

September 2004

**Kommunikations- und Netztechnik II**  
( Grundlagen der Telefon-Vermittlungstechnik )

**Dozent : Dipl.-Ing. Hans Thomas**

# Netzarchitekturen

	Seite
<b>1 Grundformen von Netzen</b>	2
<b>2 Ortsnetze</b>	3
<b>3 Fernnetz</b>	4
<b>4 Verkehrstheorie</b>	7
<b>5 Netzplanung</b>	9

Anhang mit 24 Bildern

# 1 Grundformen von Netzen

Sobald das Kommunikationsbedürfnis über eine einzelne, feste Verbindung zu einem ganz bestimmten Partner hinausgeht und Verbindungsmöglichkeiten zu und zwischen vielen Partnern gewünscht werden, müssen die technischen Einrichtungen über entsprechende Netzwerke miteinander verbunden werden. Die günstigste Netztopologie hängt dabei von vielen verschiedenen Parametern ab:

Folie 1-1

- **abzuwickelnder Dienst**
  - \* Individualverkehr ( jeder mit jedem )
  - \* Sammel- / Verteil-Dienste ( einer zu vielen )
- **geographische Ausdehnung**
  - \* in house
  - \* örtlich / lokal
  - \* landesweit / weltweit
- **eingesetzte Übertragungsmedien**
  - \* Kabel ( Kupfer, Koax, Glasfaser )
  - \* Funk ( Richtfunk, Rundfunk-, Satellitenfunk )
- **eingesetzte Übertragungstechnik**
  - \* Frequenzmultiplex
  - \* Zeitmultiplex mit
    - \* Bit-Rahmen-Struktur ( PDH )
    - \* Container-Struktur ( SDH )
    - \* Zellen-Struktur ( ATM )
- **eingesetzte Vermittlungstechnik**
  - \* einfache, direkte Steuerung
  - \* leistungsfähige, indirekte Steuerung
  - \* Rechnersteuerung
- **Sicherheitsaspekte**
  - \* Überlaufmöglichkeiten
  - \* Ersatzschaltmöglichkeiten der Leitungen
    - \* schnell mit 1+1 oder 1:n Protection
    - \* langsam mit Managementsystem
  - \* Mehrwegeführung
- **Güteparameter**
  - \* Verlustwahrscheinlichkeit ( Besetztfälle )
  - \* Qualitätsgarantien ( QoS = *Quality of Service* )

Für Simulationsrechnungen kann dabei jedes Netz symbolisch durch

- **Knoten** ( Endeinrichtungen, Vermittlungsstellen o.ä. )
- **Kanten** ( Verbindungslinien, Anschlussleitungen )

dargestellt werden und damit wirkungsvoll die **Graphentheorie** eingesetzt werden.

Die 5 möglichen **Grundformen** für die **Topologie** von Netzen sind in **Bild 1-1** dargestellt. Nur in kleineren Netzen kommen diese Grundformen reinrassig vor. Größere Netze bestehen aus Optimierungsgründen häufig aus mehreren Hierarchiestufen ( Netz-Ebenen ) und aus Mischformen der dargestellten Grundformen.

Bei dieser Art der Netzbetrachtung ist es von großer Bedeutung, ob man die Struktur

- aus Dienstesicht als **logisches Netz** oder
- hardwaremäßig als **physikalisches Netz**

sieht !!! Insbesondere darf man sich nicht dadurch irritieren lassen, dass trotz verschiedener logischer Netzformen die Leitungen zu verschiedenen Zielen zum Teil in demselben Kabel oder in derselben Trasse geführt sind und dies auf den ersten Blick wie ein gemeinsames Bündel erscheint. Ebenso kann man heute in einer physikalischen Ringstruktur unter Nutzung von Add-Drop-Multiplexern trotzdem problemlos ein logisches Sternnetz oder ein logisches Maschennetz realisieren, bei dem jeder Knoten mit jedem anderen Knoten direkt verbunden ist

## 2 Ortsnetze

In **kleineren Ortsnetzen** (ON) wurde auch schon früher grundsätzlich nur **1** Vermittlungsstelle errichtet (**Bild 2-1a**), und zwar zur Minimierung der Anschlussleitungslängen möglichst im **Netzschwerpunkt** des Ortsnetzes.

Die einzelnen Telefon-Teilnehmer sind jeweils **sternförmig** über so genannte **Anschlussleitungen** (Asl) an diese Orts-Vermittlungsstelle ( *heute Teilnehmer-Vermittlungsstelle genannt* ) angeschlossen (**Bild 2-1b**). Die einzelne Asl wird dabei über mehrere Schaltpunkte ( **Verteiler** bzw. **Verzweiger** ) geführt, um sie flexibel in entsprechend starken Kabeln ( bis zu 500 Doppeladern ) zusammenfassen zu können. Zumindest die großen Hauptkabel werden zumeist in Kabelkanälen oder Leerrohren verlegt.

Typische Werte der Asl sind **Kupferkabel** mit Kabelquerschnitten von 0,4 oder 0,6 mm<sup>2</sup> und mittleren Längen von 1,7 km. Bei deutlich mehr als 5 km muss die Asl mittels so genannter **Leitungsverstärker** zur Kompensation der Dämpfung verstärkt werden.

Diese Anschlussleitungen werden **im Telefonnetz typischerweise nur niederfrequent** im Basisband ( *analog bis 16 kHz oder digital bis 160 kbit/s* ) **genutzt**.

Insbesondere bei kurzen Entfernungen können die vorhandenen Kupferkabel inzwischen jedoch auch wesentlich höher ausgenutzt werden.

Bei Verwendung von klassischen PCM-Systemen sind **2 Mbit/s** übertragbar ( *Primär-multiplex-Anschluss im ISDN* ).

Bei Einsatz der neuen **ADSL-Technik** ( = *Asymmetrical Digital Subscriber Line* ) wird ein analoges Frequenz-Multiplexen durchgeführt. Im sogenannten Splitter wird das untere Frequenzband bis etwa 120 kHz weiterhin für den analogen bzw. ISDN Telefonanschluss verwendet, das obere Frequenzband **bis 1,1 MHz** wird für die digitale Internet-Anbindung mit ggf. unterschiedlichen Raten für den Up Stream und den Down Stream verwendet.

In **größeren Ortsnetzen** (ON) würden bei Verwendung von nur 1 Orts-Vermittlungsstelle (OVSt) die Längen der Asl sehr groß und vor allem deren Verlegung sehr teuer. Es werden deshalb entsprechend mehrere **Anschlussbereiche** gebildet und die jeweilige OVSt möglichst im Netzschwerpunkt eines jeden Bereiches errichtet (**Bild 2-1c**).

In der physikalischen Fixierung des Anschlussleitungs-Netzes liegen auch die besonderen Schwierigkeiten, politische Veränderungen ( *neue Gemeindegrenzen und somit geänderte Ortsnetz-Bereiche* ) im Telefonnetz kurzfristig nachzuvollziehen. Hier bietet erst die neue digitale Vermittlungstechnik einfache, software-mäßige Lösungen.

*Die über viele Jahrzehnte eingesetzten, direkt gesteuerten Vermittlungssysteme bestimmten bisher die Netzstruktur **zwischen den Ortsvermittlungsstellen** eines Ortsnetzes. Da ein EMD-Gruppenwähler bauartbedingt maximal zehn Richtungen ausscheiden kann, die Richtung 1 ( Sonderdienste ) und die Richtung 0 ( Fernverkehr ) aber für andere Zwecke vergeben sind, wurden deshalb in Ortsnetzen mit maximal 8 OVSt diese untereinander **voll vermascht (Bild 2-2a)**. Bei noch größeren ON musste zur Verteilung des Verkehrs eine zusätzliche Hierarchiestufe, die sogenannte **GruppenVSt (GrVSt)** und im Bedarfsfall sogar eine UntergruppenVSt (UGrVSt), eingeführt werden (Bild 2-2b).*

Mit Einführung der **digitalen Ortsvermittlungstechnik**, die systembedingt auch in OVSt bereits eine alternative Verkehrslenkung ermöglicht, wird bereits ab 3 Teilnehmer-VSt (**TVSt**) grundsätzlich als 2. Hierarchieebene eine **Ortsdurchgangs-VSt (ODgVSt)** eingerichtet (**Bild 2-3**). Hierüber wird der Nutzkanal- und/oder der Zeichengabe-Verkehr im Transit abgewickelt, sofern sich keine direkten Querwege zwischen den TVSt innerhalb des Ortsnetzes lohnen. Wegen der Leistungsfähigkeit der DIV-Technik wurden bei der Digitalisierung viele OVSt-Standorte aufgegeben und dort lediglich **Abgesetzte Periphere Einheiten (APE)** aufgebaut, die über PCM-Strecken mit ihrer steuernden Mutter-VSt verbunden sind. Auch hierdurch ergeben sich erhebliche Änderungen in der Netzstruktur.

Eine weitere Veränderung bewirkt der Einsatz von Glasfaserkabeln mit leistungsstarken optischen Übertragungstechniken ( *155 Mbit/s und höher* ). In allen großen ON sind hier schon die TVSt über eine Glasfaser zumeist ringförmig verbunden (**Bild 2-4**). Die eingesetzten Add-Drop-Multiplexer (ADM) bzw. die schaltbaren Crossconnectoren (XC) realisieren logisch jedoch weiterhin eine Vollvermaschung oder einzelne Querwege zwischen den TVSt. Der große Vorteil dieser neuen Übertragungstechnik liegt darin, dass auch andere Dienste ( *Mietleitungen, digitale Festverbindungen oder auch neue breitbandige Anwendungen außerhalb des Telefondienstes* ) über diese Ringe und die ADM / XC günstig transportiert werden können.

### 3 Fernnetz

Die mengenmäßig deutlich geringere Zahl von Ferngesprächen wird üblicherweise in einem von den vielen Ortsnetzen getrennten, **separaten Fernnetz** abgewickelt. Der Zugang zu diesem Netz erfolgt aus dem Ortsnetz heraus über die **Verkehrsausscheidungsziffer 0**. Die Struktur des Fernnetzes ist dabei eng gekoppelt an die historisch gewachsenen, technischen Möglichkeiten der jeweils eingesetzten Fernvermittlungstechnik und spiegelt sich zumeist in der Systematik der Ortsnetzkennzahlen (ONKz) wider.

*Entsprechend der vier Stellen der ONKz besaß bis 1996 das deutsche Fernnetz **4 Hierarchiestufen**, wobei jeweils maximal 10 VSt der unteren Ebene **sternförmig** an die nächsthöhere Ebene angebunden waren (Bild 3-1). Damit wird ein gewisses **Grundnetz***

bereitgestellt; diese Wege werden auch als **Kennzahlweg (KzW)** bezeichnet. Bei einer Verbindung über diese Kennzahlwege werden alle Hierarchieebenen im Ursprungsbereich aufsteigend und im Zielbereich wieder absteigend durchlaufen; dies sind insgesamt 7 hintereinandergeschaltete Fernleitungsabschnitte.

Die VSt hatten bis 1996 die Bezeichnung:

Name			Anzahl	
			Alte Bundesländer	Neue Bundesländer
ZVSt	<b>Zentral</b>	vermittlungsstelle	7	1
HVSt	<b>Haupt</b>	vermittlungsstelle	63	8
KVSt	<b>Knoten</b>	vermittlungsstelle	480	170
EVSt	<b>End</b>	vermittlungsstelle	3 800	1 500
OVSt	<b>Orts</b>	vermittlungsstelle	6 200	2 700

Durch die Ergänzung der **EMD-Wähler** mit indirekt gesteuerten **Registern** bestand seit 1962 im Rahmen des Fernwählsystems Technik 62 erstmals die Möglichkeit, nicht nur die starren Kennzahlwege wie bei Gruppenwählern zu verwenden, sondern eine sinnvolle **Verkehrslenkung** vorzunehmen, damit nicht jedes Ferngespräch **alle** Hierarchiestufen durchlaufen musste. Deshalb wurde im Ursprungsbereich der KVSt und HVSt zusätzlich nach Bedarf ein umfangreiches Netz von **Querwegen (QW)** eingerichtet (**Bild 3-2**). Diese QW wurden im Rahmen der Verkehrslenkung zur möglichst direkten Erreichung des Ziels angesteuert. Aufgrund der eingesetzten Technik (EMD T 62/69) konnte eine **vorgegebene Überlaufreihenfolge** abgesucht werden. Wenn alle QW belegt waren bzw. zu einem Ziel kein QW bestand, konnte der Verkehr als **Letztweg** stets noch den Kennzahlweg benutzen.

In kleinen ON mit nur 1 OVSt sind die EVSt und OVSt integriert.

Jede VSt einer höheren Hierarchiestufe beinhaltete gleichzeitig als sogenannte **"verdeckte VSt"** auch die jeweils niedrigeren Wahlstufen. Bei EMD-Technik war jede Stufe und damit auch jede Ziel-VSt durch einen entsprechenden Wähler charakterisiert. Dadurch ergab sich eine große Menge von Querwegen zu derselben Ziel-VSt, dort allerdings auf verschiedene Wahlstufen.

Mit dem **Einsatz digitaler VSt** werden jedoch die Funktionen der verschiedenen Wahlstufen an einem Standort in einem einzigen, großen **Koppelnetz** realisiert. Dadurch verringert sich die Zahl der Bündel zwischen zwei Orten drastisch und die Zahl der Leitungen je Bündel steigt stark an. Da weiterhin Leitungen des Fernnetzes üblicherweise in den KVSt-Standorten enden und eine DIV-KVSt auf Grund ihrer Verkehrslenkmöglichkeiten auch im Zielbereich **alle** zugehörigen digitalen TVSt **direkt** ansteuern kann, **entfällt die EVSt-Ebene** vollständig.

Die Funktion der ZVSt bestand auch früher schon nur darin, eine geringe Zahl von Letztwegen bereitzustellen; auf diese **ZVSt-Ebene** wird nun ganz **verzichtet**. Mit der seit Ende 1996 abgeschlossenen vollständigen Digitalisierung im Fernbereich verändert sich dieses Netz zu einem **2 stufigen Fernnetz** gemäß **Bild 3-3**.

Name	Anzahl
------	--------

<b>WVSt</b>	<b>Weitverkehrs</b>	vermittlungsstelle	2 x 23
<b>KVSt</b>	<b>Knoten</b>	vermittlungsstelle 1)	650
<b>TVSt</b>	<b>Teilnehmer</b>	vermittlungsstelle 1)	1 700 2) (1 050)

1) zumeist kombiniert mit TVSt-Anteil

2) kleine Ortsnetze heute als APE realisiert

Die **Ebene der KVSt** bleibt dabei im Wesentlichen unverändert und bildet weiterhin diejenige Ebene, die über **bedarfsgerecht geschaltete Querwege** den Hauptanteil des Fernverkehrs abwickelt.

Die verkehrsstärksten HVSt-Standorte sind in der nun neu benannten **Weitverkehrsebene** systematisch miteinander zu einem leistungsfähigen Backbone-Netz **voll vermascht**. Aus Sicherheits- und Kapazitätsgründen sind alle Weitverkehrsvermittlungsstellen (**WVSt**) je Standort mit **zwei** DIV-VSt ausgebaut. Damit kann jede KVSt auch **zweifach** auf den zugehörigen WVSt-Standort **abgestützt** werden.

Innerhalb der Weitverkehrsebene werden jeder WVSt zu jeder anderen WVSt neben einem Direktweg noch 3 weitere alternative Wege zugewiesen. Dies erbringt etwa eine Leitungersparnis von 10%, weil durch diese zusätzlichen Transitmöglichkeiten die unterschiedlichen Hauptverkehrsstunden je VSt besser ausgenutzt werden können. Unter voller Nutzung der Möglichkeiten in DIV-VSt und einem zusätzlichen Informationsaustausch über das Zeichengabesystem Nr.7 kann damit durch das Prinzip des **Dynamischen Nicht-Hierarchischen Routings** (DNHR) eine optimale Nutzung der Fernleitungen der obersten Netzebene erreicht werden.

Im Zeichengabenetz erfolgt in der Ebene der WVSt die Anbindung an das Intelligente Netz (**IN**) zur Bereitstellung der neuen Mehrwertdienste. Diese Anbindung ( *Triggerpunkt* ) kann bei Bedarf aber auch leicht in die KVSt oder gar die TVSt verlagert werden.

Im Rahmen der Deregulierung des Telekommunikations-Marktes ( TK-Markt ) entstehen seit Anfang der 90er Jahre zunehmend weitere TK-Netze ( z.B. Netz für Mobilfunk, Netze von Wettbewerbern der Telekom ). Um diese Netze einerseits miteinander zu verbinden, sie andererseits aber technisch, regulatorisch und abrechnungsmäßig sauber von einander zu trennen, wurde von der Regulierungsbehörde Reg TP der Begriff **Point of Interconnection (PoI)** definiert.

Dieser Punkt dient der gegenseitigen Abrechnung der Carrier und ist technisch üblicherweise durch eine sogenannte **Netzübergangs-VSt (VE:N)** realisiert. An dieser "besonderen" Vermittlungsstelle werden die Nutzkanal-Bündel vom eigenen Netz zu einem fremden Netz übergeben.

Im dazugehörigen Zeichengabenetz wird eine Trennung dadurch erreicht, dass zwischen fremden Netzen mit dem Netzindikator **nat1 = 1** signalisiert wird. Dadurch entsteht zwischen fremden Netzen ein sogenanntes **Zeichengabe-Zwischennetz** mit eigenen Signalling Point Codes, die vom Reg TP zugewiesen werden. Damit besitzt

eine VE:N, genauso wie eine AVSt, 2 verschiedene Signalling Points, nämlich den im eigenen Netz sowie den im ZG-Zwischennetz.

Die VE:N können technisch als Stand Alone VSt aufgebaut sein. Zumeist sind sie jedoch als **softwaremäßige VE:N-Funktion** in den WVSt, den KVSt und neuerdings auch schon in einigen TVSt integriert.

Der Verkehr, der zu fremden Netzen gehen soll, wird auf Grund der gewählten **Dienstekennzahl** ( z.B. 0171, 0160 ) oder der neuerdings **stets** zusätzlich vorhandenen **Carrie-Auswahlkennzahl** ( z.B. 010xy ) erkannt, entsprechend geroutet und dann auch abgerechnet.

Für das Accounting zwischen den Carriern sind von der Reg TP bis zu 475 Einzugsbereiche definiert. Nur wenn Deutschland weit der gesamte Fremdverkehr **jeweils ortsnah** an den betreffenden VE:N übergeben wird, werden untereinander die Minimaltarife verrechnet. Ansonsten steigt das Entgelt für die vom marktbeherrschenden Carrier erbrachte Vorleistung.

## 4 Verkehrstheorie

So wie bei anderen Dienstleistungen wird auch der Telefondienst zu ganz bestimmten Zeiten ganz besonders stark genutzt. Es ergibt sich dabei ein typischer Verlauf des Verkehrs (*gemessen in Erlang*) über 24 Stunden mit **zwei Verkehrsspitzen** gemäß **Bild 4-1a**. Neben den üblichen Einflüssen der Hauptarbeitszeiten im Geschäftsleben sind auch die Gebühreneinflüsse (verbilligte Abendtarife) für diese Verkehrsverteilung maßgebend. Der private Telefonverkehr am Wochenende übertrifft inzwischen zumeist schon die Werte an Werktagen. Die Ausprägung der Verkehrsspitzen hat sich in den letzten Jahren deutlich zu Gunsten einer allgemein hohen, gleichmäßigen Auslastung über die gesamte Zeit von morgens 10 Uhr bis abends 22 Uhr verändert.

Im krassen Gegensatz dazu steht die Kurve der **Belegungen (Bild 4-1b)**, welche die Anzahl der geführten Gespräche widerspiegelt. Der starke Abfall am Abend beruht auf der extremen Zunahme der privaten Nutzung des Internet in den letzten Jahren. Hierbei nutzten viele Internet-User das Telefonnetz als billigen Zugang zum Internet Service Provider (ISP). Mit verstärkter Nutzung der DSL-Techniken werden sich diese Spitzen sicherlich wieder reduzieren. Die gegenüber den Werktagen nur halb so hohe Sonntagskurve rührt sicherlich von einem deutlich anderen Telefonieverhalten mit langen, privaten Gesprächen und dem Rabatt-Tarif "Aktiv Plus xxL" her. Dadurch verlängern sich die sonst am Tage üblichen mittleren Verbindungsdauern von etwa 120 s je Gespräch ganz erheblich und machen Netzerweiterungen notwendig.

Um eine hohe Dienstgüte (möglichst wenig Besetzungsfälle im Netz) bereitzustellen, wäre es notwendig, alle Einzelkomponenten des Netzes gemäß den Spitzenwerten in der **Hauptverkehrsstunde** zu dimensionieren. Wirtschaftlich günstiger ist es dagegen, den Grundanteil der Verkehrsmenge über hoch ausgelastete Leitungen (**Querwege**) zu führen und nur die **Verkehrsspitzen** als Überlaufverkehr über kleine Bündel, gegebenenfalls sogar über Transit-VSt, und damit über Umwege, zum Ziel zu lenken (**Bild 4-2**). Hierzu bedarf es umfangreicher Planungen und verkehrstheoretischer Berechnungen, um die Möglichkeiten der alternativen Verkehrslenkung optimal zu nutzen. In Zukunft wird dies durch aufwendige Netzmanagement-Techniken der Vermittlungssysteme, die sehr schnell reagieren können, noch weiter verbessert.

Bei den Betrachtungen im Rahmen der **Verkehrstheorie** geht es im Wesentlichen darum,

- eine bestimmte **angebotene Verkehrsmenge** **A [Erl]**
- über eine gegebene **Koppelanordnung**
- auf eine möglichst minimale Zahl von **Abnehmerleitungen** zu lenken **N**
- und dabei bestimmte Güteparameter, die sog. **Verlustwahrscheinlichkeit** einzuhalten **B [%]**

Folie 4-1

Es werden dabei in der Verkehrstheorie Grundbegriffe und Bezeichnungen gemäß **Bild 4-3** verwandt.



Abhängig von verschiedenen Vereinfachungen über

- die unterstellte **Anzahl an Quellen und Abnehmern**
  - endlich oder unendlich
- **Belegungsverhalten der Quellen**
  - gleichmäßiges Verkehrsangebot ( Glockenkurve ) oder "spitzig"
- **Erreichbarkeit  $k$**  der Abnehmerleitungen
  - voll oder begrenzt
- und einem ggf. zugestandenen **Verlust**

gibt es verschiedene **verkehrstheoretische Modelle (Bild 4-4)**, die jeweils versuchen, die Wirklichkeit durch mathematische Formeln abzubilden.

Für die besonders einfache **Poisson-Verteilung** ergibt sich eine Belegungswahrscheinlichkeit  $w$  gemäß **Bild 4-5a**.

Das bekannteste Modell, das zusätzlich auch einen Verlust zulässt, ist die sogenannte **Erlang'sche Verlustformel (Bild 4-5b)**, in der unter vereinfachten Prämissen die 3 Hauptparameter der Verkehrstheorie miteinander verknüpft sind. Hierzu gibt es entsprechend berechnete, umfangreiche Tabellenwerke.

Für reale Koppelnetze mit Leitungen, die keine volle Erreichbarkeit haben und die durch die Sammlung von Überlaufverkehren auch keine gleichmäßige Zufallsverteilung 1. Art darstellen, gibt es **verbesserte Verfahren mit** entsprechenden **Korrekturfaktoren (Bild 4-6)**.

Da die Erlang'sche Grundformel die **drei Parameter A, B und N** enthält, können die Zusammenhänge in einem x-y-Achsenkreuz am besten bildlich als **Kurvenscharen** dargestellt werden. Je nach der Fragestellung muss die geeignete Kurvenschar benutzt werden (**Bild 4-7 und Bild 4-8**). Alle Kurven gelten nur unter der Prämisse der vollen Erreichbarkeit  $k = N$  des verwendeten Koppelnetzes.

Sofern man die Gesamtverkehrsleistung eines Bündels durch die Zahl der Leitungen dieses Bündels teilt, erhält man die **normierte Bündelleistung**, also die mittlere Leistung einer einzelnen Leitung im Bündel (**Bild 4-9**). Man erkennt deutlich, dass bei gleichem Verlust die normierte Bündelleistung durch eine höhere Erreichbarkeit ( z.B. *Er-satz von Wähler-Anordnungen durch Koppelfelder oder Zeitvielfach- Koppelnetze* ) zwar verbessert werden kann, den Wert von 0,9 Erlang aber selbst in Querwegen mit erlaubtem Verlust von  $B = 20\%$  nicht überschreitet. Bei Bündeln mit sehr geringen Plan-Verlusten von  $B = 1\%$  sinkt die Bündelleistung sogar ganz erheblich ab.

Aus den Kurven lassen sich insgesamt folgende wichtige **Grundaussagen** ablesen:

- die Zusammenhänge sind in unteren Bereichen mit kleinen Leitungszahlen und kleinen Verkehrsangeboten und geringen Verlusten **nicht linear !!**  
Erst zu größeren Werten hin werden sie nahezu linear
- geringere Plan-Verluste ( für Leitungen des Kennzahlwegs ) erfordern **deutlich mehr** Leitungen
- die Zusammenlegung **kleiner** Bündel erbringt **Bündelgewinne**
- Erreichbarkeiten unter  $k = 20$  ( *typisch für Wähler* ) reduzieren **deutlich** die Leistungsfähigkeit
- selbst in großen Bündeln mit voller Erreichbarkeit und erlaubtem Verlust bleibt die maximal mögliche Verkehrsleistung einer Leitung **deutlich unter 1 Erlang**

## 5 Netzplanung

Die Verkehrstheorie bildet die Grundlage der realen Netzplanung. Hinzu kommen jedoch noch weitere Gesichtspunkte, wie sie im **Bild 5-1** dargestellt sind. Die plakativsten Zahlen dabei sind die aus Qualitätsgründen vom Netzbetreiber vorgegebenen **Verlustwahrscheinlichen** auf den Netzabschnitten sowie der Wert, ab welcher Anzahl von Leitungen es sich aus Kostengründen im allgemeinen lohnt, einen **Querweg** einzurichten (**Bild 5-2**).

Aufgrund von jährlich durchgeführten Verkehrsmessungen in allen VSt bzgl. der **Menge** und der **Struktur des Telefonverkehrs** ergibt sich eine große Datenmenge des Ist-Verkehrs. Diese Werte müssen um globale und örtliche Faktoren, die die zukünftige Entwicklung prognostizieren, ergänzt werden.

Erst durch die deutlich verbesserten Verkehrserfassungsmöglichkeiten der rechnergesteuerten DIV-Systeme sowie durch größere EDV-Anlagen mit aufwendiger Planungssoftware (umfangreiche Datenbanken auf BS 2000, inzwischen auf UNIX-Plattform) können **heute** nicht nur die einzelnen Ortsnetze sondern auch das **gesamte Fernnetz** in einem geschlossenen, iterativen Rechengang mittels großen Matrizen mit hunderten von Zeilen und Spalten nach dem "**Kruithof-Verfahren**" durchgerechnet werden. Für die hierarchische Struktur der KVSt und die nicht hierarchische Struktur der WVSt werden selbstverständlich getrennte Rechnerläufe mit unterschiedlichen Planungsalgorithmen durchgeführt. Im Gegensatz zu früher sind damit auch kurzfristige Netzberechnungen mit geänderten Eingangsparametern für Alternativrechnungen und für Modellstudien möglich.

Das Ergebnis des Planungsprozesses sind drei getrennte Listen (**Bild 5-3**)

- Leitungsbedarfsvorhersage je Ortsnetz (LBVO)
- Leitungsbedarfsvorhersage Fernnetz (LBVF)
- Leitungsbedarfsvorhersage Auslandsnetz (LBVA)

nach denen in einem abgestimmten Planungsverfahren alle notwendigen Einrichtungen der

- Vermittlungstechnik (Koppelnetz, Anschlussmodule, früher auch Wähler)
- Übertragungstechnik (Multiplexer, Verstärker)
- Linientechnik (Kabel, früher auch Richtfunk)

für das Telefon- / ISDN-Netz zeitgerecht aufgebaut werden.

Der Leitungsbedarf für sonstige Fernmeldedienste (z.B. Daten, Rundfunk, Mietleitungen) wurde **früher** lediglich durch Zuschlagsfaktoren pauschal ermittelt.

**Heute** werden wegen der ständig wachsenden Bedeutung dieser Dienste hierfür eigenständige Prognosen erstellt, insbesondere auf Grund des starken Booms bei IP-Diensten, die gegenüber dem schmalbandigen Telefondienst riesige **Bedarfe an Bandbreite** haben und mittlerweile die Größe und Struktur der Backbone-Übertragungsnetze dominieren.