlich neu abgeschätzt und in die Berechnungen einbezogen werden.

Der in Abschnitt 4.5 vorgestellte integrative Ansatz bietet hier jedoch eine pragmatische Lösung, die auf der – bei weitgehend wettbewerblich strukturierten Anbietermärkten nicht unrealistischen – Annahme basiert, dass diese Einflussgrößen in den jeweiligen Tagespreisen der Investitionsgüter und in der zu erwartenden Preisentwicklung zu großen Teilen bereits berücksichtigt sind.

### 4.3 Kalkulatorische Verzinsung

Zinsen auf das eingesetzte Kapital werden in der Kostenrechnung generell kalkulatorisch angesetzt. Dies liegt darin begründet, dass - nicht wie im externen Rechnungswesen - nur Zinsen auf das Fremdkapital verrechnet werden, sondern dass auch Zinsen auf das eingesetzte Eigenkapital als Kostenbestandteil anzusehen sind. Dieser Überlegung liegt ein Opportunitätskosten-Argument 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 Zinssatz, der auf das gebundene betriebsnotwendige Anlagevermögen anzuwenden ist, ergibt sich als mit der Kapitalstruktur gewogenes Mittel des Eigen- und des Fremdkapitalzinssatzes. Dieser Ansatz wird als Weighted Average Cost of Capital (WACC) bezeichnet.

#### 4.3.1 Eigenkapitalverzinsung

Aus einem pagatorischen Kostenverständnis heraus ist der Ansatz von Eigenkapitalzinsen in der Kostenrechnung nicht zulässig, da sie weder in der Vergangenheit, noch in der Zukunft konkret mit Auszahlungen verbunden sind. Die tatsächlich erzielte Verzinsung des Eigenkapitals tritt im handels- und steuerrechtlichen Jahresabschluss als Ge-

winn auf, ihr Kostencharakter wird daher vielfach bestritten.<sup>20</sup> Dass Eigenkapitalzinsen in einer kalkulatorischen Rechnung im Sinne des hier vertretenen Kostenbegriffs dennoch anzusetzen sind, kann aus einem Opportunitätskostenkalkül heraus begründet werden. Es ist sicherzustellen, dass der Eigenkapitalgeber einen Ausgleich dafür erhält, dass ihm die bei einer alternativen Anlage gleichen Risikos erzielbare Rendite entgeht. Vielfach wird der kalkulatorische Zinssatz daher auch als geforderte Mindestrendite definiert.<sup>21</sup>

Die Eigenkapitalzinsen werden von den Kapitalgebern sowohl in Form von ausgeschütteten Gewinnen als auch in Form von Kursgewinnen bei den Unternehmensanteilen realisiert. Die Ermittlung ihrer Höhe ist allerdings keine leichte Aufgabe, die Gegenstand intensiver Diskussionen in der modernen Finanzierungstheorie ist. Schulze (1994, S. 167) stellt fest, dass es hierfür keinen allgemein akzeptierten Ansatz gibt. Die beiden gebräuchlichsten Ansätze, das Capital Asset Pricing Model (CAPM) und das Dividendenwachstums-Modell (englisch: "Dividend Growth Model" - DGM) werden im folgenden kurz dargestellt.

#### 4.3.1.1 Das Capital Asset Pricing Model (CAPM)

Das CAPM, das in seiner ursprünglichen Fassung in voneinander unabhängigen Arbeiten von Sharpe (1964), Lintner (1965) und Mossin (1966) entwickelt wurde, ist ein Gleichgewichtsmodell, das die Preisbildung von risikobehafteten Wertpapieren auf einem vollkommenen Kapitalmarkt erklärt. Es wird gezeigt, dass unter bestimmten restriktiven Annahmen im Gleichgewicht ein linearer Zusammenhang zwischen Rendite und Risiko einer Anlage besteht. Obwohl die getroffenen Annahmen in der Realität zumeist nicht erfüllt sind, ist das CAPM im Laufe der Jahre unter den Theoretikern und Praktikern sehr populär geworden, weil der aufgezeigte Rendite-Risiko-Zusammenhang eine überzeugende Erklärungshypothese über die Preisbildung auf dem Kapitalmarkt bei rationalem Anlageverhalten zu liefern scheint.

Nach dem CAPM gilt im Kapitalmarktgleichgewicht die folgende Gleichung:

$$r_i = r_{rf} + \beta_i (r_M - r_{rf}) \quad (35)$$

mit:

$r_i$	erwartete Rendite des Wertpapiers (der Aktie) $i$
$r_{rf}$	Zinssatz einer risikofreien Anlage
$\beta_i$	Systematisches Risiko des Wertpapiers $i$
$r_M$	erwartete Rendite eines Marktportefeuilles

<sup>20</sup> Vgl. z.B. Männel (1998, S. 84ff).

<sup>21</sup> Vgl. z.B. Schulze (1994, S. 16f).

Nach dieser Gleichung setzt sich die erwartete Rendite eines Wertpapiers aus dem Zinssatz einer sicheren Anlage und einer Risikoprämie zusammen. Die Prämie bemisst sich dabei nicht nach der gesamten Streuung der erwarteten Erträge, sondern nur nach dem Teil der Renditeschwankungen, der nicht diversifiziert werden kann, dem systematischen Risiko. Bei gegebenem Zinssatz der risikofreien Anlage und gegebener Marktrendite ist die geforderte Rendite somit nur von der Korrelation der erwarteten Rendite mit der des Marktportefeuilles abhängig, wie die folgende Gleichung zur Messung von Beta zeigt:

$$\beta_i = \frac{\text{cov}(\tilde{r}_i, \tilde{r}_M)}{\sigma(\tilde{r}_M)} \quad (36)$$

mit:

cov	Kovarianz
$\tilde{r}_i$	Zufallsrendite des Wertpapiers $i$
$\tilde{r}_M$	Zufallsrendite des Marktportefeuilles
$\sigma(\tilde{r}_M)$	Varianz der Marktrendite

Der Faktor Beta gibt somit die durchschnittliche Reagibilität eines Wertpapiers in bezug auf die Marktentwicklung an. Das systematische Risiko lässt sich mit gesamtwirtschaftlichen Einflussfaktoren erklären, denen alle Titel des Marktes, wenn auch in unterschiedlichem Maße, ausgesetzt sind.

Beta-Faktoren großer börsengehandelter Aktiengesellschaften werden regelmäßig in der Wirtschaftspresse veröffentlicht. Bei der Festlegung eines Betas für die TA müssten internationale Vergleichswerte für Telekommunikationsunternehmen herangezogen werden.

Das systematische Risiko bezieht sich auf das gesamte Unternehmen. Für regulatorische Zwecke erscheint es sinnvoll, geschäftsbereichsspezifische Beta-Werte zu ermitteln, da die regulierten Unternehmen oftmals in ihren verschiedenen Geschäftsbereichen mit durchaus unterschiedlichen Risiken konfrontiert sein können. Im Telekommunikationssektor ist es ein übliches Phänomen, dass der etablierte Anbieter sowohl auf weitgehend wettbewerblich strukturierten Märkten, als auch auf solchen Märkten agiert, auf denen er eine marktbeherrschende Stellung innehat. Gewöhnlich ist davon auszugehen, daß sich für die Geschäftsbereiche im Wettbewerb ein höheres Risiko und damit auch ein höherer Beta-Wert ergibt. Bei der Ermittlung bereichsspezifischer Beta-Werte sind die folgenden Vorgehensweisen denkbar

- Rückgriff auf Referenzdaten vergleichbarer Unternehmen oder Branchen,
- Qualitative Verfahren wie die Befragung des Managements des betreffenden Geschäftsbereichs oder die Durchführung einer Strukturanalyse.

Die Eignung des CAPM zur Ermittlung von Eigenkapitalkosten wurde in den letzten Jahren mehrfach und teilweise vehement bestritten. Zum einen wurde kritisiert, daß es sich um eine einperiodige Bewertungstheorie zur Berechnung von Gleichgewichtsrenditen handelt, während realwirtschaftliche Investitionen typischerweise längerfristig sind. Eine mehrperiodige Anwendung des CAPM würde aber zusätzliche Prämissen erfordern.<sup>22</sup> Von Roll (1977, S. 130ff) wird kritisiert, dass das zugrundeliegende Marktportfolio theoretisch alle Anlagemöglichkeiten und nicht nur die börslich gehandelten Aktien enthalten müsste. Des weiteren wurden sogenannte "Anomalien" entdeckt, das heißt, Rendite-Risiko-Strukturen, die nicht mit dem CAPM vereinbar sind. Es wurden verschiedene Faktoren ermittelt, die eine hohe Korrelation zu den Renditen einzelner Aktien aufweisen. Nach Sach (1995, S. 119) sind die bekanntesten Anomalien der Größeneffekt, nach dem kleinere Unternehmen signifikant höhere Renditen aufweisen als größere, der Januar-Effekt, demzufolge die Aktienrenditen im Januar signifikant höher als in den übrigen Monaten sind, und der P/E-Effekt, nach dem Aktien mit einer hohen Price-Earning-Ratio niedrigere Renditen erwarten lassen. Fama/French (1992) weisen nach, dass das CAPM nicht die reale Preisbildung auf dem Kapitalmarkt beschreibt, sondern dass nach ihren Ergebnissen der Beta-Faktor, wenn überhaupt, nur eine schwache Kraft zur Erklärung von Renditeunterschieden besitzt. Zusammenfassend urteilt Sach (1995, S. 120): "Diese Ergebnisse machen somit die Verwendung des CAPM selbst als eine heuristische Methode überflüssig."

Daß das CAPM trotz dieser langen Liste theoretischer und empirischer Schwächen nach wie vor in der Praxis eine große Bedeutung besitzt, ist wohl damit zu erklären, daß es ein relativ einfaches Modell ist, das auf wenigen Parametern basiert, die sich zudem mit einem relativ geringen Aufwand empirisch feststellen und nachprüfen lassen. Aus Sicht der in dieser Studie vertretenen zukunftsgerichteten Kostenermittlung ist jedoch anzumerken, dass sich der Aufwand erheblich erhöht, wenn statt der zumeist herangezogenen beobachteten Vergangenheitswerte Prognosewerte für die Zukunft zu ermitteln sind. Oftmals kann dann als pragmatische Alternative nur auf aktuelle (d.h. vergangenheitsbezogene) Werte zurückgegriffen werden.

In der Telekommunikationsregulierung wurde das CAPM zuletzt von Oftel (1995) zur Bestimmung des BT-Eigenkapitalkostensatzes herangezogen und von Opta (1998) zum gleichen Zweck bei KPN Telecom eingesetzt.

#### 4.3.1.2 Das Dividendenwachstums-Modell (DGM)

Das Dividendenwachstums-Modell (DGM)<sup>23</sup> beruht darauf, daß der Kurs eines Wertpapiers als Barwert eines Nettozahlungsstromes über alle zukünftigen Perioden interpre-

---

<sup>22</sup> Vgl. Sach (1995, S. 118).

<sup>23</sup> In der US-amerikanischen Literatur wird dieser Ansatz zumeist als Discounted Cash Flow Modell bezeichnet.

tiert werden kann. Der Eigenkapitalkostensatz entspricht dann dem internen Zinsfuß dieser Barwertrechnung. Zur Anwendung des DGM ist somit eine Prognose über alle vom Kapitalmarkt erwarteten Dividenden bis zum unbestimmten Liquidationszeitpunkt des Unternehmens erforderlich. Da eine solche Prognose natürlich für weit in der Zukunft liegende Perioden kaum möglich ist, müssen vereinfachende Annahmen getroffen werden. Die einfachste Variante des DGM geht von konstanten Dividenden und konstanten Kapitalkosten in allen zukünftigen Perioden aus.

Andere Varianten basieren auf der realistischeren Annahme, dass die Dividende kontinuierlich wächst oder dass sich zwei oder drei Phasen mit einer einheitlichen Dividendenentwicklung unterscheiden lassen. Es hat sich gezeigt, dass sich die empirisch festgestellten Eigenkapitalrenditen besser anhand des Modells auf der Basis der Annahme konstanten Wachstums erklären lassen.<sup>24</sup> Diese Annahme ermöglicht die Anwendung der sogenannten Gordon-Shapiro-Formel<sup>25</sup> unter der weiteren Voraussetzung, dass die konstante Wachstumsrate  $g$  niedriger ist als der Eigenkapitalkostensatz  $r_{EK}$ :

$$K_0 = \sum_{t=1}^{\infty} D_0 \frac{(1+g)^t}{(1+r_{EK})^t} = D_0 \frac{1+g}{r_{EK}-g} = \frac{D_1}{r_{EK}-g} \quad (37)$$

mit:

$K_0$       Aktueller Kurs  
 $D_0, D_1$     Aktuelle Dividende, Dividende in Periode 1  
 $g$           konstante Wachstumsrate der Dividende  
 $r_{EK}$         Eigenkapitalkostensatz, mit  $(r_{EK} > g)$

Die Umformung dieser Gleichung ergibt die Standardformel des DGM:

$$r_{EK} = \frac{D_1}{K_0} + g \quad (38)$$

Zur Bestimmung des kritischsten Parameters dieser Gleichung, der Wachstumsrate  $g$ , stellen Cornell/Hirshleifer/James (1997, S. 11) fest, dass in der Literatur ein zunehmender Konsens darüber festzustellen ist, dass zunächst Prognosen von Finanzanalysten herangezogen werden sollten, da in diesen Prognosen zumeist alle relevanten Informationen berücksichtigt sind. Das übliche Verfahren besteht hier darin, nicht die tatsächlich ausgeschüttete Dividende, sondern die prognostizierte Gewinnentwicklung als Schätzgröße für das Dividendenwachstum anzusetzen. Es ergibt sich dann jedoch das Problem, daß sich diese Prognosen selten auf einen Zeithorizont von mehr als 5 Jahren beziehen.

<sup>24</sup> Vgl. Sach (1995, S. 134f).

<sup>25</sup> Vgl. Gordon/Shapiro (1975, S. 56ff).

Zur Lösung dieses Problems schlagen Cornell/Hirshleifer/James das folgende pragmatische Vorgehen vor. Sie nehmen an, dass sich das langfristige Wachstum eines Unternehmens dem Wachstum der Gesamtwirtschaft im Laufe der Zeit anpassen wird. So setzen sie das prognostizierte Unternehmenswachstum für die ersten 5 Jahre an, greifen auf eine Schätzung des gesamtwirtschaftlichen Wachstums für die nächsten 25 Jahre zurück, von der sie annehmen, dass sie ab dem Jahr 20 mit der Unternehmenswachstumsrate übereinstimmt und in den dazwischenliegenden 15 Jahren unterstellen sie eine lineare Konvergenz an die gesamtwirtschaftliche Rate. Auf der Basis dieser Annahmen berechnen Cornell/Hirshleifer/James dann Eigenkapitalkostensätze für elf große amerikanische Telefongesellschaften.

Die Anwendbarkeit des DGM hängt, wie erwähnt, zentral davon ab, ob sichere Prognosen hinsichtlich der Wachstumsrate  $g$  möglich sind. Deutlich wird hier der Einfluß von Werturteilen bei der Festlegung des Zinssatzes: Prognosen über das zukünftige Dividendenwachstum geben, wenn sie vom Unternehmen selbst angestellt oder beeinflusst werden, den angestrebten Entwicklungspfad des Unternehmens wieder. Implizit wird damit eine Meßlatte für die vom Unternehmen realisierten Investitionsprojekte aufgelegt. Problematisch für Regulierungszwecke erscheint die Einflussmöglichkeit des Unternehmens auf die Erwartungsbildung. Hier muss der Regulierer eigene Einschätzungen über die Unternehmensentwicklung treffen und diese ggf. an die Stelle der Unternehmensauffassung setzen.

Unter Berücksichtigung dieser Aspekte kann das Modell, insbesondere unter dem Aspekt der Zukunftsorientierung, einen sinnvollen Beitrag zur Ermittlung des Eigenkapitalkostensatzes leisten. Seine Ergebnisse können schließlich mit denen des CAPM abgeglichen werden.

In der internationalen Regulierungspraxis wird die Relevanz des DGM unterschiedlich bewertet. Während es in den USA mehrfach angewendet wurde, insbesondere bei der Bestimmung des Kapitalkostensatzes für lokale Netzbetreiber durch die FCC im Jahre 1990<sup>26</sup>, wurde es von Oftel (1995, S. 25f.) in Großbritannien nur zu Vergleichszwecken und von der Opta in den Niederlanden gar nicht herangezogen.

#### 4.3.2 Fremdkapitalverzinsung

Zum Ansatz der Fremdkapitalverzinsung sind verschiedene Vorgehensweisen denkbar. Prinzipiell ist es möglich, Fremdkapitalzinsen pagatorisch oder kalkulatorisch zu ermitteln. Die pagatorische Ermittlung weist den Vorteil auf, dass direkt auf die entsprechende Aufwandsposition in der GuV zurückgegriffen werden kann. Die Fremdkapitalverzinsung ist somit transparent und überprüfbar zu ermitteln. Gegen den pagatorischen An-

---

<sup>26</sup> FCC (1990, S. 7507ff).

satz von Fremdkapitalzinsen spricht jedoch abermals die Forderung nach einer zukunftsorientierten Kostenermittlung. Die Bestimmung der Fremdkapitalzinsen aus den entsprechenden Positionen der Gewinn- und Verlustrechnung (GuV) entspricht einem historischen Ansatz, der im Widerspruch zur geforderten Forward-looking-Betrachtung steht.

Der Fremdkapitalzinssatz ist demnach zukunftsorientiert und insofern kalkulatorisch zu ermitteln. Es ist also eine Abschätzung darüber erforderlich, welchen Zinssatz das Unternehmen bei der Aufnahme von Fremdkapital zukünftig am Markt anbieten muss. Um den Fremdkapitalkostensatz mit größtmöglicher Genauigkeit zu ermitteln, müsste eigentlich so vorgegangen werden, daß ein durchschnittlicher Wert über alle Fremdkapitalkategorien (Lang-, mittel oder kurzfristige Verbindlichkeiten, Pensionsrückstellungen, sonstige Rückstellungen, etc.) ermittelt wird.<sup>27</sup> Dieses Verfahren ist jedoch gewöhnlich mit einem hohen Aufwand verbunden, da für jede einzelne dieser Kategorien der Anteil am gesamten Wert des Fremdkapitals und der relevante Zinssatz zu bestimmen ist.

Als pragmatische Alternative kann daher wie folgt vorgegangen werden: Das Fremdkapital wird generell nur in die zwei Kategorien, zinspflichtiges und unverzinsliches Fremdkapital, unterteilt. Auf den zinspflichtigen Teil wird ein einheitlicher Zinssatz angewandt, der auf die folgende Weise ermittelt wird<sup>28</sup>: Es wird der Zinssatz für risikolose Anlagen, d.h. insbesondere Anleihen der öffentlichen Hand, mit einer mittleren Laufzeit (etwa 5 Jahre) zugrunde gelegt. Zu diesem Satz wird eine Risikoprämie hinzuaddiert, die das Unternehmen als Abgleich für das spezifische Insolvenzrisiko in den zu bietenden Zinssatz einrechnen muss. Zur Quantifizierung dieser Prämie kann auf die Risikobewertung von Rating-Agenturen zurückgegriffen werden. Die Summe ergibt dann den einheitlichen Zinssatz für verzinsliches Fremdkapital. Die unverzinslichen Teile des Fremdkapitals werden zum sogenannten Abzugskapital zusammengefasst und mit dem Zinssatz Null eingerechnet.<sup>29</sup>

#### 4.4 Weitere Komponenten des gewogenen Gesamtkapitalkostensatzes

Nach der Ermittlung des Eigen- und des Fremdkapitalkostensatzes kann ein gewogener Gesamtkapitalkostensatz der Unternehmung - englisch: "Weighted Average Cost of Capital" (WACC) - in einfacher Form, d.h. ohne die Berücksichtigung von unverzinslichem Fremdkapital und von Steuern, nach der folgenden WACC-Formel berechnet werden:<sup>30</sup>

<sup>27</sup> Vgl. Sach (1995, S. 108ff) und Arbeitskreis "Finanzierung" (1996, S. 558ff).

<sup>28</sup> Vgl. Schulze (1994, S. 167).

<sup>29</sup> Auf die Behandlung des Abzugskapitals wird in Abschnitt 4.4.1 näher eingegangen.

<sup>30</sup> Vgl. bspw. Arbeitskreis "Finanzierung" (1996, S. 563).

$$r_{GK} = r_{EK} \left( \frac{EK}{GK} \right) + r_{FK} \left( \frac{FK}{GK} \right) \quad (39)$$

mit:

$r_{GK}$	Gesamtkapitalkostensatz
$r_{EK}$	Eigenkapitalkostensatz
$r_{FK}$	Fremdkapitalkostensatz
$\frac{EK}{GK}$	Eigenkapitalquote
$\frac{FK}{GK}$	Fremdkapitalquote

In den beiden folgenden Abschnitten wird diese Formel Zug um Zug weiterentwickelt.

#### 4.4.1 Bestimmung der Kapitalstruktur

Es sind somit zunächst Aussagen darüber zu treffen, auf welchen Wert sich das zugrundegelegende Gesamtkapital des Unternehmens beläuft und welche Anteile daran das Eigen- bzw. das Fremdkapital besitzen. Unstrittig ist in der Literatur, daß nicht einfach ohne jede weitere Umrechnung die Bilanzsumme und die entsprechenden Positionen auf der Passivseite der Bilanz herangezogen werden können. Denn bei einem solchen Vorgehen bliebe unberücksichtigt, dass viele Bilanzpositionen entweder nur mittelbar oder gar nicht mit der betrieblichen Leistungserstellung in Zusammenhang stehen.

Es sind nun zwei prinzipielle Ansätze möglich, die entsprechenden Größen zu ermitteln. Diese Ansätze werden hier als bilanzorientiert und kapitalmarktorientiert bezeichnet.<sup>31</sup>

Wie in Tabelle 11 gezeigt wird, besteht beim traditionellen bilanzorientierten Ansatz der erste Schritt darin, aus den entsprechenden Positionen der Aktivseite der Bilanz heraus das betriebsnotwendige Vermögen zu ermitteln. Von diesem wird das Abzugskapital subtrahiert, um zum betriebsnotwendigen Kapital zu gelangen.

---

<sup>31</sup> Bei konsequenter Anwendung der ökonomischen Abschreibung wäre noch ein dritter Ansatz denkbar. Danach würden für sämtliche Vermögensgegenstände und für sämtliche Fremdkapital-Positionen die jeweiligen Kapitalwerte ermittelt. Nach Aufaddition und Abzug der Schulden vom Vermögen ließe sich dann der Wert des Eigenkapitals bestimmen. Aufgrund der hohen Datenanforderungen bei einer detaillierten Kapitalwertermittlung (siehe Abschnitt 4.2.2.2) wird dieser Ansatz jedoch im folgenden nicht weiter betrachtet.

**Tabelle 11:** Bilanzorientierte Ermittlung des betriebsnotwendigen Kapitals

	Bilanzielles Anlagevermögen
	nicht bilanzierungsfähige immaterielle Vermögensgegenstände
	+ nicht bilanzielles Anlagevermögen
	ausstehende Einlagen
	ungenutzte Grundstücke
	vermietete, verpachtete Anlagen
	stillgelegte Anlagen
	nicht betriebsnotwendige Beteiligungen
	- $\Sigma$ nicht betriebsnotwendiges Anlagevermögen
	betriebsnotwendiges Anlagevermögen
	+ bilanzielles Umlaufvermögen
	überhöhte Vorratsbestände
	nicht betriebsnotwendige Wertpapiere des Umlaufvermögens
	überhöhte liquide Mittel
	Rechnungsabgrenzungsposten
	- $\Sigma$ nicht betriebsnotwendiges Umlaufvermögen
	+ betriebsnotwendiges Umlaufvermögen
	betriebsnotwendiges Vermögen
	zinsfreie Lieferantenkredite
	Kundenvorauszahlungen
	Pensionsrückstellungen
	- $\Sigma$ Abzugskapital
	betriebsnotwendiges Kapital

Quelle: Reiners (1997, S. 56).

Schließlich wird das betriebsnotwendige Kapital gemäß der EK/FK-Relation auf der Passivseite der Bilanz in betriebsnotwendiges Eigen- und Fremdkapital zerlegt, woraus sich dann die in die obige WACC-Formel einzustellenden Quoten ergeben.

Der kapitalmarktorientierte Ansatz, der u.a. vom Arbeitskreis "Finanzierung" (1996, S. 562ff) und insbesondere in der anglo-amerikanischen Literatur, z.B. Brealey/Myers (1996, S. 517), vertreten wird, besteht darin, dass der WACC-Berechnung nicht die Buch-, sondern die Marktwerte des Eigen- und Fremdkapitals zugrunde gelegt werden. Wenn, wie in den Abschnitten 4.3.1 und 4.3.2 dargestellt, der Fremd- und der Eigenkapitalzinssatz kapitalmarktorientiert ermittelt werden, dann ist es konsistent, bei der Bestimmung der Eigen- und Fremdkapitalanteile entsprechend vorzugehen. Unter diesem Aspekt ist der bilanzorientierte Ansatz hier abzulehnen.

Der Marktwert des Eigenkapitals kann, zumindest bei börsennotierten Unternehmen direkt beobachtet werden. Auch die zur Ermittlung des Marktwertes des Fremdkapitals erforderlichen Größen (Börsenkurse, Bankkonditionen, Emissionsangebote, Kontrakt-preise) sind in der Regel verfügbar.<sup>32</sup>

<sup>32</sup> Vgl. Sach (1995, S. 108ff).

Im kapitalmarktorientierten Ansatz ist das Abzugskapital anders zu behandeln als nach dem bilanzorientierten Ansatz. Es kann dann nicht, wie in Tabelle 11 dargestellt, von der Bemessungsgrundlage, dem Gesamtkapital, abgezogen werden, sondern muss bei der Bestimmung des Gesamtkapitalzinssatzes berücksichtigt werden. Dies kann, wie bereits in Abschnitt 4.3.2 erwähnt, in der Weise erfolgen, dass das Abzugskapital entweder bei der Bestimmung des gewichteten Fremdkapitalzinssatzes oder direkt in der WACC-Formel mit dem Zinssatz Null eingerechnet wird.

Hinsichtlich der Frage, welche Positionen der Bilanz zur Bestimmung des Abzugskapitals heranzuziehen sind, lässt sich aus der Literatur keine eindeutige Meinung ableiten. Unstrittig ist, dass zum Abzugskapital Verbindlichkeiten zählen, die nicht explizit mit Zinszahlungen verbunden sind.<sup>33</sup> Hierzu zählen insbesondere Verbindlichkeiten aus Lieferungen und Leistungen, bei denen Zinsen für die Zeit der Stundung gewöhnlich implizit im Beschaffungspreis des Lieferanten enthalten sind, und erhaltene Vorauszahlungen und Anzahlungen von Kunden, für die der Kunde in der Regel einen Preisnachlaß erhält. In beiden Fällen sind die impliziten Zinsanteile bereits in anderen Positionen der Kosten- und Erlösrechnung berücksichtigt und sollten daher bei der Kapitalkostensatzberechnung nicht in Ansatz gebracht werden, um eine doppelte Verrechnung zu vermeiden. Sonstige zinslos zur Verfügung stehende Verbindlichkeiten (z.B. aus Steuern und Sozialabgaben oder Darlehen aus öffentlichen Fördermitteln) sind ebenfalls dem Abzugskapital zuzurechnen.

Umstritten in der Literatur ist dagegen die Behandlung von Rückstellungen, die entweder in kurz- und langfristige Rückstellungen oder in Pensions- und sonstige Rückstellungen unterschieden werden. Das Problem bei der Behandlung der Rückstellungen besteht insbesondere darin, dass sie als Form der Innenfinanzierung keine expliziten Kapitalkosten und in der Regel eine ungewisse und vom Management nicht beeinflussbare Kapitalüberlassungsdauer aufweisen.<sup>34</sup>

Zur Lösung dieses Problems im Rahmen des hier vertretenen Ansatzes wird das folgende pragmatische Vorgehen vorgeschlagen: Zunächst ist festzustellen, ob Teile der Rückstellungen als derart ungewisse Verbindlichkeiten einzustufen sind, dass sie nicht als Rückstellung, sondern eher als Gewinn hätten ausgewiesen werden müssen. Solche "stillen Rücklagen" und ggf. auch, wie im vorangegangenen Absatz angeführt, ein dauerhafter Bodensatz von kurzfristigen Rückstellungen sollten dann als Eigenkapital verzinst werden. Die Pensionsrückstellungen sollten, falls die jährliche Aufzinsung nicht in den Personalkosten berücksichtigt ist, dem verzinslichen Fremdkapital zugerechnet werden. Andernfalls wären sie zusammen mit den verbleibenden Rückstellungen dem unverzinslichen Abzugskapital hinzuzuaddieren.

---

<sup>33</sup> Vgl. z.B. Reiners (1997, S. 58).

<sup>34</sup> Vgl. Schwetzler (1998, S. 684).

Bei der Bestimmung der Parameter der WACC-Formel ergibt sich des weiteren die Frage, ob die gegenwärtige oder ggf. eine zukünftige (Ziel-) Kapitalstruktur des Unternehmens zugrunde gelegt werden sollte. Im Sinne einer zukunftsgerichteten Kostenermittlung ist der Ansatz der Zielkapitalstruktur konsistent.<sup>35</sup> Wenn man diesen Ansatz verfolgt, sollte jedoch die Anreizstruktur des regulierten Unternehmens berücksichtigt werden. Das Unternehmen wird daran interessiert sein, durch den Ausweis einer möglichst hohen Eigenkapitalquote möglichst hohe Kapitalkosten nachweisen zu können, auf deren Grundlage dann die regulierten Preise gesetzt werden. Das Unternehmen besitzt demnach den Anreiz, zukünftige Erhöhungen der Eigenkapitalquote, etwa durch Kapitalerhöhung oder Senkung des Fremdkapitals, anzukündigen und sie in die Berechnungen der WACC-Formel einfließen zu lassen unabhängig davon, ob das Unternehmen die entsprechenden Maßnahmen dann tatsächlich durchführt. Wie bei anderen zu belegenden Parametern, sollte der Regulierer also auch hier vom regulierten Unternehmen den klaren Nachweis verlangen, ob und wann die kapitalstrukturverändernde Maßnahme vollzogen wird.

Aus den vorangegangenen Überlegungen ergibt sich die folgende modifizierte WACC-Formel:

$$r_{GK} = r_{EK} \left( \frac{EK}{GK} \right) + r_{FK} \left( \frac{FK_{VZ}}{GK} \right) + 0 \left( \frac{AK}{GK} \right) \quad (40)$$

mit:

$r_{GK}$  Gesamtkapitalkostensatz

$r_{EK}$  Eigenkapitalkostensatz

$r_{FK}$  Fremdkapitalkostensatz

$GK$  (Ziel-) Marktwert des Gesamtkapitals ( $GK=EK+FK_{VZ}+AK$ )

$EK$  (Ziel-) Marktwert des Eigenkapitals

$FK_{VZ}$  (Ziel-) Marktwert des verzinslichen Fremdkapitals

$AK$  (Ziel-) Marktwert des Abzugskapitals (= unverzinsliches Fremdkapital)

#### 4.4.2 Einfluss der Besteuerung

Insbesondere wenn Kapitalkosten als Renditeforderungen der Kapitalgeber interpretiert werden, zeigt sich die Wichtigkeit des steuerlichen Aspektes. Zwar braucht das Unternehmen die individuelle Steuersituation der einzelnen Kapitalgeber nicht zu berücksichtigen - abgesehen davon, dass es bei Publikumsgesellschaften aufgrund der Vielzahl der Anleger auch praktisch kaum möglich wäre -, da das individuelle Steuerkalkül in die einzelne Anlageentscheidung einbezogen wird und sich somit in den am Markt beobachtbaren Preisen niederschlägt. Das Unternehmen sieht sich jedoch der Frage gegen-

---

<sup>35</sup> Vgl. Arbeitskreis "Finanzierung" (1996, S. 562ff).

über, welchen Gewinn es vor Steuern erwirtschaften muß, um einen Fremdkapitalzins  $x$  oder eine zusätzliche Dividende  $y$  zahlen zu können. Schneider (1992, S. 241) spricht in diesem Zusammenhang von einer "steuerbedingten Mindestrenditenerhöhung"  $m$ , die auf die folgende Weise aus der effektiven Grenzsteuerbelastung  $s$  ermittelt werden kann:<sup>36</sup>

$$s = \frac{r_{vSt} - r_{nSt}}{r_{vSt}} \quad (41)$$

$$m = \frac{r_{vSt} - r_{nSt}}{r_{nSt}} = \frac{s}{1 - s} \quad (42)$$

mit:

$s$	effektive Grenzsteuerbelastung
$r_{vSt}$	Rendite vor Steuern
$r_{nSt}$	Rendite nach Steuern
$m$	steuerbedingte Mindestrenditenerhöhung

Direkt aus der Definitionsgleichung der effektiven Grenzsteuerbelastung ergibt sich der folgende Zusammenhang zwischen Vor- und Nach-Steuer-Rendite:

$$r_{vSt} = \frac{r_{nSt}}{1 - s} \quad (43)$$

Im Hinblick auf eine Erweiterung der WACC-Formel unter dem Aspekt der Besteuerung ist jedoch zu berücksichtigen, dass Eigenkapitalzinsen, d.h. die erwirtschafteten Gewinne, anderen steuerlichen Maßgaben unterliegen als Fremdkapitalzinsen. Gewöhnlich ist die effektive Grenzsteuerbelastung des Eigenkapitals höher als die des Fremdkapitals, falls die Fremdkapitalzinsen überhaupt der Ertragsbesteuerung unterliegen. Dies kann in der WACC-Formel dadurch berücksichtigt werden, daß die effektive Grenzsteuerbelastung von Eigen- und Fremdkapital in der folgenden Weise differenziert eingerechnet wird:

$$r_{GK,nom,vSt} = \frac{r_{EK,nSt}}{1 - s_{EK}} \left( \frac{EK}{GK} \right) + \frac{r_{FK,nSt}}{1 - s_{FK}} \left( \frac{FK_{VZ}}{GK} \right) + 0 \left( \frac{AK}{GK} \right) \quad (44)$$

---

<sup>36</sup> Bei der Ermittlung der Grenzsteuerbelastung sind nur die für das Unternehmen relevanten Ertragsteuern zu berücksichtigen. Andere Arten von Steuern, die unabhängig vom Gewinn bzw. von den gezahlten Zinsen anfallen, z.B. Substanzsteuern wie die Grund-, die Vermögen- oder die Gewerbesteuer, absatzbezogene Steuern wie die Mehrwertsteuer oder die Mineralölsteuer und sonstige Steuern, werden hier zu den sog. Kostensteuern gezählt, d.h. sie können direkt in der Kostenartenrechnung erfaßt werden.

mit:

$r_{GK,nom,vSt}$	nominaler Gesamtkapitalkostensatz vor Steuern
$r_{EK,nSt}$	Eigenkapitalkostensatz nach Steuern
$r_{FK,nSt}$	Fremdkapitalkostensatz nach Steuern
$s_{EK}$	effektive Grenzsteuerbelastung des Eigenkapitals
$s_{FK}$	effektive Grenzsteuerbelastung des verzinslichen Fremdkapitals
$GK$	(Ziel-) Marktwert des Gesamtkapitals
$EK$	(Ziel-) Marktwert des Eigenkapitals
$FK_{vz}$	(Ziel-) Marktwert des verzinslichen Fremdkapitals
$AK$	(Ziel-) Marktwert des Abzugskapitals (= unverzinsliches Fremdkapital)

Um die effektive Belastung konkret zu ermitteln, sind gemäß der jeweiligen Ausgestaltung des nationalen Steuerrechts die entsprechenden Einflußgrößen zu berücksichtigen.

#### 4.4.3 Nominal- vs. Realverzinsung

Die Frage, ob der Kapitaleinsatz des Unternehmens nominal oder real zu verzinsen ist, ist eng verknüpft mit dem verfolgten Ansatz bei der Bewertung der Kapitalgüter, d.h. mit der in Abschnitt 4.1 behandelten Frage, ob der Kostenermittlung Anschaffungs- oder Wiederbeschaffungspreise zugrunde gelegt werden. Nach Busse von Colbe (1995, S. 165) bestehen zwei alternative Ansätze, Preisniveausteigerungen in der Kalkulation gemäß dem Ziel der Substanzerhaltung zu berücksichtigen:

- nach dem *nominalen Ansatz* werden Abschreibungen auf der Basis der Anschaffungswerte vorgenommen und das zu Anschaffungspreisen bewertete Vermögen wird nominal verzinst,
- nach dem *realen Ansatz* erfolgen die Abschreibungen auf Tageswertbasis und das mit Tagespreisen bewertete Vermögen wird real verzinst.

In einem Zahlenbeispiel zeigt Busse von Colbe auf, daß die zu beobachtende Praxis, die Bewertung zu Tagespreisen mit einer Nominalverzinsung zu kombinieren, zu Kostenüberdeckungen führt. Dies läßt sich einfach daraus erklären, daß bei einem solchen Vorgehen die Inflationskomponente doppelt berechnet wird.

Swoboda (1996, S. 381) beweist, dass die beiden genannten Ansätze in dem Sinne äquivalent sind, als sie zum gleichen Kapitalendwert führen. Dies gilt allerdings nur unter den Voraussetzungen, dass die Inflationskomponente im Nominalzins mit der Preissteigerungsrate aller Wiederbeschaffungspreise identisch ist, dass die erwirtschafteten Gegenwerte der Abschreibungen und Zinsen kontinuierlich zum Nominalzins wiederangelegt werden und dass beide Ansätze steuerlich gleich behandelt werden.

Im Ergebnis ist jedoch festzuhalten, dass die Wahl zwischen Real- und Nominalzins konsistent zum verfolgten Ansatz bei der Kapitalgüterbewertung zu erfolgen hat. Wenn, wie in Abschnitt 4.1 dargestellt, entsprechend dem generellen Ansatz der zukunftsgerichteten Kostenermittlung die Bewertung nach dem Tageswertprinzip erfolgt, ergibt sich zwingend die Entscheidung für den Realzinssatz.

Der nach dem bisherigen Vorgehen ermittelte Gesamtkapitalkostensatz basiert jedoch durchgängig auf nominalen Größen, ist also ein nominaler Zinssatz, der somit in einen realen Satz zu überführen ist. Nach der bekannten Fisher-Gleichung<sup>37</sup> besteht zwischen realer und nominaler Verzinsung der folgende Zusammenhang:

$$r_{nom} = (1 + r_{real})(1 + \pi) - 1 = r_{real} + \pi + r_{real} \cdot \pi \quad (45)$$

mit:

$r_{nom}$  nominaler Zinssatz  
 $r_{real}$  realer Zinssatz  
 $\pi$  Inflationsrate

Aus Gründen der Vereinfachung und unter der Annahme, dass weder die Zinssätze noch die Inflation Werte annehmen, die weit über 10 % hinausgehen, wird das Produkt  $r_{real} \cdot \pi$  oftmals vernachlässigt, so dass sich nach Umformung der Gleichung der reale Zinssatz einfach als nominaler Satz abzüglich Inflation ergibt:

$$r_{real} = r_{nom} - \pi \quad (46)$$

Insbesondere für den hier betrachteten Telekommunikationssektor ist der Ansatz einer einheitlichen Inflations- bzw. Preisänderungsrate jedoch nicht angemessen, da Telekommunikationsnetzbetreiber gewöhnlich mit sehr unterschiedlichen Preisentwicklungen in den einzelnen Produktionsbereichen konfrontiert sind. Während im Bereich der Übertragungs- und Vermittlungstechnik aufgrund technologischen Fortschritts zumeist ein Preisverfall für funktional äquivalente Güter im Zeitablauf festzustellen ist, entspricht die Preisentwicklung in anderen Bereichen (vor allem Tiefbauleistungen im Bereich der Linientechnik) eher der allgemeinen Lohn- und Preisentwicklung. Im zuerstgenannten Fall kontinuierlicher Preissenkungen kann das Unternehmen die notwendige Kompensation für den eintretenden realen Wertverlust nur dann sicherstellen, wenn ein realer Zinssatz angewandt wird, der höher ist als der allgemeine nominale Satz.

Die obige Gleichung wird somit wie folgt modifiziert, um anlagenspezifische Realzinssätze zu erhalten:

---

<sup>37</sup> Das Modell wurde von Irving Fisher (1930) entwickelt.

$$r_{real,u} = r_{nom} - \Delta p_u \quad (47)$$

mit:

$r_{real,u}$  realer Zinssatz der Kapitalgüterkategorie u

$\Delta p_u$  jährliche Preisänderungsrate der Kapitalgüterkategorie u

Die spezifischen Preisänderungsraten können für verschiedene Kapitalgüterkategorien auf der Basis von statistischen Erhebungen oder durch Befragung von Einkaufsabteilungen der Unternehmen ermittelt werden. Im Einzelfall kann sich die Ermittlung als schwierig erweisen, da die Vergangenheitswerte nicht immer als Maßstab für zukünftige Entwicklungen herangezogen werden können. In einem solchen Fall müssten Prognosewerte abgeleitet werden. Gemäß unserer Argumentation wäre der Ansatz einer allgemeinen durchschnittlichen Inflationsrate der betrieblichen Einsatzgüter nur dann gerechtfertigt, wenn zu erwarten ist, dass die spezifischen Preisänderungsraten der Kapitalgüter nicht allzu weit von der allgemeinen Preissteigerung abweichen.

## 4.5 Der Kapitalkostenfaktor

Die bisherigen Überlegungen zur Abschreibung und Verzinsung von Kapitalgütern werden im folgenden in einen integrierten und regulatorisch praktikablen Ansatz der Kapitalkostenbestimmung zusammengeführt. Hierzu wird ein Kapitalwertmodell zugrunde gelegt, bei dem angenommen wird, dass der ursprüngliche Investitionsbetrag in konstanten Jahresraten (Annuitäten) zurückfließt. Die Annuitäten enthalten als Kapitaldienst integrativ sowohl die Abschreibungs- als auch die Verzinsungskomponente.

Die folgenden Gründe sprechen für einen solchen Annuitätenansatz:

- Unter der Annahme, dass das Unternehmen kontinuierlich reinvestiert, kann man unterstellen, dass sich der vorhandene Anlagenbestand im Durchschnitt in etwa auf der Hälfte seiner Nutzungsdauer befindet. Dementsprechend stellt der Annuitätenansatz sicher, dass ein durchschnittlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag generiert wird. Dieser Betrag ist, zumindest in seiner ungefähren Größenordnung, in jedem Fall relevant für Anlagegüter, die die Hälfte ihrer Nutzungsdauer erreicht haben, unabhängig von dem als sinnvoll erachteten Abschreibungs- oder Verzinsungsverfahren.
- Der Ansatz ermöglicht es, Stichtags-Berechnungen für den kompletten Anlagenbestand eines Unternehmens ohne ausdrückliche Berücksichtigung der Altersstruktur durchzuführen. Daher ist er insbesondere im Rahmen der von uns vertretenen Bottom Up Kostenmodellierung anwendbar. Die detaillierte Berücksichtigung der Tatsache, dass die bestehenden Anlagen verschiedenen Altersstufen zugehörig sind, würde den Komplexitätsgrad des Modells erheblich erhöhen.

Dem Annuitätenansatz liegt die folgende Kapitalwertrechnung zugrunde:<sup>38</sup>

$$I = \frac{KD_1}{1+r} + \frac{KD_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{KD_n}{(1+r)^n} \quad (48)$$

mit:

$I$  Investitionsbetrag  
 $KD_t$  Kapitalsdienst im Jahr  $t$   
 $t = 1, \dots, n$  Nutzungsdauer des Kapitalguts  
 $r$  Diskontsatz

Unter der Annahme konstanter Jahresraten  $KD = KD_1 = KD_2 = \dots = KD_n$  vereinfacht sich die Rechnung zu:

$$I = KD \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+r)^t} = KD \frac{1 - \frac{1}{(1+r)^n}}{r} \quad (49)$$

Der konstante Kapitalkostenfaktor  $KKF$ , der dem aus der Finanzmathematik bekannten Wiedergewinnungs- oder Annuitätenfaktor entspricht, ergibt sich somit wie folgt:

$$KKF = \frac{KD}{I} = \frac{r}{1 - \frac{1}{(1+r)^n}} \quad (50)$$

Wenn in dieser Gleichung die allgemeinen Parameter  $r$  und  $n$  durch die anlagenspezifischen Realzinssätze  $r_{real,u}$  und Nutzungsdauern  $n_u$  ersetzt werden, ergeben sich schließlich die anlagenspezifischen Kapitalkostenfaktoren  $KKF_u$ :

$$KKF_u = \frac{r_{nom} - \Delta p_u}{1 - \frac{1}{(1 + r_{nom} - \Delta p_u)^{n_u}}} \quad (51)$$

---

<sup>38</sup> Es wird hier davon ausgegangen, daß die als Kapitalsdienst erwirtschafteten Überschüsse dem Unternehmen am Ende der jeweiligen Periode zufließen.

Die folgende Tabelle 12 enthält Beispielrechnungen für die Fälle konstanter, steigender und fallender Preise:

**Tabelle 12:** Anwendung des anlagenspezifischen Kapitalkostenfaktors<sup>39</sup>

Investition	1000	DM							
Nominaler Kapitalkostensatz	10%								
Nutzungsdauer	10	Jahre							
	Fall A: Preisänderungsrate =	0%	Fall B: Preisänderungsrate	4%	Fall C: Preisänderungsrate	-2%			
	Realer Zinssatz	10%	Realer Zinssatz	6%	Realer Zinssatz	12%			
	Kapitalkostenfaktor	0,1627	Kapitalkostenfaktor	0,1344	Kapitalkostenfaktor	0,1788			
Jahr	Tageswert	Kapitaldienst	Kap.dienst abdisk.	Tageswert	Kapitaldienst	Kap.dienst abdisk.	Tageswert	Kapitaldienst	Kap.dienst abdisk.
1	1.000	162,75	147,95	1040,00	139,76	127,06	980,00	175,19	159,26
2	1.000	162,75	134,50	1081,60	145,35	120,13	960,40	171,68	141,89
3	1.000	162,75	122,27	1124,86	151,17	113,57	941,19	168,25	126,41
4	1.000	162,75	111,16	1169,86	157,21	107,38	922,37	164,88	112,62
5	1.000	162,75	101,05	1216,65	163,50	101,52	903,92	161,59	100,33
6	1.000	162,75	91,87	1265,32	170,04	95,98	885,84	158,36	89,39
7	1.000	162,75	83,51	1315,93	176,84	90,75	868,13	155,19	79,64
8	1.000	162,75	75,92	1368,57	183,92	85,80	850,76	152,08	70,95
9	1.000	162,75	69,02	1423,31	191,27	81,12	833,75	149,04	63,21
10	1.000	162,75	62,75	1480,24	198,92	76,69	817,07	146,06	56,31
Summe			1000,00			1000,00			1000,00

Wie zu erwarten, ist bei gegebenem nominalen Zinssatz im Inflationsfall B der Kapitalkostenfaktor geringer und im Deflationsfall C höher als im Fall A mit konstanten Preisen. Dies entspricht hinsichtlich der Verzinsungskomponente dem im Abschnitt 4.4.3 dargestellten realen Ansatz der Kapitalerhaltung. Zugleich entspricht es hinsichtlich der Abschreibungskomponente dem Prinzip der ökonomischen Abschreibung, nach der sich, wie in Abschnitt 4.2.2.2 dargestellt, Preissteigerungen in verringerten Abschreibungen (oder sogar Zuschreibungen) und Preissenkungen in beschleunigten Abschreibungen niederschlagen. Bei der Aufsummierung der zum Nominalzinssatz abdiskontierten jährlichen Kapitaldienste zeigt sich, dass in allen drei Fällen eine Rückrechnung auf den ursprünglichen Investitionsbetrag möglich ist.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der hier vorgestellte Ansatz allen bei der Ermittlung der langfristigen zusätzlichen Kosten von Kapitalgütern relevanten ökonomischen und regulatorischen Anforderungen genügt, zugleich aber auch hinreichend praktikabel ist, um in der laufenden Regulierungspraxis schnell und variabel eingesetzt werden zu können.

## 4.6 Anlagenbezogene Betriebskosten

Zur Vermeidung von Missverständnissen weisen wir darauf hin, dass im Gegensatz zu der im angelsächsischen Raum üblichen Konvention die kalkulatorischen Abschreibungen als Bestandteil der Kapitalkosten betrachtet werden. Der Wertverzehr der Investiti-

<sup>39</sup> Aus Gründen der Rechengenauigkeit basieren die KKFu in der Tabelle auf der ursprünglichen und nicht auf der vereinfachten Fisher-Gleichung.

ongüter ist somit nicht Gegenstand der im Folgenden dargestellten Betriebskostenmodellierung.

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

Ebenso würde die Anwendung des Kostenstandards der FL-LRAIC bedeuten, dass die prozessorientierte Kostenrechnung nicht lediglich die Abläufe vergangener Perioden beschreiben darf, sondern die Entwicklung der laufenden Kosten für den effizienten Betrieb der Anlagegüter darstellen muss. Dazu ist es notwendig, ähnlich wie bei der ökonomischen Abschreibung, Einflussfaktoren auf die Betriebskosten zu bestimmen und deren Entwicklung zu prognostizieren, d.h. es müssen die zukünftigen technischen und ökonomischen Kausalitäten erfasst werden.

Neben der angesprochenen Komplexität der Betriebsabläufe in einem Telekommunikationsnetz stellt die Prognose über die Entwicklung der relevanten Einflussfaktoren überaus hohe Datenanforderungen. Der damit verbundene Modellierungsaufwand ist erheblich, so dass dieser Ansatz im Rahmen einer von unternehmensexternen Analytikern durchgeführten Kostenstudie bzw. -modellierung in der Regel nicht verfolgt werden kann.

Hilfsweise kann, ähnlich wie im Falle der indirekten Investitionen, auf Faktoren zurückgegriffen werden, die die Betriebskosten für verschiedene Anlagekategorien als Prozentsatz der Investitionssumme ausdrücken. Die Ermittlung dieser Faktoren erfolgt durch Rekurs auf Zahlen, die aus dem Rechnungswesen des regulierten Unternehmens (oder vergleichbarer Unternehmen) abgeleitet werden können. In Bezug gesetzt werden können nominale Ausgaben (Personal- und Sachkosten), die mit Hilfe der Kostenstellenrechnung einzelnen Kategorien des Anlagevermögens zugerechnet werden und das zu Wiederbeschaffungspreisen bewertete Kapital in diesen Kategorien. Dabei sind, soweit absehbar, erwartete Änderungen der Ausgaben, etwa aufgrund von Lohn- und Preiserhöhungen, zu berücksichtigen. Notwendige Voraussetzung ist freilich die hinreichende Feinheit der Kostenstellensystematik, welche die Differenzierung und verursachungsgerechte Zurechnung der Betriebskosten zu Anlagenklassen erlaubt.

Die so ermittelten Betriebskostenfaktoren können auf das Bottom-up ermittelte betriebsnotwendige Anlagevermögen angewendet werden und stellen eine akzeptable Annäherung an die erwarteten Betriebskosten eines effizienten Netzes dar.

Die Berechnung der Betriebskostenfaktoren mit Hilfe des betrieblichen Rechnungswesens wird in der Tabelle 13 illustriert. Die dafür notwendigen Daten der angegebenen Kostenarten können bei entsprechender Ausgestaltung aus der internen Rechnungslegung übernommen werden. Das vorhandene Anlagevermögen kann auch mit Hilfe der Investitionsrechnung des vorliegenden Modells unter Verwendung der Strukturparameter des bestehenden Netzes der TA ermittelt werden.

In Anlehnung an die Empfehlung der EU-Kommission zur Zusammenschaltung in einem liberalisiertem Telekommunikationsmarkt werden die zur Erbringung der Zusammenschaltungsleistung inkrementellen Betriebskosten in vier Kategorien unterteilt:<sup>40</sup>

- Alle für die Aufrechterhaltung der Anlagenfunktionen erbrachten Leistungen werden der Kategorie "Wartung- und Instandhaltung" zugeschrieben.
- In der zweiten Kategorie "Netzplanung und -entwicklung" werden Kosten für die Kapazitätsplanung, Netzkonstruktion, Trassenplanung und F&E Ausgaben zur Netzoptimierung zusammengefasst.
- Die Kategorie "Netzbetrieb- und Netzmanagement" ist der eigentliche operative Bereich, hierunter fallen Tätigkeiten wie die Verkehrsführung, Überwachung, Stromversorgung und Verkehrsdatenerhebung.
- Schließlich fallen alle jährlichen Ausgaben für Gebäudemieten, -reinigung und -instandhaltung in die Kategorie "Unterbringung".

Um Doppelzahlungen zu vermeiden, muss eine klare Trennung zwischen Investitionen in Grundstücke und Gebäude bzw. technische Einrichtungen der Unterbringung und Mietkosten vorgenommen werden. Im Modell können entweder Investitionswerte für Grundstücke und Gebäude je Vermittlungs- bzw. Übertragungseinrichtung oder Betriebskosten bzw. der Platzbedarf je Einrichtung und die Miete in Euro pro qm eingegeben werden.

Die Einteilung der Anlagegüter in die Kategorien Vermittlungstechnik auf der lokalen und auf der Transit-Ebene, Übertragungstechnik im Zugangs- und im Backbonenetz, Glasfaserkabel und Gräben, Kabelkanalanlagen und Unterbringungstechnik gibt nach unserem Verständnis die Orte der Betriebskostenentstehung hinreichend genau wieder.

Die aus dem Verhältnis von Betriebskosten zu Anlagevermögen der jeweiligen Anlagegüterkategorie errechneten Betriebskostenfaktoren lassen sich ebenfalls gut mit Kapi-

---

<sup>40</sup> Vgl. EU Kommission, K 960, Teil 2 – Getrennte Buchführung und Kostenrechnung, Brüssel, (1998, S. 15 ff.)

talkostenfaktoren dieser Investitionsgüterkategorien zusammenfassen. Die Multiplikation der aus der Investitionsrechnung ermittelten Werte mit dem Kapital- und Betriebskostenfaktor ergibt dann die jährlichen Kosten, die einem effizienten Netzbetreiber entstehen.

**Tabelle 13:** Ermittlung der Betriebskostenfaktoren des Verbindungsnetzes

Betriebskostenkategorien	Kostenarten	Anlagegüterkategorien						
		Vermittlungstechnik		Übertragungstechnik		Unterbringungstechnik	Glasfaserkabel/Gräben	Kabelkanalanlagen
		lokal	transit	Zugangsnetz	BB-Netz			
Wartungs- und Instandhaltungskosten	Personalkosten	*	*	*	*	*	*	*
	Materialkosten	*	*	*	*	*	*	*
	Sonstige Kosten	*	*	*	*	*	*	*
Netzplanungs- und Entwicklungskosten	Personalkosten	*	*	*	*	*	*	*
	Externe Kosten	*	*	*	*	*	*	*
Netzbetrieb und Netzmanagementkosten	Personalkosten	*	*	*	*	*	*	*
	Sonstige Kosten	*	*	*	*	*	*	*
	Energiekosten	*	*	*	*	*	*	*
Unterbringung	Personalkosten	*	*	*	*	*	*	*
	Mietkosten	*	*	*	*	*	*	*
	Sonstige Kosten	*	*	*	*	*	*	*
Summe der Betriebskosten		*	*	*	*	*	*	*
Vorhandenes Anlagevermögen		*	*	*	*	*	*	*
Betriebskostenfaktor		*%	*%	*%	*%	*%	*%	*%

Die Betriebskosten der Netzünterstützung (indirekte Investitionen) werden in gleicher Weise wie die der direkten Investitionen ermittelt, die nachstehende Tabelle 14 soll dies

verdeutlichen. Der einzige Unterschied liegt darin, dass zur Faktorbildung nicht das aktuelle Anlagevermögen der jeweiligen Investitionsgüterkategorie, sondern das gesamte Anlagevermögen herangezogen wird.

**Tabelle 14:** Ermittlung der Betriebskostenfaktoren für die Netzunterstützung

Betriebskostenkategorien	Kostenarten	Anlagegüterkategorien					
		Fuhrpark	Büroausstattung	Werkstattausstattung	Grundstücke u. Gebäude	Netzmanagement	sonstige
Wartungs- und Instandhaltungskosten	Personal-kosten	*	*	*	*	*	*
	Material-kosten	*	*	*	*	*	*
	Sonstige Kosten	*	*	*	*	*	*
Netzbetriebskosten	Personal-kosten	*	*	*	*	*	*
	Sonstige Kosten	*	*	*	*	*	*
	Energiekosten	*	*	*	*	*	*
sonstige Kosten	Personal-kosten	*	*	*	*	*	*
	Mietkosten	*	*	*	*	*	*
	Sonstige Kosten	*	*	*	*	*	*
Summe der Betriebskosten		*	*	*	*	*	*
gesamtes vorhandenes Anlagevermögen		*					
Betriebskostenfaktor		*%	*%	*%	*%	*%	*%

Bei der Anwendung von Betriebskostenfaktoren, die auf der Basis von Daten aus der unternehmensinternen Rechnungslegung abgeleitet worden sind, ist allerdings zu beachten,

- dass die ausgewiesenen Betriebsausgaben, etwa aufgrund eines monopolbedingt zu hohen Personalbestandes, höher sein können als die Ausgaben, die ein effizienter Netzbetrieb verursacht,

- dass eine allgemeine und intertemporal stabile Kausalbeziehung zwischen Investitionshöhe und Betriebsausgaben nicht besteht,
- dass bei einer Änderung der in Ansatz gebrachten Wiederbeschaffungspreise und damit der Höhe des bewerteten Anlagevermögens auch die Betriebskostenfaktoren angepasst werden müssen,
- und schließlich, dass die Ausgaben vergangener Perioden von Anlagegütern verursacht worden sein können, die bei einer forward-looking Kostenermittlung auf Basis von modernen funktionsäquivalenten Anlagegütern keine Rolle mehr spielen.

Wir beabsichtigen, im Rahmen der Durchführung der Kostenstudie ähnlich wie im Falle der indirekten Investitionen internationale Benchmarks heranzuziehen, um Bandbreiten für die Höhe der Betriebskostenfaktoren festzulegen. Diese Benchmarks können z.B. anhand von veröffentlichten Kostenrechnungsdaten oder -studien anderer Regulierungsbehörden abgeleitet werden. Darüber hinaus liegen auch Werte für Netzbetreiber vor, die im Rahmen von in verschiedenen Ländern durchgeführten Regulierungsverfahren zur Anwendung gekommen sind.

Bei der Betriebskostenermittlung für einen nationalen Verbindungsnetzbetreiber und Anbieter von Zusammenschaltungsleistungen ist noch anzufügen, dass die Kosten, die im Rahmen des Inter-carrierbillings anfallen, in der oben beschriebenen Faktorbildung nicht abgebildet werden. Diese Kosten müssten in Analogie zu den Unternehmensgemeinkosten in einen Gemeinkostenzuschlag für die Produktgruppe IC-Dienste einfließen.

## 4.7 Annualisierungsfaktor

Das nach Durchführung der Investitionsrechnung vorliegende zu Wiederbeschaffungspreisen bewertete direkt und indirekt zugerechnete Anlagevermögen für die Netzelemente kann nunmehr in einem abschließenden Schritt annualisiert werden. Zu diesem Zweck sind die Investitionen zunächst in die verschiedenen Elemente und sodann, so weit wie nötig, in Anlagekategorien aufzuspalten, auf die der spezifische Annualisierungsfaktor angewendet werden kann, der sich aus Kapital- und Betriebskosten zusammensetzt. Anschließend sind diejenigen Kosten zuzurechnen, die den Netzelementen nicht direkt zugerechnet werden konnten. Im Modell sind dies die Kosten für die Unterbringung der technischen Einrichtungen sowie die Kosten der Unterstützung des Netzbetriebs. Das Ausmaß der direkten Zurechnung der letztgenannten Kosten hängt ab vom Detailgrad der von Netzbetreibern zu liefernden Informationen. Scheidet die direkte Zurechnung aus, so präferieren wir, wie erwähnt, eine Verteilung anhand der direkt zurechenbaren Investitionen.

## 5 Kosten von Zusammenschaltungsleistungen

### 5.1 Transformation in Kosten pro Minute Netzelementnutzung

Nach Durchführung der Annualisierung der Investitionen für die in Abschnitt 2.3 genannten Netzelemente (einschließlich der zugerechneten indirekten Investitionen) liegen jährliche Kosten der Netzelemente vor, die als langfristige Zusatzkosten der Netzinfrastruktur vor Zuschlag von Unternehmensgemeinkosten und Zurechnung der Kosten anderer Wertschöpfungsbereiche zu interpretieren sind. Um diese Kosten auf der Basis von Minuten auszuweisen, ist die Ermittlung der Nachfragemengen pro Jahr für die verschiedenen Elemente notwendig. Hierzu wird in zwei Schritten vorgegangen:

Schritt 1 umfasst die Division der jährlichen Kosten der Netzelemente durch die Anzahl der Minuten in der für die Investitionsplanung relevanten Verkehrsstunde. Diese Daten liegen als Resultat der Modellberechnungen vor. Das Ergebnis sind jährliche Kosten der Produktionskapazität umgerechnet auf eine Minute in der Lastspitze.

Schritt 2 besteht in der Transformation der Kosten je Minute in der Hauptverkehrsstunde auf Kosten, die bei gleichmäßiger Verteilung auf eine durchschnittliche Minute entfallen. Hierzu muss die Zahl der Einheiten pro Jahr aus der Zahl der Einheiten pro Hauptverkehrsstunde abgeleitet werden. Festzuhalten ist, dass die durchschnittlichen Minutenkosten noch keine zeitliche Differenzierung beinhalten. Die Anzahl der Zeitzonen muss gegebenenfalls in weiteren Schritten festgelegt werden.

Bei den verbindungsabhängigen (im Sinne von nicht dauerabhängigen) Kosten ist anschließend zu diskutieren,

- ob diese auf gesamte Verbindungsminuten umgerechnet werden, so dass längeren Verbindungen höhere Kosten zugerechnet werden als kurzen Verbindungen,
- ob eine zweiteilige Kostenfunktion mit einem fixen Element für den Verbindungsaufbau und einem dauerabhängigen Element angemessen ist

### 5.2 Leistungen und Netzelementnutzung

Ziel der in diesem Dokument beschriebenen Kostenanalyse ist es, Kosten pro Minute für die vom Interconnectionnehmer nachgefragten Standardleistungen zu ermitteln.

Zusammenschaltungsleistungen werden dabei unterschieden in Terminierungsleistungen und Zuführungsleistungen<sup>41</sup>.

Im Falle der Terminierung wird eine Verbindung vom Netzübergabepunkt des Nachfragers zum angewählten Anschluss durch den Anbieter der Zusammenschaltungsleistung hergestellt. Bei der Zuführungsleistung wird umgekehrt eine Verbindung vom rufenden Anschluss zum Netzübergabepunkt des Nachfragers geschaltet. Die Leistung besteht aus dem Aufbau eines Nutzkanals mit einer Übertragungsbandbreite von 64 kbit/s zwischen Anschluss und Übergabepunkt und deren Aufrechterhaltung für die Dauer der Verbindung. In allen Fällen kann die Verbindung zwischen den zusammengeschalteten Netzen auf unterschiedlichen Netzebenen liegen. Der Umfang der vom IC-Anbieter erbrachten Leistung hängt ab von der Zahl (und Art) der Netzelemente, die vom Anbieter zur „Produktion“ der Verbindungsleistung zwischen Anschluss (als Verbindungsurprung oder –ziel) und Netzübergang genutzt werden. Die geographische Entfernung spielt dabei nur insofern eine Rolle, als sie in die Kostenberechnung der einzelnen Netzelemente, etwa in Form der durchschnittlichen Länge einer Übertragungsstrecke, eingeht. Für die Differenzierung zwischen Zusammenschaltungsleistungen spielt sie dagegen nur eine vernachlässigbare Rolle.

Es kann als weithin akzeptiert gelten, dass die Entgelte für Zusammenschaltungsleistungen mit den genutzten Netzelementen korrespondieren sollten. Dieses Postulat der Elementorientierung nimmt bei einer effizienzorientierten Ausgestaltung der Entgeltstruktur eine zentrale Rolle ein. Bei Anwendung elementorientierter Entgelte ist sichergestellt, dass die Entgelthöhe mit dem Umfang der Netznutzung wächst, was dafür sorgt, dass die Anreize in den Aufbau einer eigenen Verbindungsnetzinfrastruktur nicht verzerrt werden. Durch den Aufbau eigener Netzstrukturen können Betreiber den Umfang der von ihnen zu entrichtenden Zusammenschaltungsentgelte reduzieren, indem sie Leistungen selber erbringen und dadurch den Umfang der Nutzung des Netzes des IC-Anbieters verringern. Dabei ist es unerheblich, ob selbsterrichtete oder gemietete Transportkapazitäten verwendet werden. Denn auch im letzten Fall ändert sich die Kostenstruktur derart, dass an die Stelle von proportional zur Minutenzahl steigenden Zusammenschaltungsentgelten ein festes Entgelt (äquivalent zu annualisierten Investitionen in eigene Fazilitäten) für die Überlassung der Kapazität tritt.

Verzerrungen sind andererseits zu erwarten, wenn Entgelte auf Durchschnittsniveaus beruhen, die über eine, bezogen auf die Netznutzung, heterogene Klasse von Leistungen gebildet werden. In diesem Falle besteht häufig kein Anreiz, durch Investitionen in eigene Netzelemente den Anteil der zugekauften Verbindungsleistungen zu begrenzen, da sich dies nicht in entsprechendem Maße in einer Reduzierung der gezahlten Interconnectionsentgelte niederschlägt.

---

<sup>41</sup> Neben Zuführungs- und Terminierungsleistungen sind u.a. auch Transitleistungen Gegenstand von Zusammenschaltungsvereinbarungen sein.

Andererseits ist offensichtlich, dass der Entgeltstruktur eine Durchschnittsbildung zugrunde liegen sollte, da es als nicht praktikabel erachtet werden muss, jede Leistung nach ihren individuellen Charakteristika (insbes. Kosten) zu tarifieren. Dabei ist allerdings anzustreben, die Durchschnitte nur über homogene Verbindungsklassen zu bilden. Die meisten der bisher durchgeführten Kostenstudien legen nahe, den Einfluss von Entfernungen auf die Verbindungskosten weniger stark zu gewichten als die Anzahl der durchlaufenen Vermittlungseinrichtungen und Übertragungswege. Folglich wird eine Klassifizierung der Leistungen nach der Zahl der genutzten Netzabschnitte, genauer Vermittlungseinrichtungen, vorgenommen.

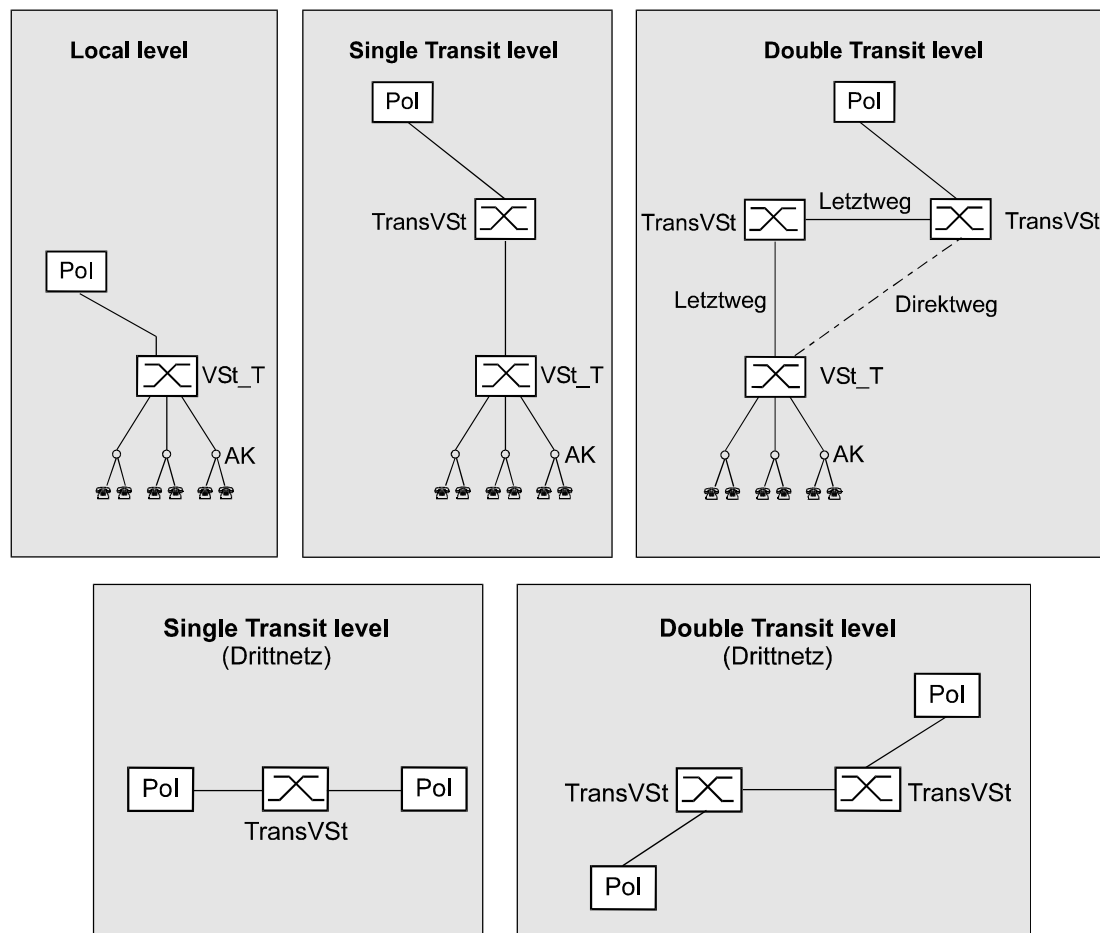
Es wird daher hier auf die entsprechende Empfehlung der EU-Kommission zurückgegriffen, die die folgenden Zusammenschaltungsleistungen beschreibt:

- Local Level Interconnection. d.h. Zusammenschaltung an der Vermittlungsstelle, an welcher der gerufene (oder rufende) Teilnehmer angeschlossen ist,
- Single Transit Interconnection, d.h. Zusammenschaltung an einer Vermittlungsstelle, an der Verbindungen eines Großraumes gebündelt werden,
- Double Transit Interconnection, d.h. Zusammenschaltung an einer Vermittlungsstelle außerhalb des Großraumes, in dem der gerufene (oder rufende) Anschluss liegt.

In Österreich wurde im Rahmen der Regulierung eine weitergehende Unterscheidung der Zusammenschaltungsentgelte in

- Single Transit (Drittnetz), d.h. Zusammenschaltung an einer Vermittlungsstelle eines Großraumes, wo der Verkehr über die Vermittlungsstelle als Transit vom Drittnetz des gerufenen (oder rufenden) Teilnehmers in das Netz des Zusammenschaltungspartners übergeht.
- Double Transit (Drittnetz), d.h. Zusammenschaltung an einer Vermittlungsstelle außerhalb eines Großraums, wo der Verkehr über das Netz der TA als Transit vom Drittnetz des gerufenen (oder rufenden) Teilnehmers in das Netz des Zusammenschaltungspartners übergeht.

angeordnet.

**Abbildung 15:** Typen von Zusammenschaltungsleistungen

Die bei der Zusammenschaltung genutzten Elemente können weitgehend aus den oben genannten Leistungsdefinitionen der EU-Empfehlungen abgeleitet werden. Zum Teil müssen allerdings Erwartungswerte für die Elementnutzung ermittelt werden:

- Lokale Zusammenschaltung:

Genutzt wird in der Teilnehmervermittlungseinheit die Konzentratoreinheit zur Bündelung des Teilnehmerverkehrs, ein teilnehmerseitiger Leitungsanschluss, das Koppelnetz sowie die Steuerung. Relevant ist weiterhin ein verbindungsnetzseitiger Leitungsanschluss, sofern dieser nicht über das Entgelt zur Bereitstellung von Interconnectionanschlüssen abgedeckt wird. Berücksichtigt werden muss zudem das Zugangsnetz.

- Single Transit Zusammenschaltung

Genutzt werden die Leistungen der lokalen Zusammenschaltung plus ein Leitungsanschluss in der VST\_T zum Backbonenetz, der Übertragungsweg zur assoziierten Transitvermittlungseinheit<sup>42</sup>, Leitungsanschlüsse sowie Koppelnetz und Steuerung der Transitvermittlungseinheit.

- Double Transit Zusammenschaltung

Genutzt werden die Leistungen der Teilnehmervermittlungseinheit einschließlich Transport im Access-Netz. Darüber hinaus werden zwei Übertragungswege genutzt (TransVSt-TransVSt; TransVSt-VST\_T) sowie zwei Transitvermittlungseinheiten.

- Single Transit (Drittnetz) Zusammenschaltung

Genutzt werden nur die Leistungen der Transitvermittlungseinheit: Leitungsanschlüsse, Koppelnetz und Steuerung.

- Double Transit (Drittnetz) Zusammenschaltung

Genutzt werden die Leistungen von zwei Transitvermittlungseinheiten sowie ein Übertragungsweg (TransVSt-TransVSt).

Im Falle der Zuführung kann die Nutzung der Netzelemente durch die Leitweglenkung bzw. die Hierarchisierung des Netzes beeinflusst werden. Bei strikt hierarchischer Verkehrsführung werden die Netzelemente in gleicher Weise genutzt wie bei der Terminierung.

Besteht allerdings ein Querweg zwischen VST\_T und einer Transitvermittlungsstelle eines anderen Einzugsbereiches (nicht-assozierte VSt), so wird dieser Querweg von einem Teil des Verkehrs genutzt. Für diesen Verkehrsanteil sind Kosten zu berücksichtigen für die Übertragung auf dem Querweg sowie Kosten der Transitvermittlungseinheit am Übergabeort, während der Durchlauf der assoziierten Vermittlungsstelle nur für den vom Querweg überlaufenden Verkehr berücksichtigt werden muss. Die Wahrscheinlichkeit für das jeweilige Eintreten der beiden Alternativen wird auf Basis der Berechnungen zur Verkehrsführung bzw. zur Leitungsmatrix ermittelt. Somit wird es möglich, einen Erwartungswert für die Elementnutzung und die resultierenden Gesamtkosten der Leistung zu bestimmen.

---

<sup>42</sup> Bei Kollokation von VSt\_T und TransVSt wird von einem Teil der an der TransVSt übergebenen Verbindungen kein Übertragungsweg im Verbindungsnetz genutzt, da der rufende/gerufene Teilnehmer an der kollokierten VSt\_T angeschlossen ist. Auch dies wird bei der Berechnung berücksichtigt.