

# Wege des Nachrichtenverkehrs

## KURZFASSUNG

32 Seiten

## INHALT

<b>1</b>	<b>Übersicht.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Wegedurchschaltung und Nachrichtentransport.....</b>	<b>3</b>
2.1	Leitungsvermittlung.....	4
2.2	Speichervermittlung.....	5
2.3	Paketvermittlung.....	6
2.4	Zellenvermittlung (ATM — Asynchronous Transfer Mode).....	7
<b>3</b>	<b>Leitungsvermittlung - Grundfragen der Verkehrstheorie.....</b>	<b>8</b>
3.1	Kenngößen des Verkehrs.....	11
3.2	Verarbeitungsweise des Verkehrs (Verkehrsmodelle).....	14
3.3	Verkehrstheoretische Betrachtung von Leitungsbündeln und Leitungen.....	17
3.4	Verkehrstheoretische Betrachtung von Koppelanordnungen.....	19
3.4.1	Verluste in Koppelanordnungen.....	20
3.4.2	Das Leistungsvermögen von Koppelanordnungen.....	23
3.4.3	Mehrstufige Koppelanordnungen.....	25
<b>4</b>	<b>Leitungsvermittlung - Verkehrslenkung.....</b>	<b>27</b>
4.1	Abschnittsweise Verkehrslenkung.....	27
4.2	Weitspannende Verkehrslenkung.....	28
4.2.1	Feste Verkehrslenkung.....	28
4.2.2	Alternative Verkehrslenkung.....	28
4.2.3	Adaptive Verkehrslenkung.....	29
<b>5</b>	<b>Kontrollfragen.....</b>	<b>30</b>
<b>6</b>	<b>Bilder und Tabellen.....</b>	<b>31</b>
<b>7</b>	<b>Abkürzungen.....</b>	<b>32</b>
<b>8</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>32</b>

## 1 Übersicht

Die Durchschaltung von Nachrichtwegen erfolgt über Koppelnetze oder Einrichtungen bzw. Verfahren mit koppelnetzähnlichen Eigenschaften – z.B. Adressmultiplexverfahren. Zu Beginn der Vermittlungstechnik erfolgte die Wegedurchschaltung ausschließlich verbindungsorientiert über ein fest zugeordnetes Leitungspaar; und wurde daher auch als „Leitungsvermittlung“ bezeichnet. Dieses Prinzip wurde in späteren Jahren durch die „Paketvermittlung“ ergänzt, die zur Datenübertragung eingesetzt wurde. Lange Zeit bestand die Ansicht, dass Sprachkommunikation nur leitungsbezogen durchgeführt werden kann; heute setzt sich langsam aber sicher auch für Sprache die paketerorientierte Wegedurchschaltung – z.B. IP-Netze oder Frame Relay-Netze - durch. In Datennetzen mit Paketvermittlung unterscheidet man zwischen den Prinzipien der leitungsorientierten und der nicht leitungsorientierten, oder sog. verbindungslosen Wegedurchschaltung. Bei leitungsorientierten Verbindungen nehmen alle Datenpakete den gleichen Weg durch das Netz – man spricht von einer virtuellen Verbindung, bei verbindungsloser Wegedurchschaltung können die Datenpakete einer Verbindung unterschiedliche Wege durch das Netz nehmen .

Nachrichtenverbindungen zwischen zwei Teilnehmern werden durch Koppelnetze in den an der Verbindungswegedurchschaltung beteiligten Vermittlungsstellen auf Grund der Teilnehmer-Wahlinformation geschaltet. Da nie alle Teilnehmer eines Telekommunikationsnetzes, aber auch nie alle an eine Vermittlungsstelle angeschlossenen Teilnehmer gleichzeitig miteinander kommunizieren wollen, kann die Anzahl der zu schaltenden Verbindungswege immer kleiner als die Anzahl der vorhandenen Teilnehmer sein. Koppelnetze haben daher u.a. die Aufgabe den aktiven Teilnehmerverkehr auf die nachrichtenführenden Leitungswege zu konzentrieren und auf der passiven Seite wieder zu expandieren, aber auch innerhalb eines Netzes zwischen den Vermittlungsstellen zu verteilen. Die erforderlichen Leitungszahlen für die Verkehrskonzentration und Verkehrsverteilung können mit Hilfe der Verkehrstheorie errechnet werden.

Als Basis für die verkehrstheoretische Berechnung von Leitungszahlen wird der Verkehr der Hauptverkehrsstunde herangezogen der empirisch zu ermitteln ist. Weiters ist die Hardwaretechnologie des Koppelnetzes zu berücksichtigen und zwischen Verlustverkehr und Warteverkehr zu unterscheiden.

Um die Anzahl der Koppelpunkte möglichst gering zu halten werden die Koppelnetze größere Vermittlungsanlagen immer mehrstufig ausgeführt. Dies kann dazu führen, dass ein freier Koppelnetzausgang nicht erreicht werden kann, weil innerhalb des Koppelnetzes keine freien Leitungen mehr verfügbar sind. Solche Verbindungen werden als Verlustverbindung bezeichnet.

### Schlüsselwörter

Verbindungsorientierte Wegedurchschaltung, nicht verbindungsorientierte Wegedurchschaltung, Leitungsvermittlung, Paketvermittlung, traffic engineering, Hauptverkehrsstunde, Verkehrsmenge, Verkehrswert, Verlustverkehr, Warteverkehr, Leitungsbündel, Koppelanordnung, ein und mehrstufige Koppelnetze, Erreichbarkeit, Verkehrslenkung

**2 Wegedurchschaltung und Nachrichtentransport**

Grundsätzlich kann in der Telekommunikation zwischen zwei Durchschalteprinzipien unterschieden werden, der

- verbindungsorientierten und der
- nicht verbindungsorientierten Wegedurchschaltung

**(1) Verbindungsorientierte Durchschaltung** bedeutet, dass eine Nachrichtenverbindung drei Phasen zu durchlaufen hat, nämlich

- Verbindungsaufbau
- Nachrichtenaustausch und
- Verbindungsabbau

Die verbindungsorientierte Durchschaltung kann sowohl bei der Durchschaltung von Sprache als auch beim Transport von Daten eingesetzt verwendet werden. Da beim verbindungsorientierten Durchschalteprinzip ein fester Weg vorgegeben ist können einander Nachrichten, z.B. Datenpakete, auf ihrem Weg von der Quelle zur Senke nicht überholen.

**(2) Nicht verbindungsorientierte Durchschaltung** kann nur bei Datenvermittlung eingesetzt werden und bedeutet, dass der Austausch von Nachrichtenpaketen spontan, d.h. ohne vorherigen Verbindungsaufbau und natürlich auch ohne nachfolgenden Verbindungsabbau erfolgt. In diesen Fällen enthält der Paketkopf die gesamte Zielinformation – B-Adresse. In den Vermittlungsknoten solcher Telekommunikationsnetze werden die Pakete über den ersten in Richtung Ziel führenden Weg weitergeschaltet, was dazu führen kann, dass die einzelnen Pakete unterschiedliche Wege durch das Netz nehmen und einander eventuell überholen. Aufgrund einer Paketfolgenummer wird jedoch in der Zielvermittlungsstelle die ursprüngliche Paketreihenfolge wieder hergestellt.

Neben den beiden Durchschalteprinzipien welche die Art der Wegedurchschaltung zwischen Quelle und Senke beschreiben kann noch die Art des Nachrichtentransports unterschieden werden.

Nachfolgende Tabelle und nachfolgendes Bild zeigen die Zusammenhänge zwischen den Durchschalte- und Vermittlungsprinzipien.

Durchschalteprinzip	Vermittlungsprinzip			
	Leitungsverm.	Speicherverm.	Paketverm.	Zellenverm.
verbindungsorientiert	JA	JA	JA	JA
nicht verbindungsorientiert	NEIN	NEIN	JA	NEIN

Tabelle 1 Durchschalte- und Vermittlungsprinzipien

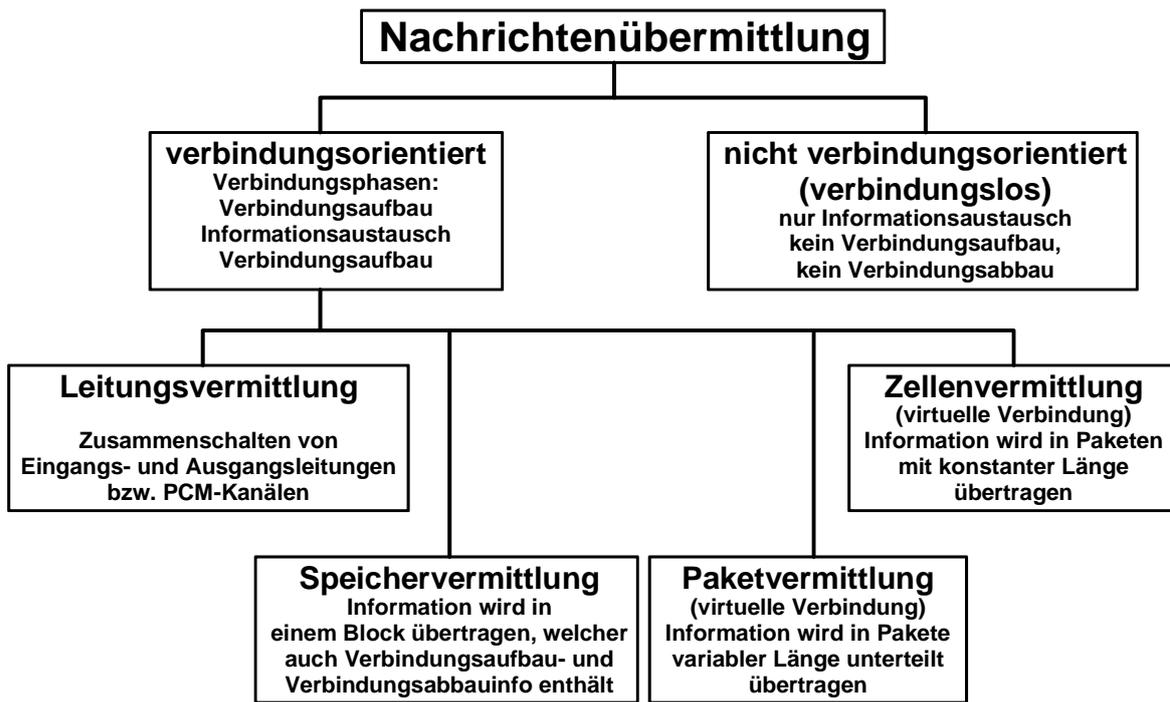


Bild 1 Vermittlungsprinzipien - Übersicht

## 2.1 Leitungsvermittlung

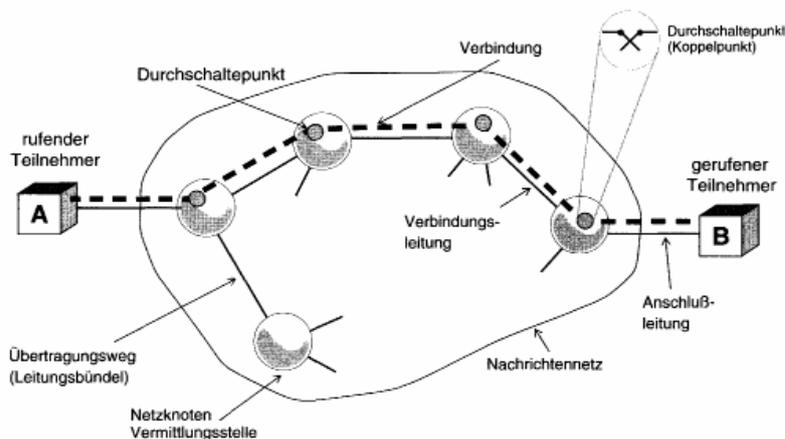


Bild 2 Das Leitungsvermittlungsprinzip

(3) Bei der Leitungsvermittlung werden die Anschlussleitungen des A- und B-TIn und die von den Steuerungen der Vermittlungsstellen festgelegten Verbindungsleitungen zwischen den Vermittlungsstellen einer Verbindung zugeordnet. Nach dem Durchschalten der Koppelnetze werden diese Teilstücke zu einer Nachrichtenverbindung zusammengeschaltet. Die Verbindung steht den beiden Kommunikationsteilnehmern für die Dauer der Verbindung zur exklusiven Nutzung zur Verfügung und ist während dieser Zeit für andere Teilnehmer nicht zugänglich. Die Leitungsvermittlung kann dadurch bei manchen Verkehrsarten sehr unwirtschaftlich sein, weil die gesamte Kanalkapazität zur Verfügung gestellt wird, auch wenn zeitweise kein Informationsaustausch erfolgt.

Die Verbindungsdurchschaltung kann im Räummultiplex oder im Zeitmultiplex erfolgen. Im Räummultiplex kann die Koppelung der Nutzkanäle mittels elektromechanischer Schalter (Relais, Wähler) oder durch elektronische Koppelfelder erfolgen. Der Vermittlungsvorgang erfolgt durch das Verbinden von ankommenden und abgehenden Leitungen in den Koppelnetzen.

Im Zeitmultiplex wird ein festgelegter ankommender Kanal in die Koppereinrichtung eingespeichert und auf einer ausgewählten Leitung zu einem gewählten Zeitpunkt wieder ausgespeichert. Der Vermittlungsvorgang erfolgt also durch das Verschieben von z.B. digitalisierter Sprachinformation von einem Zeitschlitz in einen anderen und von einer Multiplexleitung auf eine andere. Man bezeichnet solche Verbindungen auch als virtuelle Verbindungen da sie nur während der Durchschaltung der PCM-Codeworte vorhanden sind.

## 2.2 Speichervermittlung

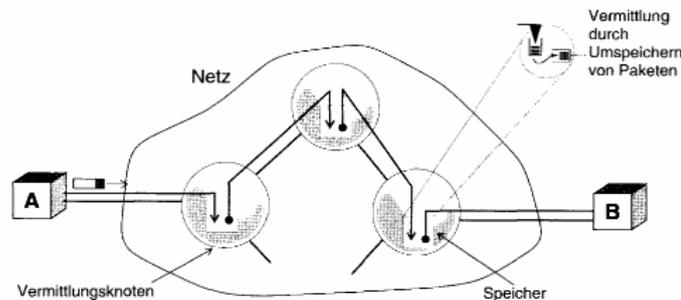


Bild 3 Das Speichervermittlungsprinzip

(4) Speichervermittlung, auch „store and forward switching“ oder „message switching“ genannt, bietet sich bei einem nicht kontinuierlichen Nachrichtenfluss an, wie z.B. dem Übertragen eines Telegramms oder eines Datenfiles. Da keine Notwendigkeit besteht eine durchgehende Verbindung zwischen den Endgeräten herzustellen wird jede Nachricht von Knoten zu Knoten durch das Netz geführt. An jedem Knoten wird die Nachricht vollständig empfangen, kurz gespeichert und an einen nachfolgenden Netzknoten weitergesendet. Nachrichtenverlust durch Besetztfälle sind in einem solchen System grundsätzlich nicht möglich, weil die Nachricht so lange wartet, bis der nachfolgende Knoten oder die Empfangsstation empfangsbereit ist.

Bei „message switching“ wird daher immer nur ein Paket übertragen, das nicht nur die gesamte Nachricht, sondern auch die Verbindungsaufbau- und Verbindungsabbau-Information enthält.

Ein offensichtlicher Vorteile der Speichervermittlung ist die hohe Leitungsausnutzung, da Verkehrsspitzen durch Zwischenspeichern der Nachrichten abgeflacht werden. Für ein vorgegebenes Verkehrsvolumen wird daher bei Speichervermittlung weniger Übertragungskapazität benötigt als bei Leitungsvermittlung. Die charakteristische Systemgröße in einem Speichervermittlungsnetz ist deshalb die mittlere Wartezeit. Sie ist bestimmt durch die Dimensionierung der Verbindungsleitungen und durch die Verarbeitungsgeschwindigkeit der speichernden Netzknoten.

2.3 Paketvermittlung

(5) Die Paketvermittlungstechnik bezeichnet man auch als packet switching“. Sie versucht die Vorteile der Leitungsvermittlung und der Speichervermittlung auszunutzen die Nachteile jedoch möglichst gering zu halten. Die Paketvermittlung bedient sich des Speichervermittlungsprinzips mit dem Unterschied, dass die dort beliebig langen Nachrichten bereits vom Endgerät in Blöcke fester begrenzter Länge unterteilt werden, denen man eine zusätzliche Steuerinformation voransetzt. Nutzinformation und Steuerinformation zusammen bilden ein sog. Paket. Im Paketkopf werden die Pakete nummeriert und als zu einer Verbindung gehörend gekennzeichnet, diese Verbindungskennzeichnung wird als logische Kanalnummer bezeichnet.

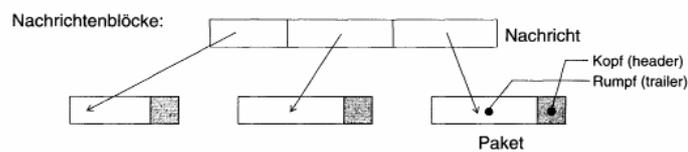


Bild 4 Aufteilung der Nachrichten in Pakete

Durch Unterteilung längerer Nachrichten in Datenpakete werden die Wartezeiten bis zum Freiwerden einer abgehenden Leitung in der Vermittlungsstelle verkürzt, d.h. die Netzdurchlaufzeit verringert. Werden darüber hinaus netzintern deutlich höhere Übertragungsgeschwindigkeiten benutzt als auf der Anschlussleitung, so entstehen Durchlaufzeiten in einer Größenordnung, wie sie auch für leitungsvermittelte Netze charakteristisch sind und die auch interaktiven Verkehr erlaubt.

Die Verbindung zwischen Quelle und Senke (Sender und Empfänger) wird in der Realität nicht durchgeschaltet, sondern besteht nur während der Laufzeit der Pakete. Für den Benutzer jedoch besteht die Verbindung scheinbar immer, weil Informationspakete zum gewünschten Ziel übertragen werden, sobald welche vorliegen. Man spricht daher in diesem Zusammenhang von einer virtuellen Verbindung.

Netzintern kann eine Folge von Paketen entweder mit verbindungsorientierter Durchschaltung oder mit nicht verbindungsorientierter Durchschaltung übermittelt werden.

- Bei verbindungsorientierter Durchschaltung wird der Nachrichtenweg durch Verbindungssteuerungspakete auf oder abgebaut.
- Bei nicht verbindungsorientierter Durchschaltung ist in jedem Paketkopf zusätzlich die Adresse der Zielvermittlungsstelle enthalten um das Paket durch das Netz transportieren zu können.

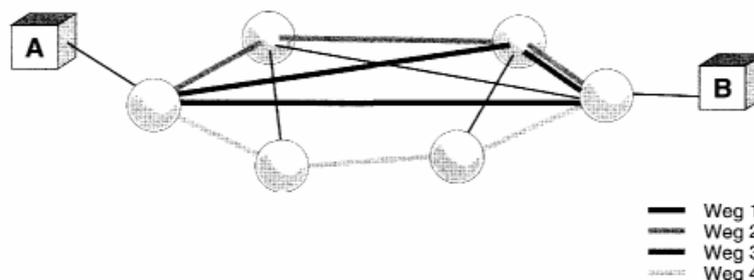


Bild 5 Pakettransport bei nicht leitungsorientierter Durchschaltung

## 2.4 Zellenvermittlung (ATM — Asynchronous Transfer Mode)

(6) Der Asynchrone Transfer Modus arbeitet nach einem vereinfachten Paketvermittlungsverfahren und mit verbindungsorientierter Durchschaltung. Das ATM-Verfahren basiert auf der Übermittlung sog. Zellen, die immer eine begrenzte, feste Länge von 53 Byte haben. Auch den Informationsfeldern der ATM-Zellen wird eine zusätzliche Steuerinformation vorangestellt (Zellenkopf), anhand derer die Leitung der Zellen durch das Netz erfolgt. Diese ATM-Zellen werden durch die Endeinrichtungen je nach Bandbreitenbedarf der Kommunikationsquellen den jeweiligen Verbindungen zugeordnet (Kennzeichnung im Zellenkopf).

Die gesamte Bandbreite eines ATM-Anschlusses wird nicht wie bei den anderen Verfahren in eine Anzahl von Kanälen mit begrenzter Bandbreite unterteilt, sondern sie steht, je nach Vereinbarung für die entsprechende Verbindung den verschiedenen Verbindungen zum Austausch einer variablen Anzahl von Zellen je nach Bedarf der Kommunikationsquelle zur Verfügung.

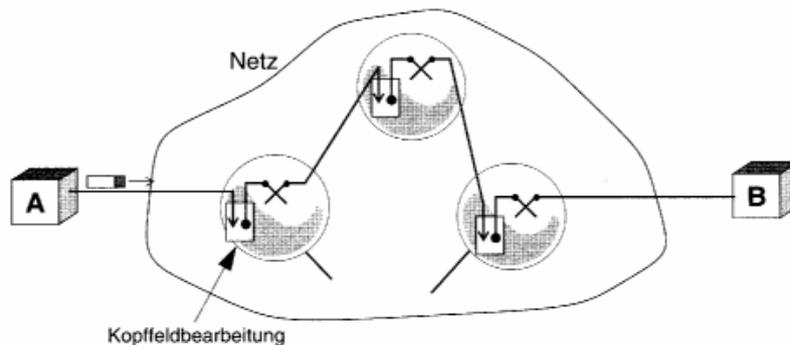


Bild 6 Das Zellenvermittlungsprinzip

Die Vermittlung der Zellen erfolgt durch Koppelnetze in den Vermittlungsstellen, die eine Vermittlung je Zelle vornehmen. In den Eingangsstufen der Vermittlungsstelle wird für jede Zelle der Zellenkopf bearbeitet und die Zelle aufgrund der Informationen im Kopffeld (ggf. erweitert um interne Steuerinformationen) durch das Koppelnetz zum entsprechenden Ausgang vermittelt. Auch bei diesem Verfahren spricht man von virtuellen Verbindungen, da die Durchschaltung nur während der Zellenlaufzeit durch das Koppelnetz existiert.

Das Kennzeichen einer virtuellen Verbindung von Teilnehmer zu Teilnehmer ist in diesem Fall eine logische Kanalnummer, die beim Verbindungsaufbau für jede Teilstrecke getrennt vergeben wird, und die auch jede Zelle mit sich trägt. Der Begriff "logischer Kanal" weist darauf hin, dass es sich um eine Adressen-Multiplexübertragung auf einer physikalischen Leitung handelt.

3 Leitungsvermittlung - Grundfragen der Verkehrstheorie

In Telekommunikationsnetzen mit Leitungsvermittlung – z.B. Fernsprechen - wird die Verbindung zwischen zwei Teilnehmern mindestens über eine, meist jedoch über mehrere Vermittlungsstellen/Knoten zusammenschaltet. In den Vermittlungsstellen sind es in der Regel die Koppelnetze denen die Aufgabe obliegt kommende und gehende Leitungen zu einem Nachrichtenweg zu verbinden.

Da man davon ausgehen kann, dass in einem Telekommunikationsnetz nie alle Teilnehmer gleichzeitig die Netzressourcen benützen wollen ist die Anzahl der möglichen durchschaltbaren Verbindungswege aus Kostengründen immer geringer als die Anzahl der an das Netz angeschlossenen Teilnehmer – in der Regel weniger als 10%.

Das folgende Bild zeigt dieses Prinzip:

Die anrufenden Teilnehmer, als Quellen des Verkehrs bezeichnet, generieren den abgehenden Verkehr, der in einer Koppelanordnung konzentriert wird und in Richtung Senken fließt. Vor Erreichen der Senken expandieren die Leitungen über eine weitere Koppelanordnung wieder, da es wegen der erfolgten Verkehrskonzentration mehr Teilnehmeranschlüsse als gesprächsführende Leitungen gibt.

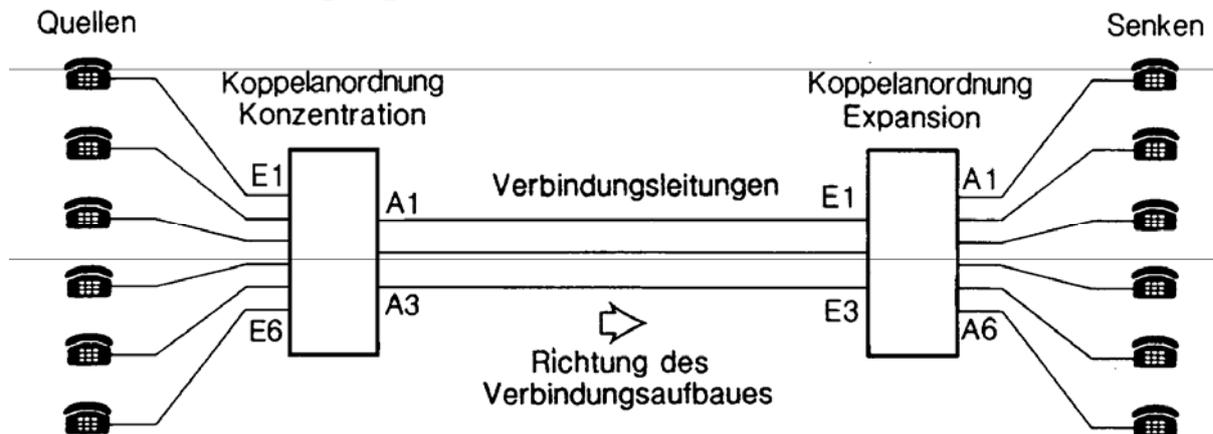


Bild 7 Wege des Nachrichtenverkehrs (vereinfacht)

Das aus dieser Tatsache abgeleitete Bedürfnis den Aufwand an Schaltmitteln und Leitungen zu minimieren führte zur Entwicklung der Verkehrstheorie, die nur für leitungsvermittelte Systeme aber nicht für paketvermittelte Systeme angewendet werden kann., Die Begründung der Verkehrstheorie wird dem dänischen Mathematiker Agner Krarup Erlang zugeschrieben. Er publizierte 1909 als Mitarbeiter der Kopenhagen Telefon Kompanie eine Arbeit zum Thema „Wahrscheinlichkeitslehre im Telefonverkehr“.



Bild 8 Agner K. Erlang (1878 - 1929)

Zur Zeit der Einführung des Selbstwählverkehrs hatten Teilnehmer beobachtet, dass bei starkem Telefonverkehr unangenehme Wartezeiten auftraten, bis der Verbindungswunsch erledigt werden konnte. Erlang versuchte diese Wartezeit nach Gesichtspunkten der Statistik zu berechnen und publizierte 1917 Berechnungsmethoden für Verlust- und Wartesysteme, welche bald in vielen Telefongesellschaften zur Bemessung der Vermittlungseinrichtungen benutzt wurden.

Erlang ging davon aus, dass die Poisson-Verteilung die Zahl der Anrufe in einem vorgegebenen Zeitintervall am besten beschreibt und zog eine Exponentialverteilung der Belegzeit in Betracht, d.h. dass längere Gespräche seltener vorkommen als kurze Telefonate. Erlangs Annahme sagt aus, dass die Zahl der jeweils in einer kurzen Zeitspanne beendeten Gespräche proportional zur Länge des Zeitintervalls und zur Anzahl der gerade geführten Gespräche ist, unabhängig davon, wann die Gespräche begonnen haben.

Grundlage der Verkehrstheorie sind also die Anwendung der Wahrscheinlichkeitstheorie und die mathematische Statistik. Die Methoden der Verkehrstheorie sind das Bilden von Verkehrsmodellen und deren Verifizierung sowie die Systemanalyse und -synthese.

In Anerkennung der Arbeiten Erlangs hat die ITU-T 1946 beschlossen, die Einheit des Verkehrs mit dem Namen „erlang“ (Symbol = E bzw. Erl) zu benennen (Recommendation B.18)

**(7)** Durch das Bilden von Verkehrsmodellen und deren Verifizierung sowie durch Systemanalyse und -synthese stellt die Verkehrstheorie (teletraffic theory, queuing theory) heute die notwendigen Methoden und Konzepte für das Traffic Engineering zur Verfügung welches dem Entwurf, der Planung und dem Betrieb von Kommunikationsnetzen unter Qualitäts- und Leistungsaspekten dient.

Das Traffic Engineering deckt folgende Aufgabengebiete ab:

- Festlegung und Entwicklung von Dienstqualität
- Verkehrsmessungen und -vorhersage
- Verkehrscharakterisierung
- Netzplanung und
- Netzmanagement (Network Management) z.B. für Sicherung der Verkehrsqualität.

Die Dienstqualität (Quality of Service, Dienstgüte) beschreibt die Bedingungen und Eigenschaften (Verbreitung des Dienstes, Service, die Übertragungs- und Verkehrsqualität) unter denen ein Kommunikationsdienst dem Nutzer angeboten wird.

Die Verkehrsqualität (Grade of Service, Verkehrsgüte) ist die Fähigkeit eines Kommunikationssystems/-netzes oder deren Komponenten, die Kommunikationsforderungen der Nutzer abzuarbeiten. Die Qualität und Leistungsfähigkeit wird durch Kenngrößen, wie Blockierungs-, Verlust- und Wartewahrscheinlichkeiten, Durchsatz, Wartezeiten, Antwortzeiten u.ä. charakterisiert.

Diese Kenngrößen beziehen sich auf Belegungen, Verbindungen, Pakete, Zellen, Rahmen, Bits und sind belastungsabhängig. Dabei wird zwischen Normal- und Überlastsituationen unterschieden. Die Qualitätskenngrößen müssen in diesen Situationen mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit eingehalten werden. In Kommunikationssystemen beeinflusst das Verhalten der Nutzer die Einhaltung der Qualitätskenngrößen.

**(8)** Verkehrsmessungen quantifizieren die aktuellen Werte und Veränderungen der Kommunikationsbedingungen. Sie dienen auch der Überwachung der Verkehrsbelastung des Netzes, von Netzabschnitten und innerhalb von Netzknoten und Einhaltung vorgegebener Leistungs- und Qualitätsstandards. Für die mittel- und langfristige Planung, Investitionsvorbereitung und die Festlegung von Ausbaustrategien werden aus den gemessenen Daten Verkehrsvorhersagen abgeleitet.

Verkehrereignisse wie Belegungen und Bedienungszeiten sind Zufallsereignisse. Die Beschreibung dieser Ereignisse erfolgt durch Verkehrscharakteristika, ausgedrückt durch Mittelwert und Varianz. Werden die Verkehrereignisse in ihrem zeitlichen Verlauf dargestellt, handelt es sich um stochastische Prozesse. Charakteristisch sind dann die Mittelwert- und die Varianzfunktion.

Netzplanung ist das Strukturieren, Dimensionieren und Optimieren von Kommunikationsnetzen und deren Komponenten.

Bestandteile der Planungsalgorithmen sind Last- und Verkehrsgüteparameter, Kostenfunktionen, Planungszeiträume, territoriale Quellenverteilungen, Standorte von Netzkomponenten und Vorhersagewerte.

**(9)** Das Netzmanagement ist Teil des Betriebens von Kommunikationsnetzen. Ziel ist die ständige Sicherung von Bedingungen, die eine maximale Verkehrsleistung bei vorgegebenen Verkehrsgütwerten gewährleisten.

Managementaufgaben sind z. B.:

- gleichmäßige Verkehrslastverteilung durch geeignete Beschaltung von Vermittlungseinrichtungen und anderen Netzkomponenten;
- Verkehrslenkungs-(Routing-) Verfahren für einen hohen Netzdurchsatz bei gleichzeitiger Einhaltung von Verkehrsgütekenngrößen;
- Sicherstellung der Dienst- und Verkehrsgüte einzelner Dienste oder Nutzergruppen und Verkehrsarten;
- Schutz der Kommunikationsnetze und ihrer Steuereinrichtungen gegen Überlast und Leistungsabfall bei Ausfällen von Kommunikationswegen oder Netzknoten.

### 3.1 Kenngrößen des Verkehrs

Die Kenngrößen des Verkehrs beschreiben die Qualitäts- und Leistungsverhältnisse in Nachrichtennetzen; sie sind die Grundlage für die Aktivitäten des Traffic Managements. Man versteht darunter die wirtschaftlich optimale Dimensionierung von:

- Leitungsbündeln zwischen Vermittlungseinrichtungen,
- leitungsindividuellen Einrichtungen innerhalb der Vermittlungsstellen,
- semiperipheren Einrichtungen (Register und Vermittlungsplätze),
- mittel- bzw. hochzentralisierten Einrichtungen in zentral gesteuerten Vermittlungssystemen (Zuordner, Rechner, Markierer),
- Koppeleinrichtungen zwischen den oben erwähnten Einrichtungen.

Unter Zuhilfenahme derselben Tabellen, Formeln und Regeln können darüber hinaus

- Berechnungen des Stromverbrauches von Vermittlungsstellen,
- Lebensdauerberechnungen der angewandten Bauelemente und
- Systemzuverlässigkeitsvorhersagen erstellt werden.

#### Hauptverkehrsstunde (busy hour)

Erfahrungsgemäß ist das Verkehrsverhalten der Teilnehmer nicht rein statistisch, sondern es ergeben sich im Tages- Wochen- und Jahresverlauf gewisse Regelmäßigkeiten<sup>1</sup>, die durch Verkehrsmessungen untersucht werden können.

Aus solchen Verkehrsmessungen lassen sich die zu erwartenden maximalen Belastungen des Systems berechnen. Man definiert etwa die verkehrsstärkste Stunde des Tages, den verkehrsstärksten Wochentag, oder die verkehrsstärkste Jahreszeit. Es wäre aber unwirtschaftlich, ein Telekommunikationssystem so auszulegen, dass der Telefonverkehr zu Silvester um 0:00 Uhr zur Gänze, also ohne Verluste bewältigt werden kann. Es wäre aber auch unzumutbar, wenn nur ein durchschnittlicher Verkehr bewältigt werden könnte. Deshalb versucht man eine repräsentative Belastung als Dimensionierungsbasis zu finden.

**(10)** Als häufig angewendetes Maß dient die sog. „Hauptverkehrsstunde“. Sie wird ermittelt, indem an mindestens 2-mal aufeinander folgenden Werktagen viertelstündlich der Verkehr gemessen wird. Jeweils vier aufeinander folgende Messwerte werden zusammengefasst und zur Mittelwertbildung über alle Messtage verwendet. Die Hauptverkehrsstunde hat also keine bestimmte Zeitlage, sondern zeigt nur die mittlere Belastung während einer Stunde mit höchstem Verkehr. Es darf angenommen werden, dass die Stärke des Verkehrs während der Hauptverkehrsstunden annähernd gleich bleibt und die Anzahl der gleichzeitig bestehenden Belegungen nur statistisch um den Mittelwert, den Verkehrswert schwankt. Bei verkehrstheoretischen Untersuchungen entspricht dies der Voraussetzung, dass sich der Verkehr in den betrachteten Anordnungen im Zustand statistischen Gleichgewichtes befindet.

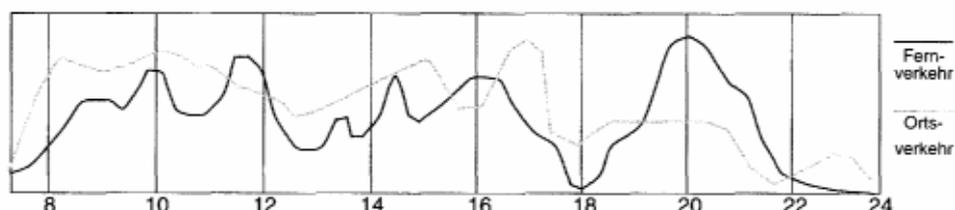


Bild 9 Teilnehmerverhalten

<sup>1</sup> Die signifikanteste Regelmäßigkeit ist die Tageshäufigkeit des Telefonverkehrs.

durch das Verhalten der Fernsprechteilnehmer auch auf Grund von:

- Beginn und Ende der Arbeits- und Geschäftszeiten
- Mittagspausen
- Beginn eines ermäßigten Tarifs und
- Eintritt der Nachtruhe.

## Nachrichtenverkehr, Verkehr, (traffic)

Der Verkehr entsteht durch Benutzung von Leitungen bzw. vermittlungstechnischen Einrichtungen zur Übermittlung von Informationen (Nachrichten), wird also auf der Grundlage von Zeit- und Belegungskenngrößen beschrieben. Seine Kenngrößen sind Verkehrsmenge, Verkehrswert und davon abgeleitete Größen.

## Verkehrsmenge Y (traffic volume)

**(11)** Die Verkehrsmenge Y ist die Summe der Belegungs-(Bedienungs-)Dauern auf einer Gruppe von Bedienungseinheiten während einer Beobachtungsdauer T. Die Maßeinheit ist die Erlangstunde (Erlh).

Jede Benützung einer Einrichtung (z.B. einer Leitung eines Bündels) wird als Belegung bezeichnet. Dabei ist es nicht von Bedeutung, ob die Belegung erfolgreich war und wie lange sie gedauert hat.

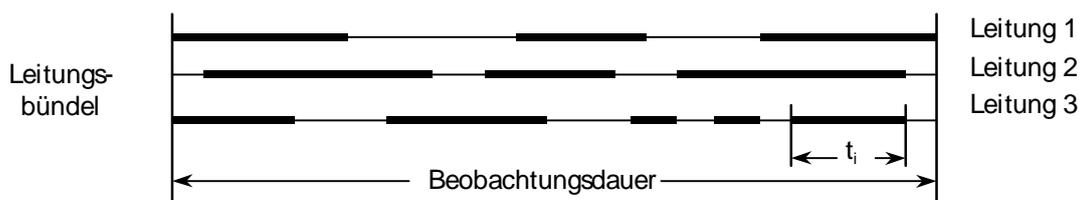


Bild 10 Ermitteln der Verkehrsmenge

Beobachtet man zum Beispiel ein Leitungs-bündel, wird man  $c$  Belegungen unterschiedlicher Dauer  $t_i$  innerhalb des Beobachtungszeitraumes feststellen. Die Summe der Belegungs-dauer, also die Verkehrsmenge Y ist demnach:

$$Y = \sum t_i = c \cdot t_m \text{ (Erlh)}$$

- Y Verkehrsmenge  
 $t_m$  Belegungs-dauer  
 c Anzahl der Belegungen

## Verkehrswert y (traffic intensity)

**(12)** Der Verkehrswert y ist, wie bereits erwähnt, der Quotient aus der mittleren Gesamtbelegungs-dauer und der Dauer der betrachteten Zeiteinheit. Der Verkehrswert ist ohne physikalische Dimension; er wird in Anerkennung der Arbeiten des dänischen Professors A. K. Erlang über Probleme des Fernsprechverkehrs heute in Erlang (Erl) ausgedrückt. Aus der Definition ergibt sich, dass der Fernsprechverkehr (Verkehrswert y) pro Einrichtung immer kleiner als ein Erl sein muss.

$$\text{Verkehrswert [Erl]} = \frac{\text{Verkehrsmenge [Erlh]}}{\text{Beobachtungszeitraum [h]}}$$

oder mathematisch ausgedrückt:

$$y = Y / T = c \cdot t_m / T \text{ (Erl)}$$

y	Verkehrswert [Erl]
Y	Verkehrsmenge; Summe der Belegungsdauern eines Kollektivs von Belegungen einer Einrichtung oder einer Gruppe von Einrichtungen (Bündel) [Erlh]
T	Beobachtungszeit bestimmter Einrichtungen [h]
t <sub>m</sub>	Belegungsdauer
c	Anzahl der Belegungen

Für den Verkehrswert y sind folgende Einheiten gebräuchlich:

- Verkehrseinheit            1 VE        = 1 Erl
- Traffic Unit                1 TU        = 1 Erl
- Unit Call                    1 UC        = 1/36 Erl
- Cent call seconds        1 CCS      = 1/36 Erl
- Equated busy hour call   1 EBHC    = 1/30 Erl

Die Einheit des Verkehrs 1 Erl könnte man auch so definieren, dass eine Einrichtung oder Leitung in einer Stunde 60 Minuten lang durch Belegungen genutzt ist. Dabei stellt 1 Erl den Höchstwert dar, der nur unter idealen Bedingungen erreicht werden kann. Hierzu einige Beispiele:

- Eine Leitung kann einen Verkehrswert y = 1 Erl erbringen.
- Ein PCM-Kanal hat ebenfalls y = max. 1 Erl.
- Ein PCM-Highway hat also y = max. 30 Erl (weil 30 Kanäle verfügbar).
- Durchschnittliche Verkehrswerte:
  - Teilnehmeranschluss an Nebenstellenanlagen        y = 0,2 Erl
  - Teilnehmeranschluss am öffentlichem Netz            y = 0,1 bis 0,15 Erl
  - Leitungen zwischen Nebenstellenanlagen und OVSt    y = 0,8 Erl.

Zum besseren Verständnis sollen diese Zusammenhänge anhand eines Beispiels erläutert werden:

Ein Teilnehmer führt im Zeitraum von 200 Hauptverkehrsstunden insgesamt 370 Gespräche verschiedener Dauer. Die Dauer aller Gespräche zusammengenommen war z.B. 2 Stunden 30 Minuten; man sagt dann, dass der Teilnehmer in dem Beobachtungszeitraum von 200 HVStd 2,5 Erlangstunden Verkehrsmenge generiert hat. Bezieht man die in 200 HVStd generierte Verkehrsmenge auf eine Stunde so erhält man den so genannten Verkehrswert y des Teilnehmers pro Hauptverkehrsstunde in Erlang.

$$y = \frac{Y[\text{Erlh}]}{T[\text{h}]} [\text{Erl}] = \frac{2,5 \text{Erlh}}{200 \text{h}} = 0,0125 \text{Erl}$$

Der errechnete Verkehrswert von 0,0125 Erl ist nur ein Durchschnittswert, was bedeutet, dass der Teilnehmer seine Einrichtung nur in 1,25% der Zeit benützt in der sie ihm zur Verfügung steht, d.h. er telefoniert im Mittel 45 s pro Stunde.

$$3600 \text{s} \cdot 0,0125 = 45 \text{s}$$

## Angebot

Das Angebot ist der Verkehrswert, der einer Anlage oder einem Anlagenteil tatsächlich zur Verarbeitung zugeführt wird, unabhängig, ob er bearbeitet wird oder nicht. Die zu einem tatsächlichen Zeitpunkt (also nicht in der fiktiven Hauptverkehrsstunde) auftretende Anzahl der Belegungsversuche wird  $C_a$  genannt.

Das Angebot an eine Vermittlungseinrichtung ist dann:  $A = C_a \cdot t_m$

## Belastung, Leistung

Als Belastung wird jener Teil des Angebotes bezeichnet, den eine Vermittlungseinrichtung zu einer bestimmten Zeit verarbeitet.

Leistung wird jener (maximale) Verkehrswert genannt, den die Anlage gerade noch verarbeiten kann. Er wird durch Berechnung ermittelt und stellt den Nennwert des garantiert verarbeitbaren Angebots dar; bei VSt-Rechner sind das z.B. die Busy Hour Call Attempts (BHCA-Werte) die von ihm in der Hauptverkehrsstunde verarbeitet werden können.

## 3.2 Verarbeitungsweise des Verkehrs (Verkehrsmodelle)

Da die Zahl der nachrichtenführenden Leitungen in einem Telekommunikationsnetz aus Bedarfs- und Kostengründen immer wesentlich geringer ist als die Zahl der an das Netz angeschlossenen Teilnehmer, kann es vorkommen, dass Teilnehmer manches Mal keinen freien Weg in das Netz, bzw. durch das Netz finden. Je nach Systemkonzept werden diese im Augenblick nicht realisierbaren „Verbindungswünsche“ entweder gespeichert und sofort nach Freiwerden eines benutzbaren Verbindungsweges verarbeitet (= Wartebetrieb) oder abgewiesen, d.h. durch das System verworfen (= Verlustbetrieb).

### Wartebetrieb

**(13)** Beim Wartebetrieb wird der über die Zubringerleitungen einlangende Verkehr über eine Koppeleinrichtung den Abnehmerleitungen angeboten. Sind jedoch im Moment des Einlangens eines neuen Verbindungswunsches alle Abnehmerleitungen besetzt, so wird der Verbindungswunsch nicht zurückgewiesen, sondern die rufende Leitung wird für die nächste freiwerdende Abnehmerleitung sozusagen "vorgemerkt" und beim ersten Freiwerden einer Abnehmerleitung wird die wartende, rufende Leitung sofort mit der freigewordenen Abnehmerleitung verbunden.

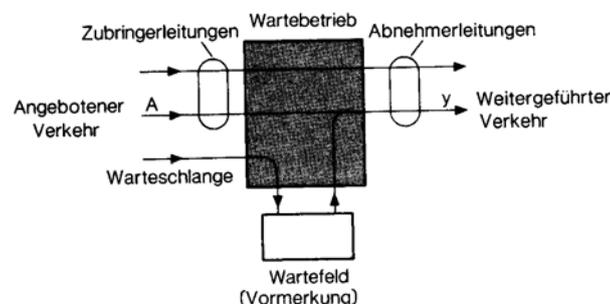


Bild 11 Prinzip des Wartebetriebs

In einem Wartezeitsystem wird jede, während der Blockierungsdauer eintreffende Belegung so lange in einem Wartespeicher gehalten, bis sie - unter der Voraussetzung genügender Geduld des Teilnehmers - an der Reihe ist, auf einen frei gewordenen Verbindungsweg ge-

schaltet zu werden. Bei mehreren wartenden Verbindungen gibt es drei verschiedene Abfertigungsmethoden:

- die Abfertigung in der Reihenfolge des Eintreffens, auch als "first in, first out" oder kurz FIFO bekannt,
- die zufällige Abfertigungsreihenfolge (Random), bei welcher aus der Reihe der Wartenden zufällig ein Wartender herausgesucht wird, egal, ob er sich am Anfang, in der Mitte oder am Ende der Warteschlange befindet und
- die Abfertigungsreihenfolge nach Priorität, bei der jedem Zubringer eine bestimmte Priorität zugeordnet wird. Befinden sich mehrere Zubringer in der Warteschlange, so wird stets zuerst der Zubringer mit der höchsten Priorität abgefertigt, dann der mit der zweithöchsten Priorität usw., gleichgültig in welcher zeitlichen Reihenfolge die Verbindungswünsche eintrafen.

Das von den Quellen erzeugte Angebot gelangt also *ohne Verlust* zu den Abnehmerleitungen, d.h. die Belastung der Anlage ist gleich dem Angebot. Ein Teil des Angebots muss jedoch im Blockierungsfall warten<sup>2</sup>. Die Wartedauer dieser Belegungen ist größer null. Die Wartewahrscheinlichkeit  $P(>0)$  ergibt sich als Quotient aus Anzahl der verzögerten Belegungen  $C_w$  und Anzahl der angebotenen Belegungen  $C_a$

$$P(>0) = C_w(>0) / C_a$$

Die den Teilnehmern zumutbare Wartedauer  $t_0$  wird auf ein erträgliches Maß festgelegt. Trotzdem muss man damit rechnen, dass die Wartedauer einer Belegung manchmal größer ist als  $t_0$ .  $P(>t_0)$  ist die Wahrscheinlichkeit für das Überschreiten einer Wartedauer  $t_0$

$$P(>t_0) = C_w(>t_0) / C_a$$

Eine Aussage über die Zeit, die im Blockierungsfall gewartet werden muss, gibt die mittlere Wartedauer. Man unterscheidet:

- die mittlere Wartedauer  $t_w$  bezogen auf alle Belegungen:  $t_w = t_{wges} / C_a$
- die mittlere Wartedauer  $t_w'$  bezogen auf die wartenden Belegungen:  $t_w' = t_{wges} / C_w(>0)$

Zwischen  $t_w$  und  $t_w'$  besteht folgender Zusammenhang:

$$t_w = P(>0) \cdot t_w' \text{ und } t_w' = t_w / P(>0)$$

In Vermittlungssystemen finden Wartezeitsysteme besonders häufig im zentralen und teilzentralen Bereich Anwendung. Zentrale Funktionen werden nur kurzzeitig während eines Verbindungsaufbaus oder -abbaus benötigt. Diese Geräte haben auch nur sehr kurze Belegungsdauern. Die entstehenden Wartezeiten sind im Normalfall kurz und können in Kauf genommen werden, weil sie vom Benutzer oft gar nicht bemerkt werden.

<sup>2</sup> Für den Teilnehmer bedeutet das, dass er während der Wartezeit keine Reaktion des Vermittlungssystems bemerkt.

**Verlustbetrieb**

(14) Beim Verlustbetrieb erfolgt das Heranführen des Zubringerverkehrs zu den Abnehmerleitungen auf die gleiche Weise wie beim Wartebetrieb; sind jedoch alle Abnehmerleitungen gerade in dem Moment, wenn ein neuer Belegungsversuch einlangt, besetzt, so wird dieser neue Belegungsversuch zurückgewiesen, d.h., der Teilnehmer erhält Besetztton und muss seinen Verbindungswunsch zu einem anderen Zeitpunkt wiederholen. Diese nicht zustande gekommene Verbindung wird als abgewiesener Belegungsversuch bezeichnet und stellen den sog. Verlustverkehr dar.

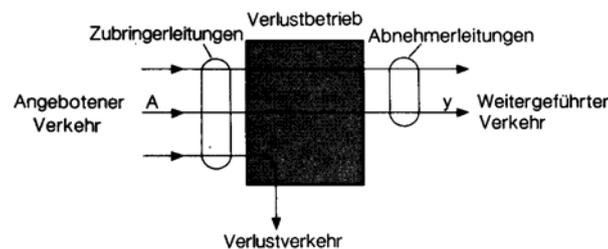


Bild 12 Prinzip des Verlustbetriebs

Das Angebot A ist in einem Verlustsystem eine theoretische Größe, da es nicht zustande kommt. Gemessen werden kann dagegen die Belastung einer solchen Anlage. Die Belastung der Anlage entspricht dabei dem Angebot, welches bearbeitet wird (also der Leistung). Die Belastung (Leistung) ist dabei das Produkt aus der in einer Stunde verarbeiteten Anzahl von Belegungen  $C_y$ , und der mittleren Belegungsdauer  $t_m$  und entspricht dem von der Anlage verarbeitbaren Verkehrswert:

$$\text{Leistung oder Belastung } y = C_y \cdot t_m \text{ (Erl)}$$

Der Teil des Angebotes A, welcher die Leistung übersteigt, wird abgewiesen und wird als Restverkehr bezeichnet:

$$\text{Restverkehr } R = A - y = (C_a - C_y) \cdot t_m \text{ (Erl)}$$

**Verlust bezogen auf das Angebot**

Der Verlust B wird auf das Angebot bezogen und ergibt sich als Quotient aus Restverkehr und Angebot oder aus der Anzahl der zu Verlust gegangenen Belegungen und der Anzahl der angebotenen Belegungen.

$$B = R / A = C_v / C_a.$$

**Verlust bezogen auf die Leistung**

Der Verlust V wird auf die Leistung bezogen, man erhält ihn als Quotient aus Restverkehr und Leistung oder aus der Anzahl der zu Verlust gegangenen Belegungen und der Anzahl der verarbeiteten Belegungen.

$$V = R / y = C_v / C_y.$$

Danach ist ein Verlust B zwischen 0 und 1 möglich und ein Verlust V zwischen 0 und  $\infty$ . Beide Verlustangaben können gegenseitig umgerechnet werden:  $B = V / (1+V)$  und  $V = B / (1 - B)$

### 3.3 Verkehrstheoretische Betrachtung von Leitungsbündeln und Leitungen

(15) Verkehrstechnisch gesehen ist eine Leitung jene Einrichtung, die eine Endeinrichtung mit der Vermittlungseinrichtung oder zwei Teile einer Vermittlungseinrichtung miteinander verbindet. Man unterscheidet daher:

- Eingangsleitung oder Zubringerleitung
- Ausgangsleitung oder Abnehmerleitung
- Zwischenleitung

Als Bündel bezeichnet man eine Anzahl von Leitungen, die untereinander gleichwertig sind und wahlweise belegt werden können, ohne dass dies der Benutzer merkt.

Um den zu erwartenden Verlust bei einer bestimmten Anzahl von Abnehmerleitungen, oder umgekehrt die benötigte Anzahl von Abnehmerleitungen für einen zu erwartenden Verlust errechnen zu können muss die Stärke des Zubringerverkehrs (= Verkehrsangebot  $A$ ), der sog. Verkehrswert bekannt sein. Der Verkehrswert errechnet sich aus der in einem bestimmten Zeitraum - der sog. Hauptverkehrsstunde - gemessenen Verkehrsmenge. Er kann für eine Gruppe von Leitungen, aber auch für einzelne Leitungen ermittelt werden.

Eine Erkenntnis der Verkehrstheorie besagt, dass die Leitungsbelastbarkeit  $y/N$  eines Bündels bei konstantem Verlust mit steigender Anzahl der Leitungen steigt. Ein Bündel mit  $N = 10$  kann bei einem Verlust von  $B = 1\%$  4,46 Erlang verarbeiten, (d.h. 4,46 Leitungen von 10 Leitungen sind im Durchschnitt belegt). Ein Bündel mit  $N = 20$  kann unter denselben Voraussetzungen 12 Erlang, also rund 3 Erlang mehr als das doppelte verarbeiten; Bild 13 zeigt, dass bei großen Bündeln jeder Abnehmer mit nahezu 0,8 Erl bei  $B = 1\%$  belastet werden kann, und je größer  $y/N$  gemacht werden kann, desto wirtschaftlicher kann ein Netz gestaltet werden. Leider haben aber gut ausgenützte Bündel den Nachteil, dass sie mit zunehmendem  $y/N$  auch immer empfindlicher gegenüber nicht planmäßig auftretende Verkehrsüberlast werden. Die Kurven  $\ddot{U}=10\%$  und  $\ddot{U}=20\%$  zeigen das Überlastverhalten verschieden großer und verschieden gut ausgenützter Bündel.

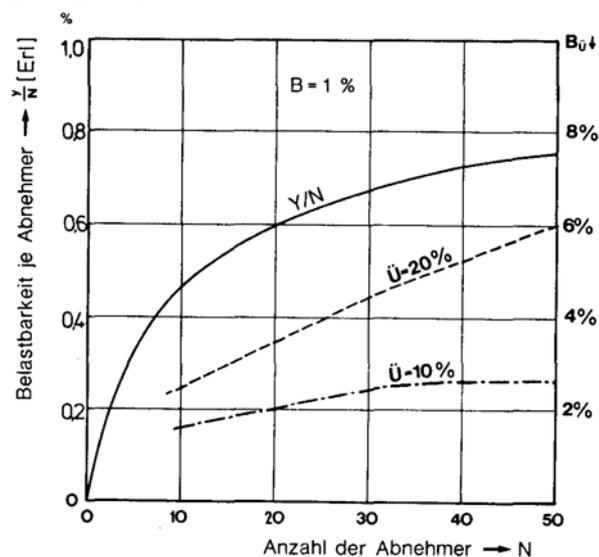


Bild 13 Belastbarkeit eines Bündels in Abhängigkeit von der Anzahl der Leitungen.

Ein aus 10 Leitungen bestehendes Bündel, das mit 1% Verlust betrieben wird, weist bei 10% Überlast nur 1,5% Verlust und bei 20% Überlast nur 2,5% Verlust auf.

Ein „gut ausgenütztes“ Fünzfziger-Bündel, das bei Normallast ebenfalls nur 1% Verlust aufweist, „klettert“ schon bei 10% Überlast auf über 2,5% Verlust und bei 20% Überlast gar auf 6% Verlust hinauf.

Um die Bündel jedoch — unabhängig davon, wie groß sie sind — „gleich überlastsicher“ zu gestalten, wird in Abhängigkeit vom Angebot ein unterschiedlicher Verlust  $B$  vorgeschrieben.

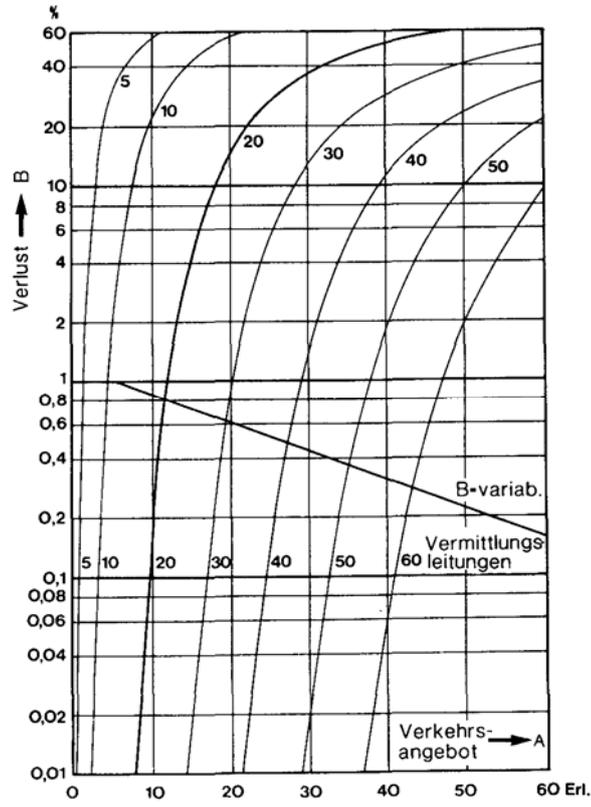
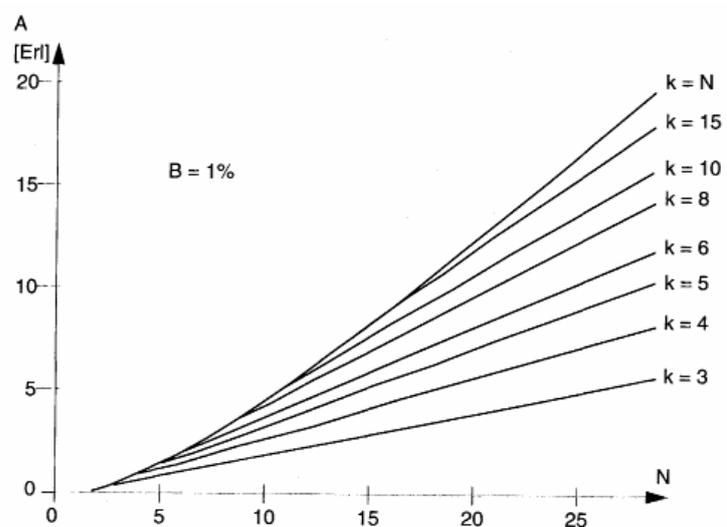


Bild 14 Anzahl erforderlicher Vermittlungsleitungen in Abhängigkeit von Verkehrsangebot (A) und Verlust (B)



A = Angebot, B = Verlust, k = Erreichbarkeit, N = Zahl der notwendigen Abnehmerleitungen  
 Bild 15 Einfluss der Erreichbarkeit auf die Leitungszahlen von Leitungsbündeln

3.4 Verkehrstheoretische Betrachtung von Koppelanordnungen

Während bei nicht nachrichtenföhrenden Leitungen (z.B. Strom-, Gas- oder Wasserleitungen) Konzentration und Expansion einfach durch entsprechende Querschnittswahl der zentralen Leitungssysteme erfolgen kann, ist dies bei nachrichtenföhrenden Leitungen nicht möglich. Der Grund hierfür ist der, dass nachrichtenföhrende Leitungen auch nach einer Konzentration individuelle bleiben müssen, da ihre Inhalte im Gegensatz z.B. zu einer zentralen Wasser-Entsorgungsanlage diskret, also unvermischt, bleiben müssen.

(16) Die in der Telekommunikation notwendige Individualität nachrichtenföhrender Leitungen wird durch den Einsatz von Koppelvielfachen<sup>3</sup>, Koppelinrichtungen<sup>4</sup>, bzw. Koppelanordnungen<sup>5</sup> ermöglicht, die entweder in Raum- oder in Zeitvielfachtechnik ausgeföhrt sein können.

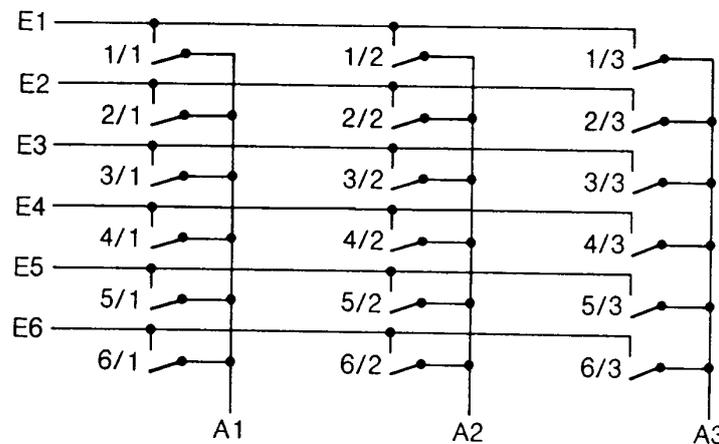


Bild 16 Prinzip eines Koppelvielfaches

(17) Koppelvielfache bestehen aus matrixförmigen Verbindungsanordnungen welche kommende und gehende Leitungen miteinander verbinden. Bei einem Koppelvielfach werden die von den Quellen kommenden Leitungen als Eingänge und die zu den Senken föhrenden Leitungen als Ausgänge bezeichnet.

Allen Arten von Koppelvielfachen ist gemeinsam, dass bei der Durchschaltung von Verbindungswegen darauf zu achten ist, dass weder in derselben Reihe, noch in derselben Spalte, in welcher schon ein Kontakt geschlossen ist, ein zweiter Kontakt betätigt wird. Wären in einer Spalte mehrere Kontakte gleichzeitig geschlossen, so würden die Nachrichteninhalte mehrerer Zubringer vermischt (so genannte Doppel-, bzw. Mehrfachverbindungen); schliessen mehrere Kontakte einer Reihe, so wären mehrere Abnehmerleitungen durch einen Zubringer belegt, was zwar nicht stören würde, dem Sinn der Einsparung von Abnehmerleitungen durch Konzentration der Zubringer aber völlig zuwiderliefe.

Beispiele für Koppelvielfache sind der Steinheil-Wechsel, alle Arten von Wähleranordnungen aus Drehwählern, Hebdrehwählern, Motorwählern usw., alle Arten von Koordinatenschaltern, das ESK (Edelmetall-Schnellrelais-Koppelfeld) und alle Arten von Reed-Matrizen so wie elektronische Koppelvielfache.

<sup>3</sup> Koppelvielfach, connecting matrix, switching matrix: ist z.B. eine Anordnung bei welcher es möglich ist von jedem Eingang jeden Ausgang zu erreichen.

<sup>4</sup> Koppelinrichtung, switching network: Anordnung von Koppелеlementen zum Verbinden von Leitungen.

<sup>5</sup> Koppelanordnung, switching network, connecting network: allgemeine Bezeichnung für eine vermittlungstechnische Anordnung, die Zubringer- und Abnehmerleitungen miteinander verbindet.

Bei Koppelinrichtungen unterscheidet man zwischen

- gerichtetem und
- wechselseitigem Verkehr

(18) Unter gerichtetem Fernspreverkehr versteht man, dass der Verbindungsaufbau nur in einer Richtung durchgeführt wird, aber selbstverständlich immer in beiden Richtungen gesprochen werden kann. Bei gerichtetem Verkehr müssen wechselseitig betriebene Anschlussleitungen an zwei Einrichtungen, z.B. an eine Konzentrationsstufe und eine Expansionsstufe angeschlossen werden. Die Pfeile in dem nachfolgend dargestellten Bild stellen die Richtung des Verbindungsaufbaues dar.

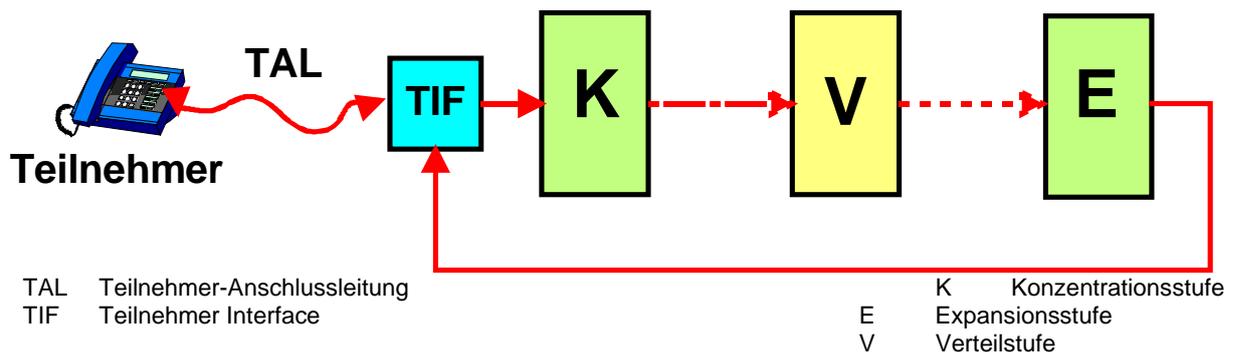


Bild 17 Anschluss wechselseitig betriebener Anschlussleitungen an gerichtet betriebene Koppelanordnungen

Unter wechselseitigem Fernspreverkehr versteht man, dass der Verbindungsaufbau durch ein Koppelnetz in beiden Richtungen erfolgen kann und die Anschlussleitungen hier nur an einem Koppelnetzanschluss angeschaltet zu werden brauchen. Solche Koppelnetze haben eine wechselseitig betreibbare Koppelanordnung und werden als Koppelnetze mit Umkehrgruppierung genannt.

### 3.4.1 Verluste in Koppelanordnungen

Die "Quellen" des Fernspreverkehrs sind, wie bereit mehrmals erwähnt, die Fernsprechteilnehmer, welche durch ihre Versuche, miteinander in Verbindung zu treten, und durch ihre Gespräche den Verkehr erzeugen. Den von diesen Quellen gewünschten Verkehr nennt man **Verkehrsangebot**. Als **Verlust** wird der Prozentsatz von Anrufversuchen bezeichnet, die keine freien Abnehmer hinter einer Koppelanordnung erreichen können.

Sind die Koppelanordnungen so ausgelegt, dass jeder Eingang stets jeden Ausgang erreichen kann, kann ein Verlust nur dort auftreten, wo die Anzahl der Zubringer größer ist als die Anzahl der Abnehmer. Dies ist sowohl

- bei der Konzentration vieler Zubringer auf wenige Abnehmer,
- hinter Expansionsstufen als auch
- bei der Verteilung des Verkehrs durch die Verteilstufen der Fall.

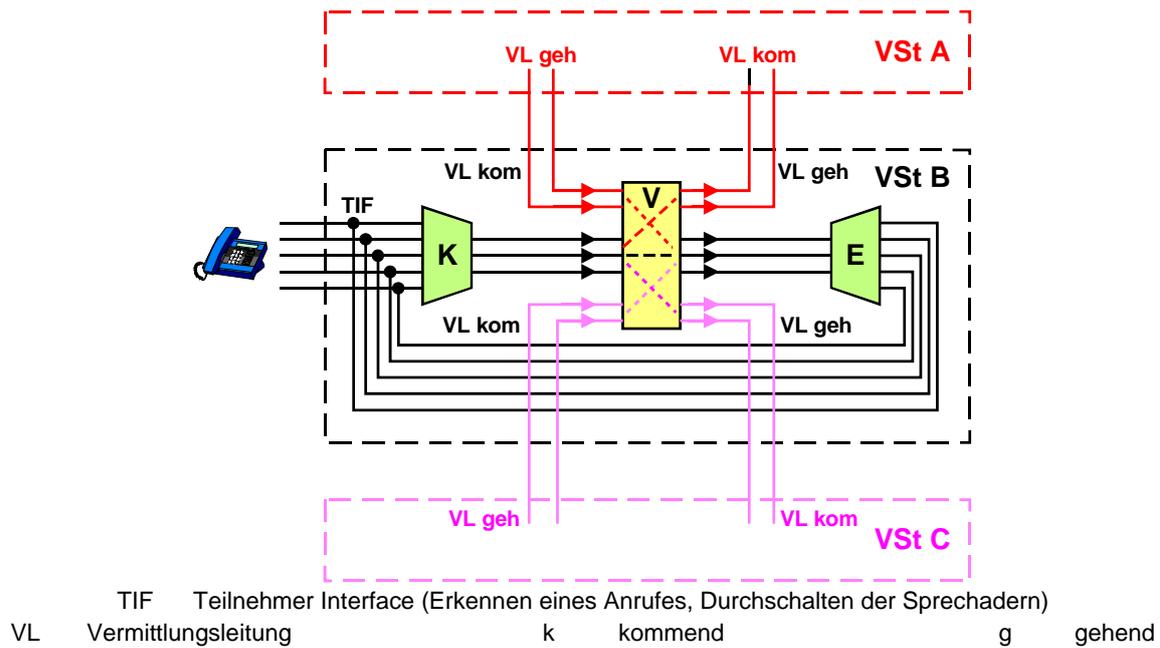


Bild 18 Wege des Nachrichtenverkehrs

### Verkehrskonzentration

Bei der Konzentration ist die Anzahl der Zubringer größer als die Anzahl der Abnehmer, wodurch automatisch ein Verlust auftritt sobald alle Abnehmer belegt sind und ein neuer Verbindungswunsch auftritt.

### Verkehrsexpansion

Die Situation hinter einer Expansionsstufe ist ähnlich jener hinter Verteilstufen. Zu einer Gruppe von 100 Teilnehmern werden zur Abwicklung des ankommenden Teilnehmerverkehrs zwischen 10 und 20 Zubringerleitungen geführt.

Verteilen sich die Verbindungswünsche, welche auf diesen Zubringerleitungen an die 100 Teilnehmer herangeführt werden, derart, dass nicht zwei oder mehr Verbindungswünsche gleichzeitig denselben Teilnehmer adressieren, so gibt es natürlich keinen Verlust. Wie bei der Verteilstufe ist dies jedoch ein rein theoretischer Fall. Die Verkehrstheorie berechnet auch hier wieder die Wahrscheinlichkeit, mit welcher zwei oder mehr Zubringer einen Teilnehmer, der schon spricht, anzusprechen wünschen. Auch hier ist also, auf den individuellen Abnehmer bezogen, die Anzahl der Zubringer größer als die der Abnehmer zu einem bestimmten Ziel, und es tritt Verlust auf.

### Verkehrsverteilung

In Telekommunikationsnetzen werden Verbindungswege zwischen zwei Teilnehmer auch über mehrere Vermittlungsstellen geführt. Der von den Quellen generierte Verkehr muss also nicht nur konzentriert, bzw. expandiert, sondern auch zwischen den Vermittlungsstellen verteilt werden. Diese Aufgabe wird von den sog. Verteilstufen vorgenommen.

Auch bei der Verteilung des Verkehrs in verschiedene Richtungen ist - von jeder abgehenden (= abnehmenden) Richtung her gesehen - die Anzahl der Abnehmer stets kleiner als die Gesamtanzahl der Zubringer, wie das folgende Bild zeigt.

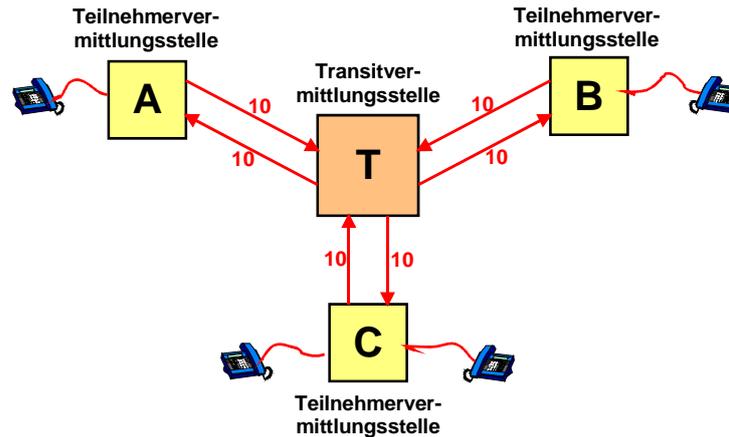


Bild 19 Verteilung des Verkehrs

An eine Transitvermittlungsstelle T sind drei Teilnehmervermittlungsstellen A, B und C angeschlossen. Entsprechend den  $3 \cdot 10$  Zubringerleitungen besitzt die Verteilstufe in der Transitvermittlungsstelle T 30 Eingänge und entsprechend den  $3 \cdot 10$  Abnehmerleitungen besitzt sie auch 30 Ausgänge.

Die Summe der Zubringerleitungen ist also gleich der Summe der Abnehmerleitungen, und es dürfte bei oberflächlicher Betrachtung eigentlich kein Verlust entstehen.

Die im Bild dargestellten 10 Zubringer zwischen der Teilnehmervermittlungsstelle A und der Transitvermittlungsstelle T werden auch Leitungsbündel oder Bündel genannt. Man spricht in diesem Falle von einem "Bündel von A in Richtung T", während z.B. die 10 Zubringer von T nach C als "Bündel von T nach C" bezeichnet werden.

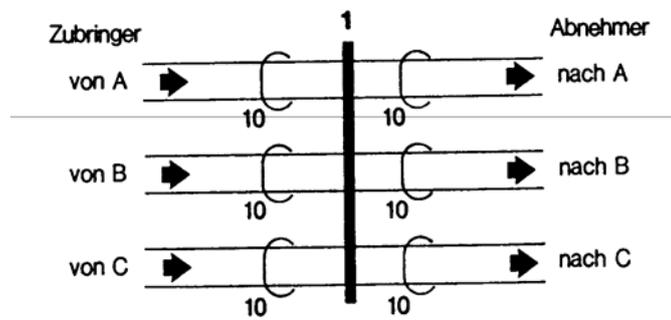


Bild 20 Verteilstufe in der Knotenvermittlungsstelle

Betrachtet man die in obigem Bild dargestellte Verteilstufe, so sieht man, dass in dieser Anordnung nur dann kein Verlust entstehen kann, wenn zu jedem Zeitpunkt eine völlige Gleichverteilung des Zubringerverkehrs auf die drei Abnehmerbündel vorhanden ist. Diese Annahme ist jedoch rein theoretisch und findet in der Praxis niemals statt, auch wenn im Mittel die Verkehrsaufteilung so ist, wie eben beschrieben.

Wir können mit Hilfe des Bildes feststellen, dass z.B. auf dem Abnehmerbündel nach A sofort Verlust eintritt, wenn zu einem bestimmten Zeitpunkt von B und C zusammen mehr als 10 Verbindungswünsche in Richtung A laufen. Dieser Fall ist absolut nicht unwahrscheinlich, da B und C miteinander 20 Zubringer haben und mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit sogar alle 20 Zubringer von B und C den Wunsch haben können, zum selben Zeitpunkt nach A zu telefonieren.

3.4.2 Das Leistungsvermögen von Koppelanordnungen

(19) Das Leistungsvermögen einer Koppelanordnung hängt davon ab, wie viele Ausgänge eines Koppelvielfaches den Abnehmerleitungen eines Bündels zugeführt werden. Die Anzahl der Abnehmerleitungen, die von einem freien Eingang aus erreicht und auf ihren Belegungszustand (frei oder besetzt) geprüft werden können, wird Erreichbarkeit – k - genannt. In diesem Sinne bezeichnet die Erreichbarkeit die Möglichkeit Eingänge und Ausgänge einer Koppelanordnung miteinander zu verbinden. Entsprechend den eingesetzten Koppelvielfachen kann man zwischen voller, effektiv voller und begrenzter Erreichbarkeit unterscheiden.

Volle Erreichbarkeit

(20) Von voller Erreichbarkeit spricht man, wenn jede Leitung eines gehenden Bündels von jedem Eingang der Koppelanordnung aus erreicht werden kann. Dies ist z.B. in einstufigen Koppelnetzanordnungen der Fall.

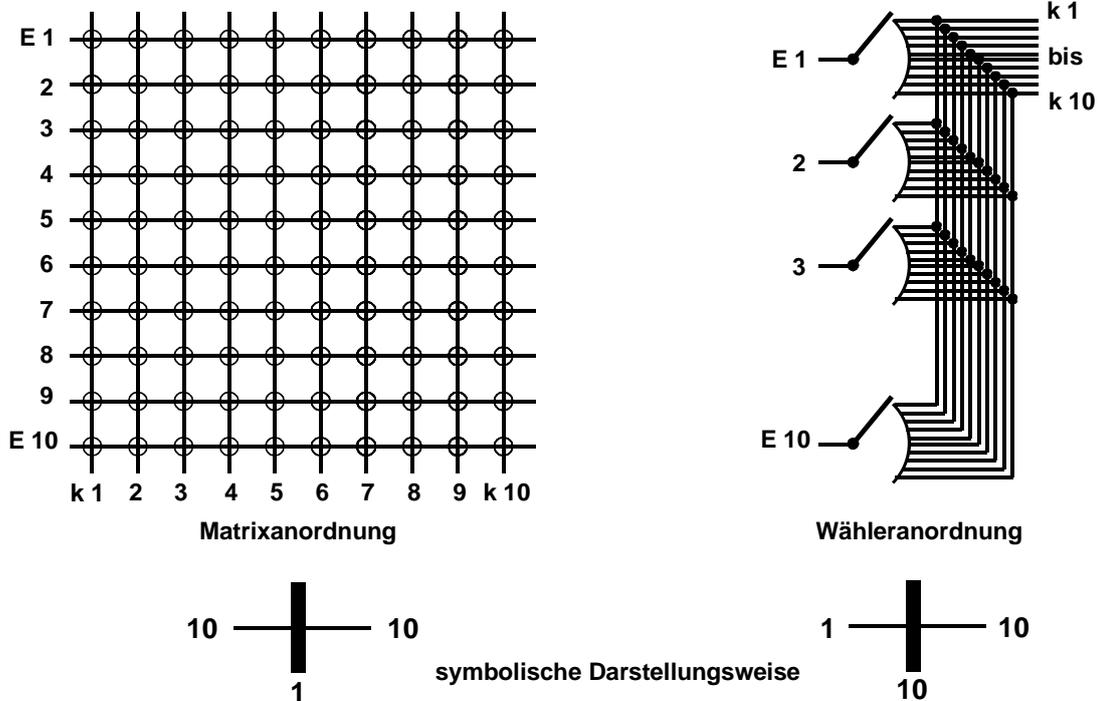


Bild 21 Einstufige Koppelanordnung mit voller Erreichbarkeit

Wenn die k Ausgänge des Koppelvielfaches zugleich Abnehmerleitungen sind (k = N), lässt sich übersehen, dass man unabhängig von der Anzahl bereits bestehender Verbindungen von jedem freien Eingang immer die gleiche und volle Anzahl der Abnehmerleitungen prüfen kann. Es handelt sich also wegen der gleichen Anzahl erreichbarer Abnehmerleitungen um eine Koppelanordnung mit konstanter Erreichbarkeit. Zum anderen liegt eine Koppelanordnung mit voller Erreichbarkeit vor.

Die volle Anzahl der Abnehmerleitungen ist immer dann erreichbar, wenn von jedem Koppelvielfach mindestens so viele Ausgänge zum Abnehmerbündel führen, wie dort Leitungen vorhanden sind. Das Abnehmerbündel hinter einer Koppelanordnung mit voller Erreichbarkeit wird vollkommenes Bündel genannt.

**Begrenzte Erreichbarkeit**

(21) Wenn eine Koppelanordnung pro Abnehmerbündel nur eine begrenzte Anzahl von Leitungen ansteuern kann, spricht man von begrenzter Erreichbarkeit. Als Beispiel sei hier auf die Hebdrehwähler hingewiesen, die aus konstruktiven Gründen je Höhengschritt nur 10 Leitungen ansteuern können. Die Erreichbarkeit  $k$  ist dann 10 ( $k = 10$ ). Jeder Hebdrehwähler kann nur 10 Leitungen eines Bündels ansteuern, auch wenn das Bündel über mehr als 10 Leitungen verfügt.

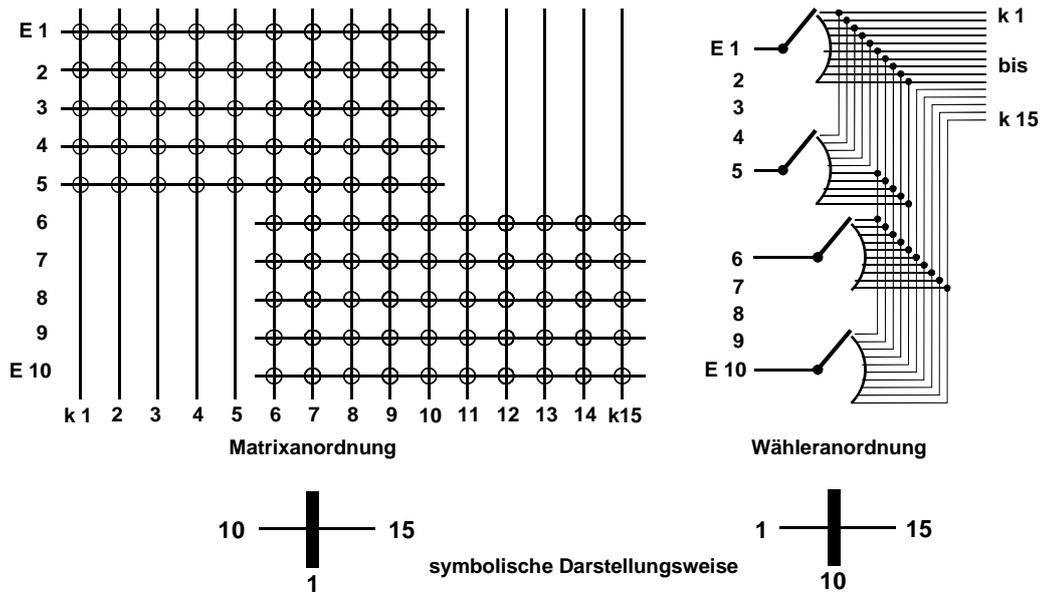


Bild 22 Einstufige Koppelanordnung mit begrenzter (unvollkommener) Erreichbarkeit

Einstufige Koppelanordnungen haben begrenzte Erreichbarkeit, wenn man von jedem freien Eingang nicht die volle Anzahl von Abnehmerleitungen auf ihren Besetztzustand prüfen kann. Das ist immer dann der Fall, wenn von jedem Koppelvielfach weniger Ausgänge zum Abnehmerbündel führen, als dort Leitungen vorhanden sind. Das Abnehmerbündel hinter einer Koppelanordnung mit begrenzter Erreichbarkeit ist ein unvollkommenes Bündel.

Zur Berechnung des Verlustes einstufiger Koppelanordnungen mit unvollkommener Erreichbarkeit gibt es mehrere Verfahren. Das modernste und im deutschsprachigen Raum am meisten verbreitete Verfahren ist dasjenige, das auf der modifizierten Palm-Jacobaeus-Verlustformel basiert.

**Effektiv volle Erreichbarkeit**

(22) Von effektiv voller Erreichbarkeit spricht man bei mehrstufigen Koppelanordnungen, wenn es zwar von jedem Eingang zu jedem Ausgang einer großen Koppelanordnung einen Verbindungsweg gibt und somit jeder Ausgang auch von jedem Eingang aus erreichbar ist, aber dieser Verbindungsweg bei mehrstufigen Koppelnetzen teilweise durch andere Verbindungen, die gleichzeitig durch das Koppelnetz hindurch aufgebaut sind, blockiert sein kann. Dieser Zustand wird als innere Blockierung bezeichnet.

Die innere Blockierung kann genügend klein gehalten werden, wenn durch eine entsprechende Gruppierung des Koppelnetzes die Anzahl der Zwischenleitung reichlich bemessen wird und für jede Verbindungsart immer genügend Zwischenleitungen vorhanden sind.

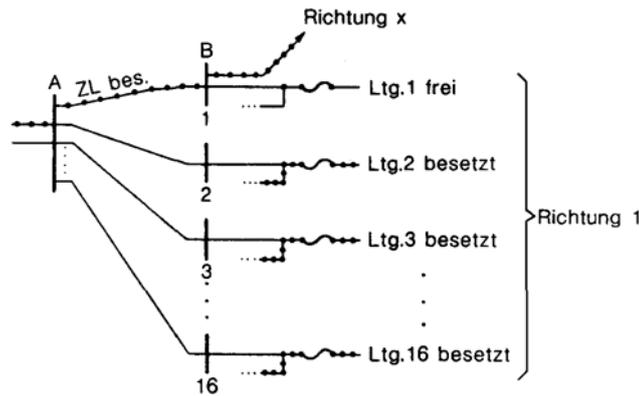


Bild 23 Beispiel einer inneren Blockierung bei einer zweistufigen Zwischenleitungsanordnung

Eine Erhöhung der Anzahl der Zwischenleitungen bedeutet jedoch auch eine Erhöhung der notwendigen Anzahl der Koppelpunkte pro Ein- und Ausgang eines Koppelnetzes. Dies führt zu einem Kompromiss zwischen dem Aufwand an Koppelpunkten je Ein- und Ausgang und dem Wert für die innere Blockierung. Wenn am Eingang des A-Koppelvielfaches Leitungen mit sehr starkem Verkehr angeschlossen werden sollen - so z.B. in einer Fernvermittlungsstelle -, so muss die Anzahl der von der A-Stufe weiterführenden Zwischenleitungen mindestens gleich oder sogar etwas größer sein als die Anzahl der Eingänge in der A-Stufe. Dieses ist das typische Kennzeichen der Gruppierung eines Raumvielfach-Koppelnetzes für eine Fernvermittlungsstelle.

### 3.4.3 Mehrstufige Koppelanordnungen

**(23)** Die Anzahl der benötigten Koppelpunkte ist von der Größe der Koppelanordnung und damit von der Größe der Vermittlungsstelle abhängig. Da die Anzahl der Koppelpunkte exponentiell, z.B. bei Verteilstufen quadratisch steigt, werden große Koppelnetze daher immer mehrstufig ausgeführt.

Die folgenden Beispiele für Koppelnetzkonfigurationen mit 100 Eingangsleitungen und 48 Ausgangsleitungen zeigen, wie durch mehrstufige Koppelanordnungen Koppelpunkte gespart werden können.

#### 1. Einstufiges Koppelnetz

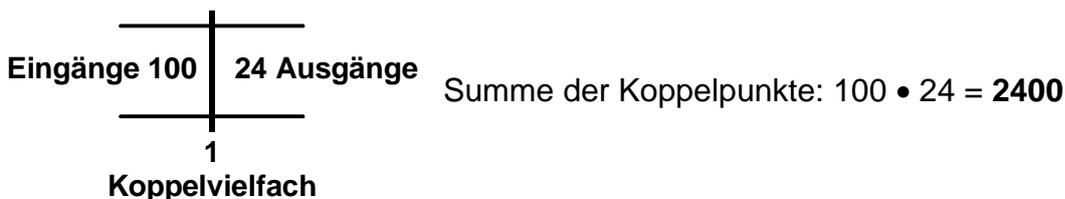


Bild 24 einstufiges Koppelnetz für 100 Eingänge und 24 Ausgänge

2. Zweistufiges Koppelnetz

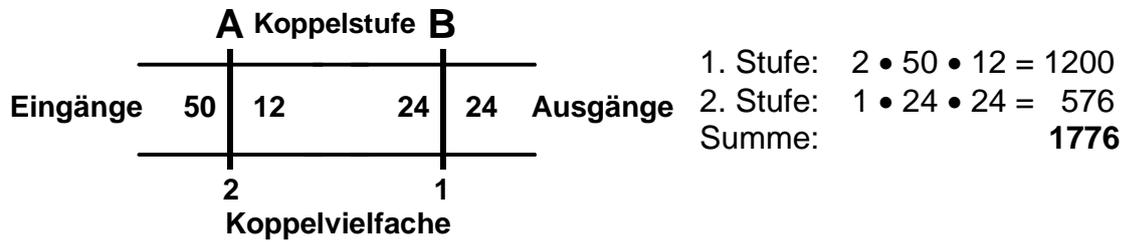


Bild 25 zweistufiges Koppelnetzes für 100 Eingänge und 24 Ausgänge

Die erste Stufe der Koppelanordnung teilt die 100 Tln in zwei 50er-Gruppen auf, mit je 12 Leitungen zu einer zweiten Stufe (siehe auch Beispiel 1 für 50 Tln). An der zweiten Stufe sind alle 24 Ausgänge angeschlossen. Die zweite Stufe ermöglicht auch die Verbindungen zwischen den beiden 50er-Gruppen. Diese Anordnung benötigt weniger Koppelunkte, hat aber folgenden Nachteil: Sind alle 12 Leitungen zu einer 50er-Gruppe belegt, so ist zu den restlichen Teilnehmeranschlüssen dieser Gruppe kein Verbindungsaufbau mehr möglich, selbst wenn freie Verbindungssätze vorhanden sind (Blockierung). Die Teilnehmer sind nicht mehr „vollkommen“ erreichbar.

3. Dreistufiges Koppelnetz (Link-Anordnung)

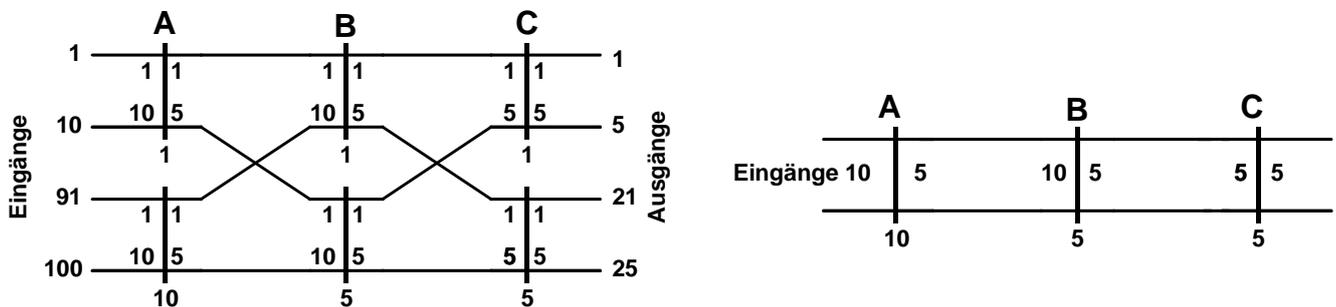


Bild 26 Beispiel eines dreistufigen Koppelnetzes für 100 Teilnehmeranschlüsse

Erste Stufe: 10 Koppelanordnungen mit 10 Eing. & 5 Ausg. =  $10 \cdot 10 \cdot 5 = 500$  KP  
 Zweite Stufe: 5 Koppelanordnungen mit 10 Eing. & 5 Ausg. =  $5 \cdot 10 \cdot 5 = 250$  KP  
 Dritte Stufe: 5 Koppelanordnungen mit 5 Eing. & 5 Ausg. =  $5 \cdot 5 \cdot 5 = 125$  KP  
 Gesamtsumme: = 875 KP

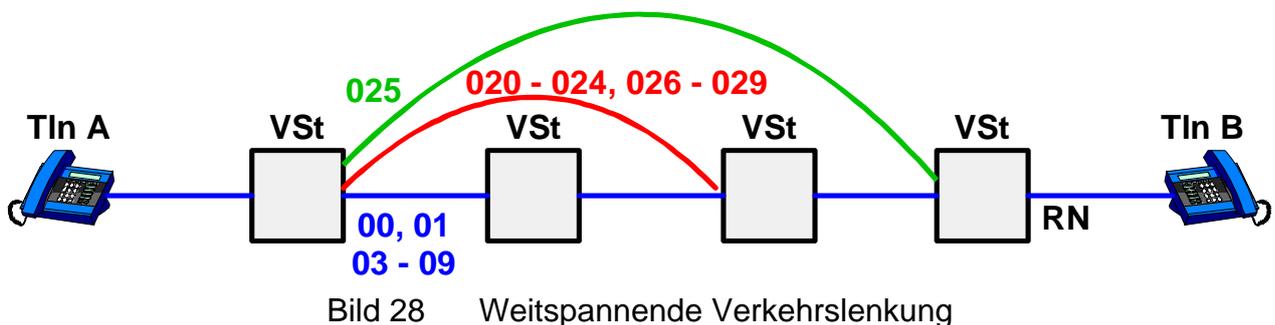
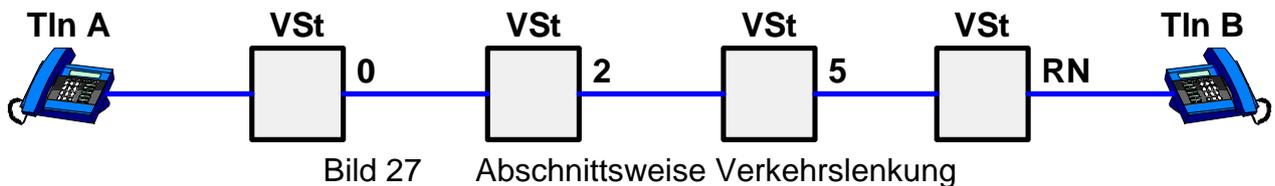
## 4 Leitungsvermittlung - Verkehrslenkung

Wie bereits eingangs erwähnt erfolgt der Verbindungsaufbau zwischen zwei Teilnehmern eines leitungsvermittelten TK-Netzes häufig über mehr als eine Vermittlungsstelle. Für die Durchschaltung des Nachrichtenweges durch die Koppelnetze der beteiligten Vermittlungsstellen wird die Rufnummer (Adresse) des B-Teilnehmers verwendet. Von der Rufnummer des B-Teilnehmers wird je nach Verkehrslenkungsverfahren eine oder mehrere Ziffern je Vermittlungsstelle verarbeitet.

(24) Man kann also sagen, dass es die Aufgabe der Verkehrslenkung<sup>6</sup> ist, für eine bestimmte Verbindung einen möglichst günstigen Weg durch ein Telekommunikationsnetz zu finden und bereitzustellen. Die Aufgaben der Verkehrslenkung sind in kleinen Netzen, wie z.B. in einfachen Ortsnetzen gut überschaubar, werden aber mit steigender Netzgröße immer komplexer.

Grundsätzlich kann man verschiedene Techniken der Verkehrslenkung wie die

- abschnittsweise Verkehrslenkung und die
- weitspannende Verkehrslenkung unterscheiden.



### 4.1 Abschnittsweise Verkehrslenkung

(25) Bei abschnittswise Verkehrslenkung wird der Weg zum Zielteilnehmer von Vermittlungsstelle zu Vermittlungsstelle neu gesucht und Abschnitt für Abschnitt durchgeschaltet. Die Verkehrslenkung bzw. Wegesuche erfolgt aufgrund der empfangenen Wahlziffern und der im VSt-Rechner abgelegten Verkehrslenkungstabellen. Die Verkehrslenkungstabellen sind bei dieser Methode relativ einfach und erfordern lediglich geringen Verwaltungsaufwand.

<sup>6</sup> häufig auch als Leitweglenkung bezeichnet

Die einzelne Vermittlungsstelle muss bei dieser Technik nur einen begrenzten Ausschnitt des Netzes kennen und dessen Zustand beurteilen können, um einen freien Weg in Richtung Ziel zu finden. Wird im Verlauf der weiteren Verbindung in Richtung Ziel keine freie Leitung mehr gefunden, sind in den davor liegenden Abschnitten jedoch unnötig Betriebsmittel (Leitungen) belegt, ein Nachteil, der nicht vermeidbar ist, weil das Netz immer nur abschnittsweise beurteilt wird.

### 4.2 Weitspannende Verkehrslenkung

Bei der weitspannenden Verkehrslenkung erfolgt diese am Anfang der Verbindung und für den gesamten Weg bis zum Ziel. Bei dieser Technik werden weitgehend unnötige Belegungen vermieden, Verkehrslenkung und die Lenkungstabellen sind jedoch erheblich aufwendiger.

**(26)** Komplexere Verkehrslenkungsverfahren unterscheiden:

- feste Verkehrslenkung,
- alternative Verkehrslenkung und
- adaptive Verkehrslenkung.

#### 4.2.1 Feste Verkehrslenkung

**(27)** Bei der festen Verkehrslenkung wird die Möglichkeit, um von einem bestimmten Ausgangspunkt im Netz ein bestimmtes Ziel zu erreichen, nach einem fest vorgegebenen Verfahren ermittelt. Die Wegesuche und Wegedurchschaltung erfolgt beispielsweise nach dem Prinzip des kürzesten Weges, obwohl mehrere Wege zur Erreichung des Ziels vorhanden wären. Bei diesem Verfahren wird der augenblickliche Belegungszustand des Netzes nicht berücksichtigt, da keine alternativen Wegemöglichkeiten vorgesehen sind.

#### 4.2.2 Alternative Verkehrslenkung

**(28)** Bei der alternativen Verkehrslenkung stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung um von einem bestimmten Punkt im Netz ein bestimmtes Ziel zu erreichen die in einer festen Reihenfolge abgesucht werden. Dabei wird nur der augenblickliche Belegungszustand des betroffenen Netzbereiches berücksichtigt.

Als erstes wird der sog. „Erstweg“ geprüft, dieser ist normalerweise die günstigste Verbindung. An der zweiten Stelle kann durch einen Überlauf ein „Zweitweg“ oder noch ein „Drittweg“ genommen werden. Bei dem Verfahren ist aber immer auch ein sog. „Letztweg“ vorge-schrieben, bei dessen Besetzfall keine weitere Wegesuche möglich ist. Dieses Verfahren wird im elektromechanischen Fernnetz angewendet.

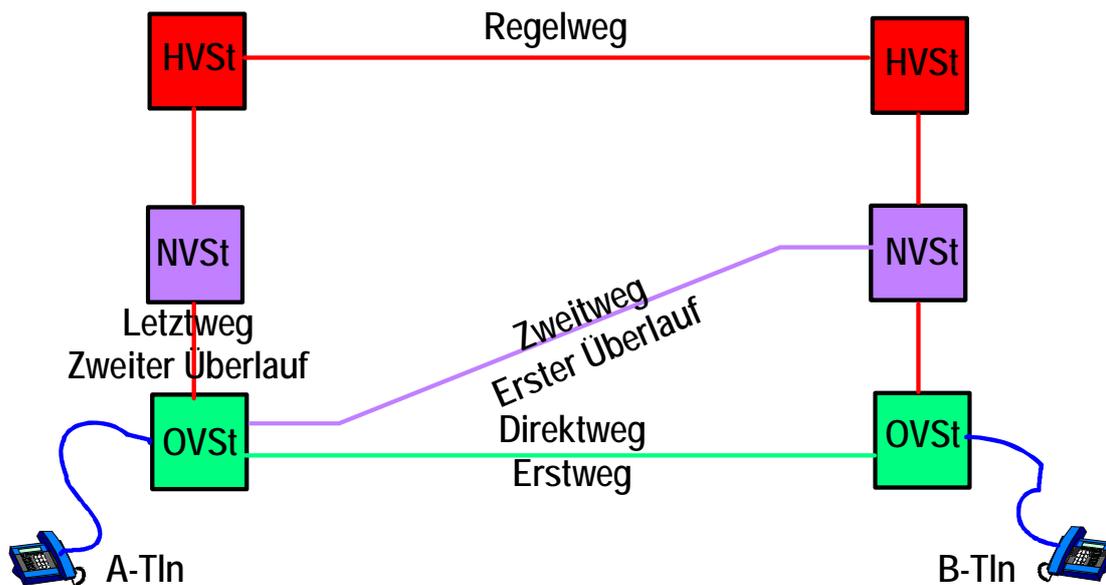


Bild 29 Prinzip der alternativen Verkehrslenkung

### 4.2.3 Adaptive Verkehrslenkung

**(29)** Bei der adaptiven Verkehrslenkung werden nicht nur die augenblicklichen Belegungsstände berücksichtigt, sondern es wird auch die Absuchreihenfolge abhängig vom Netzstatus adaptiert. Die Verkehrslenkung passt sich so optimal an den gegenwärtigen Netzstatus an.

Diese optimierte Verkehrslenkung hat jedoch den Nachteil, dass relativ viele Netzmanagementdaten innerhalb des Netzes ausgetauscht werden müssen. Diese Art der Verkehrslenkung ist besonders für paketvermittelte Netze interessant, bei denen nicht die Entfernung ein Kriterium für die Verkehrslenkung ist, sondern die Durchlaufzeit, die außerdem von der Belastung der Vermittlungsstellen durch andere Quellen abhängt.

## 5 Kontrollfragen

1. [Beschreiben Sie die Merkmale der verbindungsorientierten Kommunikation.](#)
2. [Beschreiben Sie die Merkmale der nicht verbindungsorientierten Kommunikation.](#)
3. [Beschreiben Sie die Merkmale der Leitungsvermittlung.](#)
4. [Beschreiben Sie die Merkmale der Speichervermittlung.](#)
5. [Beschreiben Sie die Merkmale der Paketvermittlung.](#)
6. [Beschreiben Sie die Merkmale der Zellenvermittlung.](#)
7. [Beschreiben Sie die Aufgaben des traffic engineering.](#)
8. [Beschreiben Sie die Aufgabe der Verkehrsmessung.](#)
9. [Beschreiben Sie die Aufgabe des Netzmanagements.](#)
10. [Wofür wird die Hauptverkehrsstunde benötigt und wie wird sie bestimmt?](#)
11. [Beschreiben Sie den Begriff „Verkehrsmenge“ \(traffic volume\).](#)
12. [Beschreiben Sie den Begriff „Verkehrswert“ \(traffic intensity\).](#)
13. [Was versteht man unter Wartebetrieb?](#)
14. [Was versteht man unter Verlustbetrieb?](#)
15. [Was versteht man unter Leitung und Bündel?](#)
16. [Warum müssen in der Telekommunikation Koppelanordnungen eingesetzt werden?](#)
17. [Was versteht man unter einem Koppelvielfach?](#)
18. [Beschreiben Sie den Unterschied zwischen wechselseitigen und gerichteten Fernsprecherkehr aus Sicht des Koppelnetzes.](#)
19. [Wovon hängt das Leistungsvermögen einer Koppelanordnung ab?](#)
20. [Was versteht man unter voller Erreichbarkeit?](#)
21. [Was versteht man unter begrenzter Erreichbarkeit?](#)
22. [Was versteht man unter effektiv voller Erreichbarkeit?](#)
23. [Warum werden mehrstufige Koppelanordnungen eingesetzt?](#)
24. [Welche Aufgabe hat die Verkehrslenkung und welche grundsätzlichen Techniken kennen Sie?](#)
25. [Welche Eigenschaften hat die abschnittsweise Verkehrslenkung?](#)
26. [Welche Verfahren kann man bei der weitspannenden Verkehrslenkung unterscheiden?](#)
27. [Wie arbeitet die feste Verkehrslenkung?](#)
28. [Wie arbeitet die alternative Verkehrslenkung?](#)
29. [Wie arbeitet die adaptive Verkehrslenkung?](#)

**6 Bilder und Tabellen**

Bild 1 Vermittlungsprinzipien - Übersicht ..... 4

Bild 2 Das Leitungsvermittlungsprinzip ..... 4

Bild 3 Das Speichervermittlungsprinzip ..... 5

Bild 4 Aufteilung der Nachrichten in Pakete ..... 6

Bild 5 Pakettransport bei nicht leitungsorientierter Durchschaltung..... 6

Bild 6 Das Zellenvermittlungsprinzip..... 7

Bild 7 Wege des Nachrichtenverkehrs (vereinfacht)..... 8

Bild 8 Agner K. Erlang (1878 - 1929)..... 8

Bild 9 Teilnehmerverhalten ..... 11

Bild 10 Ermitteln der Verkehrsmenge ..... 12

Bild 11 Prinzip des Wartebetriebs..... 14

Bild 12 Prinzip des Verlustbetriebs ..... 16

Bild 13 Belastbarkeit eines Bündels in Abhängigkeit von der Anzahl der Leitungen. .... 17

Bild 14 Anzahl erforderlicher Vermittlungsleitungen in Abhängigkeit von Verkehrsangebot (A) und Verlust (B)..... 18

Bild 15 Einfluss der Erreichbarkeit auf die Leitungszahlen von Leitungsbündeln ..... 18

Bild 16 Prinzip eines Koppelvielfaches ..... 19

Bild 17 Anschluss wechselseitig betriebener Anschlussleitungen an gerichtet betriebene Koppelanordnungen ..... 20

Bild 18 Wege des Nachrichtenverkehrs..... 21

Bild 19 Verteilung des Verkehrs ..... 22

Bild 20 Verteilstufe in der Knotenvermittlungsstelle ..... 22

Bild 21 Einstufige Koppelanordnung mit voller Erreichbarkeit ..... 23

Bild 22 Einstufige Koppelanordnung mit begrenzter (unvollkommener) Erreichbarkeit ..... 24

Bild 23 Beispiel einer inneren Blockierung bei einer zweistufigen Zwischenleitungsanordnung ..... 25

Bild 24 einstufiges Koppelnetz für 100 Eingänge und 24 Ausgänge ..... 25

Bild 25 zweistufiges Koppelnetzes für 100 Eingänge und 24 Ausgänge ..... 26

Bild 26 Beispiel eines dreistufigen Koppelnetzes für 100 Teilnehmeranschlüsse ..... 26

Bild 27 Abschnittsweise Verkehrslenkung ..... 27

Bild 28 Weitspannende Verkehrslenkung..... 27

Bild 29 Prinzip der alternativen Verkehrslenkung ..... 29

Tabelle 1 Durchschalte- und Vermittlungsprinzipien ..... 3

**7 Abkürzungen**

PCM.....Pulse Code Modulation  
ATM.....Asynchroner Transfer Modus  
TAL.....Teilnehmer-Anschlussleitung  
TIF.....Teilnehmer Interface, Teilnehmerschnittstelle, Teilnehmerschaltung  
VL.....Vermittlungsleitung  
VSt.....Vermittlungsstelle  
HVStd.....Hauptverkehrsstunde  
Erl.....Erlang  
FIFO.....first in first out

**8 Literatur**

- [1] Telekommunikationstechnik, 6. Auflage, Verlag Europa Lehrmittel, 1995, ISBN 3-8085-3346-3, Seite 179
- [2] SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Topic 7 Digital-Fernsprechen, Seite 6
- [3] Ulrich Freyer, Nachrichtenübertragungstechnik, 3. Auflage, Carl Hanser Verlag, 1994, ISBN 3-446-17724-8, Seite 288
- [4] Gerd Siegmund, Technik der Netze, 3. Auflage, R.v.Decker's Verlag, 1996, ISBN 3-7685-2495-7
- [5] Heinz A. Paul (Hrsg), Analoge Vermittlungstechnik für Telefonverkehr, R.v.Decker's Verlag, 1990, ISBN 3-7685-3389-1
- [6] Gunther Althage (Hrsg), Digitale Vermittlungssysteme für Fernsprechen und ISDN, R.v.Decker's Verlag, 1991, ISBN 3-7685-0689-4