

## 1.6 Grundlagen: Vermittlung

### Inhalt

- Durchschalte-, Nachrichten-, Paket-, Datagramm-, Rahmen- und Zellvermittlung
- Raum-, Zeit- und Wellenlängenvermittlung
- Synchrone und asynchrone Koppelnetze
- Struktur von Vermittlungsknoten und Router

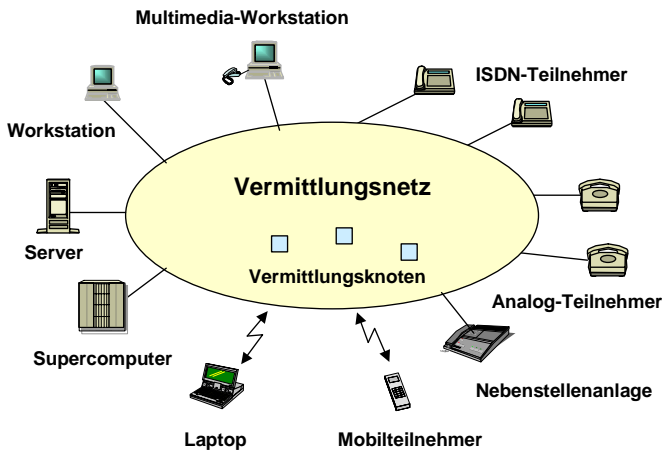


Bild: Vermittlungsaufgabe

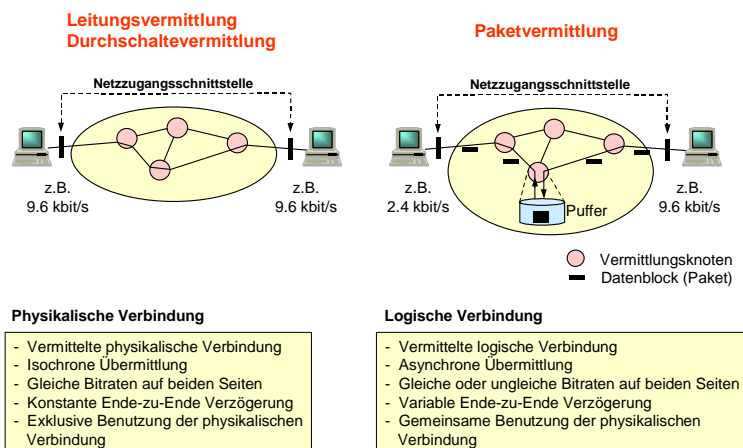


Bild: Vermittlungsprinzipien

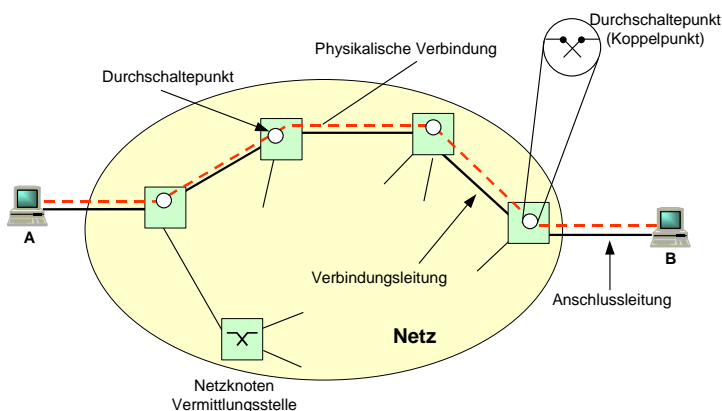


Bild: Leitungs- oder Durchschaltevermittlung

Ein Vermittlungsnetz hat die Aufgabe, eine temporäre Verbindung zwischen zwei Teilnehmern herzustellen, wobei der rufende Teilnehmer A dem Vermittlungsnetz die Zielinformation des gerufenen Teilnehmers B mitteilt. Dabei können die an der Verbindung beteiligten Teilnehmer an dieselbe Vermittlungsknoten oder an verschiedene Knoten des Netzes angeschlossen sein.

Teilnehmer können Menschen oder Maschinen sein. Die Anbindung an das Netz ist drahtgebunden (wired) oder drahtlos (wireless). Die Endsysteme am Netz sind analoge Telefone und digitale Geräte.

Zur Vermittlung stehen zwei Prinzipien zur Verfügung: Durchschalte- und Paketvermittlung. Bei der Paketvermittlung gibt es diverse Formen.

Bei Durchschaltevermittlung wird immer eine physikalische Verbindung aufgebaut. Beide Datenendgeräte müssen mit der gleichen Datenrate (z. B. 9.6 kbit/s) operieren.

Bei Paketvermittlung kann eine virtuelle oder logische Verbindung notwendig sein (verbindungsorientierter Betrieb) oder Pakete können ohne vorherigen Verbindungsaufbau geschickt werden (verbindungsloser Betrieb). Datenendgeräte auf beiden Seiten können mit verschiedenen Bitraten arbeiten, weil im Paketvermittlungsnetz zwischengepuffert werden kann.

Fünf Unterschiede zwischen einer physikalischen und einer logischen Verbindung sind im Bild zusammengestellt.

### Durchschaltevermittlung

(Leitungsvermittlung; Circuit Switching, CS)

Dies ist ein verbindungsorientiertes Vermittlungsverfahren, bei dem ein durchgehender physikalischer Übermittlungskanal zur ausschließlichen Nutzung zur Verfügung gestellt wird. Dieser durchgehende Kanal entsteht durch Verknüpfen mehrerer aufeinanderfolgender Übermittlungsabschnitte, die über Koppelpunkte miteinander verbunden werden.

Die Übermittlungsabschnitte sind funk- oder leitungsgebunden und abschnittsweise wird Raum-, Frequenz-, Wellenlängen- Zeitmultiplex- oder Code-multiplex verwendet werden.

Das Merkmal eines physikalischen Übermittlungskanal ist seine streng periodische Verfügbarkeit, um eine bestimmte Bitmenge isochronon von Netznoten zu Netznoten bis zum Endgerät des Ziels zu transportieren. Bei einem Sprachkanal werden genau alle 125  $\mu$ s acht Bit transportiert.

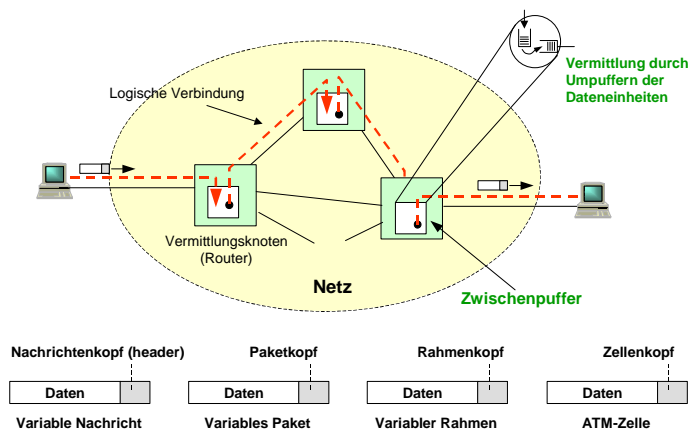
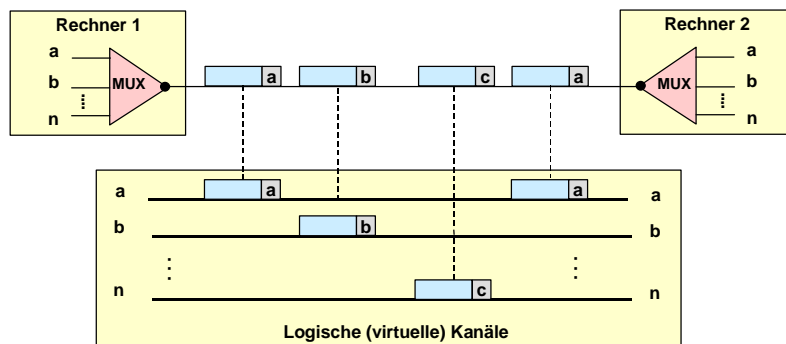


Bild: Sendungs-, Paket-, Rahmen- und Zellenvermittlung

Wie im obigen Bild angegeben, haben die Datenblöcke je nach Verfahren andere Bezeichnungen. Die Datenblöcke bestehen immer aus Benutzerinformation (Nutzdaten, payload) und Zusatzinformation (Datenblock-Kopf, header). Nur bei ATM (A-synchronous Transfer Mode) haben payload (48 Byte) und header (5 Byte) eine konstante Länge.

Die Zieladressinformation ist entweder voll im header vorhanden (verbindungsloser Betrieb) oder die Adressierung ist abschnittsweise organisiert (verbindungsorientierter Betrieb, d.h. es existiert eine logische oder virtuelle Verbindung zwischen den Endsystemen).



MUX: Multiplexerfunktion

Bild: Virtuelle (logische) Kanäle in der Paketvermittlung

### Logische oder virtuelle Verbindung

Bei einer logischen Verbindung wird beim Verbindungsaufbau lediglich ein Weg durch das Netz festgelegt, entlang dessen einzelne Datenblöcke (Pakete, Rahmen, Zellen) abschnittsweise übertragen werden. Die Übertragungs- und vermittlungstechnischen Betriebsmittel (Kanäle, Puffer, Koppellelemente) werden dynamisch (d.h. nach Bedarf) zugeteilt und müssen mit anderen Verbindungen geteilt werden (dynamisches time sharing). Konflikte bei gleichzeitigem Bedarf der gleichen Netzressource (z.B. Übertragungsleitung oder Koppelnetz innerhalb eines Vermittlungsknotens bzw. Router) werden durch Zwischenpufferung gelöst.

Virtuelle Verbindungen werden mit dem Paketvermittlungsverfahren realisiert, indem die Kanalabschnitte in logische oder virtuelle Kanäle unterteilt werden und die virtuelle Verbindung als Kettung von logischen Kanälen repräsentiert wird. Bei der Vermittlung der Pakete werden über die logische Kanalnummer, welche jeweils im Paketkopf mitgeführt wird, der physikalische Ausgangskanal und die logische Kanalnummer auf dem physikalischen Ausgangskanal über den Verbindungstabelle ausgelesen, aufgrund deren die Vermittlung erfolgt.

**Verbindungslose Kommunikation:** Für nur sporadische Kommunikation mit geringem Datenvolumen wird aus Zeit- und Aufwandsgründen keine Verbindung aufgebaut. Grundlage für die verbindungslose Kommunikation ist das Paketvermittlungsverfahren, indem einzelne Datenblöcke von Quellsystem zum Zielsystem befördert werden. Verbindungslose Kommunikation ist stets erforderlich als Mechanismus für den Verbindungsaufbau bei verbindungsorientierter Kommunikation.

**Datagramm-Betrieb:** Hier werden einzelne Datenblöcke (Pakete) durch das Netz übermittelt. Besteht die Sendung aus mehreren Paketen, übernimmt das Netz keine Garantie über die Richtigkeit der Reihenfolge oder die Integrität der Sendung bei Verlust eines Paketes.

**Quittiertes Datagramm:** Die verbindungslose Kommunikation kann erweitert werden, indem das Zielsystem für jedes empfangene Paket eine Quittung an das Quellsystem zurücksendet.

### Verbindungsmerkmale (Connection Attributes)

Die einzelnen Verbindungstypen können durch weitere Merkmale (Attributes) näher beschrieben werden. Einige wichtige Merkmale sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt

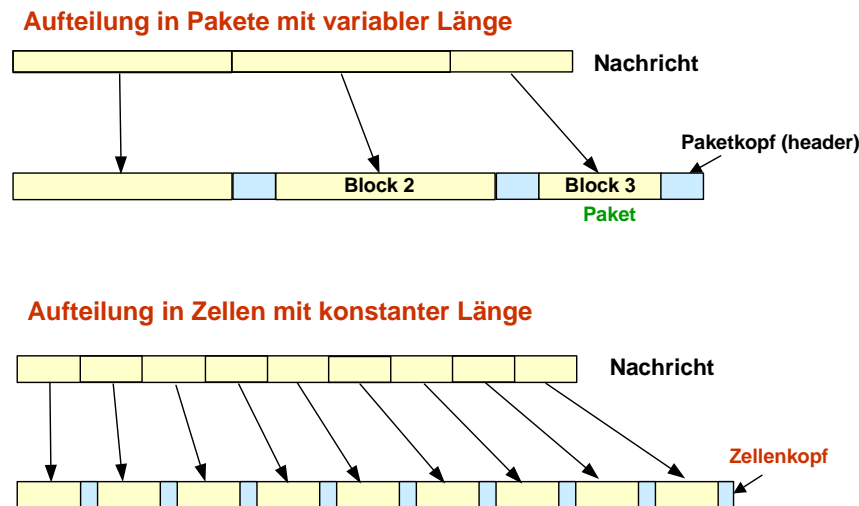


Bild: Aufteilung von Nachrichten in Pakete oder Zellen

### Aufteilung von Paketen (Segmentieren, Fragmentieren)

Datendateien oder Nachrichten, deren Länge die maximale Übermittlungseinheit überschreiten, müssen in kleinere Daten-einheiten aufgeteilt werden. Dabei sind zwischen zwei Vermittlungsverfahren zu berücksichtigen:

#### 1) Aufteilung in variable Pakete

- Jeder Datenblock erhält ein Paketkopf.
- Erste Datenblöcke mit maximaler Länge.
- Letzter Datenblock enthält den Rest der Daten und ist meistens kleiner.

#### 2) Aufteilung in konstante Zellen (ATM)

- Jeder Datenblock erhält ein Zellenkopf.
- Alle Datenblöcke haben eine konstante Länge von 53 Byte (Header: 5 Byte).

### Sendungsvermittlung

- Übermittlungsblock enthält die gesamte Nachricht; es findet somit keine Zerstückelung statt; der gesamter Datenblock wird übermittelt.
- Da der ganze Datenblock in jedem Vermittlungsknoten zwischengepuffert werden muss, bevor er weitergeleitet werden kann, entstehen lange Gesamtübertragungszeiten.
- Das Verfahren benötigt einen großen Pufferbedarf.
- geeignet für zeitunkritischen Massendatentransport.
- In der Regel wird einen verbindungsloser Betrieb verwendet.

### Paketvermittlung (Packet Switching, PS)

- Nachrichtenblöcke begrenzter Länge.
- Aufteilung/Zusammenführung in beiden Endknoten.
- günstige Pufferorganisation.
- kurze Übertragungszeiten.
- geeignet für Burst-Betrieb (interaktive Betriebsweise).
- verbindungsorientierter Betrieb (Virtuelle Verbindung).
- oder verbindungsloser Betrieb (Datagramm).

### Rahmenvermittlung (Frame Relay, FR)

- Die Vermittlung findet auf Schicht 2 statt und ist dadurch effizienter und schneller.
- gleiche Eigenschaften wie die Paketvermittlung.
- verbindungsorientierter Betrieb (Virtuelle Verbindung).

Merkmal	Möglichkeiten
Vermittlungsprinzip	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Durchschaltvermittlung (CS)</li> <li>- Sendungsvermittlung</li> <li>- Paketvermittlung (PS)</li> <li>- Rahmenvermittlung (FR)</li> <li>- Zellenvermittlung (ATM)</li> </ul>
Nutzinformationsübertragung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- analog</li> <li>- digital transparent</li> <li>- digital nichttransparent (Redundanzminderung)</li> <li>- kontinuierlich (stromförmig)</li> <li>- diskontinuierlich (paketierte)</li> </ul>
Übertragungsrate	<ul style="list-style-type: none"> <li>- konstante Bitrate</li> <li>- variable Bitrate</li> <li>- Paketrate</li> </ul>
Verbindungsaufbau	<ul style="list-style-type: none"> <li>- festgeschaltet</li> <li>- wählvermittelt</li> </ul>
Verbindungs-konfiguration	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Punkt-zu-Punkt-Verbindung</li> <li>- Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindung</li> <li>- Mehrpunkt-Verbindung</li> </ul>

### Zellvermittlung (Asynchronous Transfer Mode, ATM)

- Nachrichtenblöcke konstanter Länge (53 Byte).
- Aufteilung/Zusammenführung in beiden Endknoten.
- günstige Pufferorganisation.
- Sehr kurze Übertragungszeiten.
- geeignet für Burst-Betrieb (interaktive Betriebsweise).
- Geeignet für Echtzeit-Betrieb (Sprache, Video, Multimedia)
- verbindungsorientierter Betrieb (Virtuelle Verbindung).

## Vermittlungsverfahren und Verkehrslenkung

Unter Vermittlung wird das wahlweise Herstellen von Verbindungen (bei verbindungsorientierter Kommunikation) und das Übermitteln von Informationen zwischen wechselnden Anschlusspunkten oder Benutzern verstanden. Zur Vermittlung gehören insbesondere die Steuerung des Verbindungsauf- und -abbaus, die Bereitstellung (Reservierung) oder Belegung übertragungstechnischer und vermittlungstechnischer Betriebsmittel (Kanäle, Koppelpunkte, Puffer) einschließlich der zugehörigen Steuerungsalgorithmen und Steuerungstabellen.

Zu beachten ist, dass es zwei Arten von Ende-zu-Ende Verbindungen gibt:

- 1) Die physikalische Verbindung bei der Durchschaltvermittlung (Leitungsvermittlung).
- 2) Die logische Verbindung bei den diversen paketvermittelnden Verfahren. Hierbei handelt es sich um einen verbindungsorientierter Betrieb.

In beiden Fällen besteht die Kommunikation aus einer Aufbau-, Informationsaustausch- und Abbauphase.

Analog zu den unterschiedlichen Verbindungskonzepten existieren unterschiedliche Vermittlungsverfahren. Für die netzweite Einrichtung von Verbindungen bzw. die netzweite Übermittlung von Dateneinheiten (Paketen) ist ein Datenweg durch das Netz auszuwählen; die zugehörige Funktion ist die Verkehrslenkung.

Beides, Verkehrslenkung (routing) und Vermittlung (switching) sind typische Funktionen der Schicht 3 des ISO-Basisreferenzmodells, welche aufgrund der Nummerierung bzw. Adressierung des Zielteilnehmers durchgeführt werden.

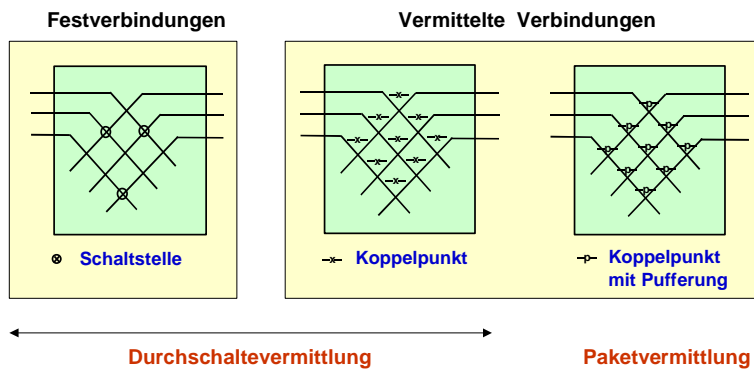
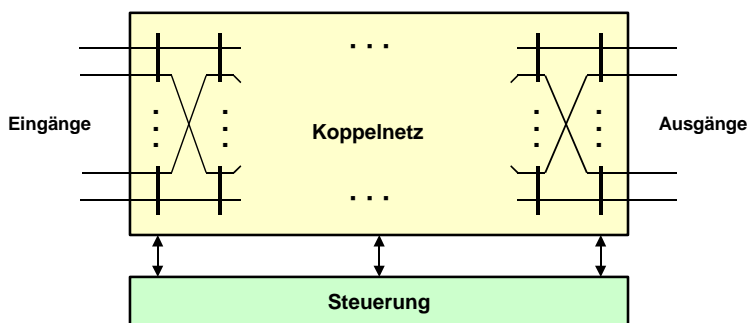


Bild: Vermittlungsfunktion in Netzknoten

Verbindungen sind entweder fest durchgeschaltet (manuell oder durch Netzmanagement) oder sie werden nach dem momentanen Bedarf automatisch vermittelt. Bei der Durchschaltvermittlung (Telefonie) werden die elektronischen Koppelpunkte in einem konstanten Zeittakt durchgeschaltet. Die Durchschalte-Information steht in einer Tabelle. Dieselbe Verbindung (Kanal) steht alle 125 µs zur Verfügung. Bei Paketvermittlung gibt es keine periodische Durchschaltung und eine Pufferung an den Koppelpunkten können hier Paketkollisionen weitgehend vermeiden.



**Einstufiges Koppelnetz:** viele Koppelpunkte notwendig (Anzahl Eingänge x Anzahl Ausgänge)  
**Mehrstufiges Koppelnetz:** Reduktion der Koppelpunkte je nach interne Verbindungsstruktur  
**Externe Blockierung:** Zielausgang ist belegt  
**Interne Blockierung:** Ziel Ausgang ist frei, aber kein Weg durch Koppelnetz ist verfügbar

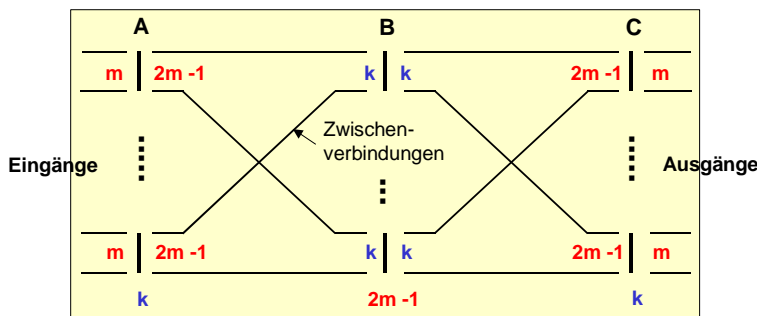
Bild: Mehrstufige Koppelnetsstruktur

Der Koppelpunktaufwand eines Koppelnetzes steigt quadratisch mit der Anzahl der Anschlüsse. Dies führt bei größeren Anschlusszahlen zu sehr hohem Aufwand. Ein **einstufiges Koppelnetz** besteht aus einem einzigen Koppelnetz.

Der Aufwand lässt sich reduzieren, wenn man die Zahl der an einem Koppelnetz angeschlossenen Anschlüsse gering hält und die einzelnen Anschlusskoppelnetze mit einander verbindet. Damit entsteht ein **mehrstufiges Koppelnetz**.

Bei Koppelnetzen unterscheidet man zwei Arten von Blockierungen:

- 1) Bei einer **externen Blockierung** ist der Zielausgang bereits belegt und somit kann keine Verbindung aufgebaut werden.
- 2) Bei einer **internen Blockierung** ist der Zielausgang frei, aber im mehrstufigen Koppelnetz verhindern bereits belegte Zwischenverbindungen den Verbindungsaufbau.



#### Blockierungsfreies Koppelnetz:

Anzahl Ein- bzw. Ausgänge	$k \times m$
Anzahl Zwischenverbindungen pro Stufe	$(2m-1) \times k$
Anzahl Ein- bzw. Ausgangsmatrizen	$k$
Anzahl Zwischenstufenmatrizen	$2m-1$
Ein- bzw. Ausgangskoppelmatrix	$m \times (2m-1)$
Zwischenstufenkoppelmatrix	$k \times k$

$\begin{array}{|c|c|} \hline m & n \\ \hline \end{array}$   
 Einstufiger  
 Koppelmatrix mit  
 m Eingängen und  
 n Ausgängen

Bild: Dreistufiges Koppelnetz nach Clos: Strukturparameter

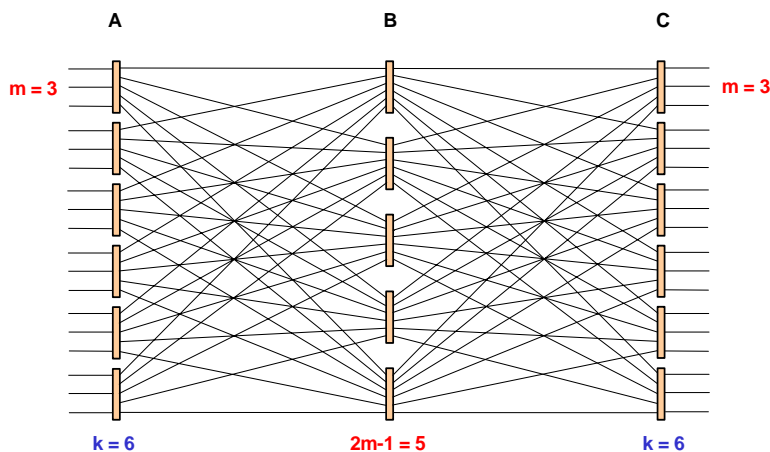
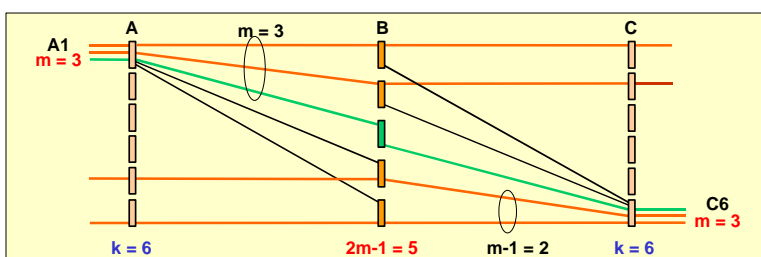


Bild: Dreistufiges Koppelnetz nach Clos: Zwischenverbindungen



#### Bedingung für ein blockierungsfreies Koppelnetz:

- Es soll immer ein Weg von einem freien Eingang zu einem freien Ausgang vorhanden sein.
- Betrachtet wird eine Verbindung über Eingangsmatrix A1 und Ausgangsmatrix C6.
- Bei m Eingängen pro Koppelmatrix A müssen jeweils m Zwischenkoppelmatrizen B mit einer freien Zwischenverbindung zum Ausgangsmatrix C des Zielausgangs erreichbar sein.
- Diese m Zwischenverbindungen zwischen Stufen B und C können nur garantiert frei sein, falls es zusätzlich m-1 weitere Zwischenkoppelmatrizen B für m-1 Verbindungen über den betrachteten Ausgangsmatrix gibt.

Bild: Dreistufiges Koppelnetz nach Clos: Beweisführung

Das kann nach einem Vorschlag von C. Clos aus dem Jahr 1953 auf folgende Weise geschehen.

Das Koppelnetz wird in drei Koppelstufen A, B und C unterteilt. Koppelstufen A und C bestehen jede aus k Koppelmatrizen. An Koppelstufe A sind Benutzer einer ersten Kategorie und an Koppelstufe B die Benutzer einer zweiten Kategorie angeschlossen. Koppelmatrix A hat m Eingänge und  $2m-1$  Ausgänge. Für Stufe C gilt das Umgekehrte. In der Mitte ist eine Koppelstufe mit  $2m-1$  Koppelmatrizen mit k Eingängen und k Ausgängen angeordnet. Die Struktur der Zwischenverbindungen ist sehr regelmäßig: von jedem Koppelmatrix A bzw. C führt nur eine einzige Zwischenleitung zu jedem Koppelmatrix B. Aus dieser Regelmäßigkeit ergeben sich auch die korrespondierenden Werte in B- und A/C-Stufen.

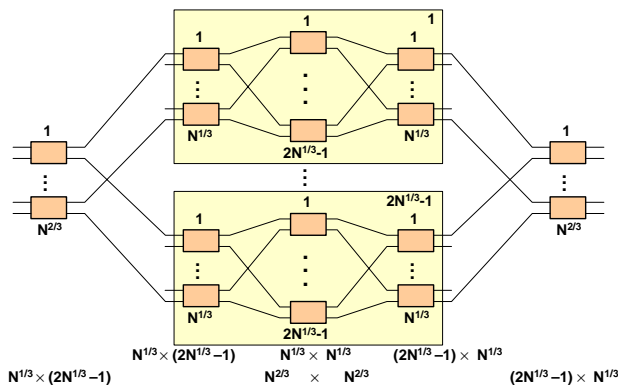
Im Bild nebenan sind alle Zwischenverbindungen gezeichnet. Im nachfolgenden Bild wird die Funktionsweise an einem Zahlenbeispiel mit  $m=3$  dargestellt, wobei 18 Anschlüsse auf  $k=6$  Koppelmatrizen A/C verteilt werden. Es soll sichergestellt sein, dass auch unter ungünstigen Verhältnissen noch Verbindungen aufgebaut werden können, d.h. dass das Koppelnetz blockierungsfrei arbeitet. Ein ungünstiger Fall liegt z.B. vor, wenn vom Koppelmatrix A1 (links oben) eine Verbindung zum Koppelmatrix C6 (rechts unten) aufgebaut werden soll, wobei in jedem dieser beiden Koppelvielfache schon zwei Verbindungen zu anderen Koppelmatrizen bestehen.

Im Koppelmatrix A1 sind dadurch schon die Zwischenleitungen 1 und 2 belegt, während Zwischenleitung 4 und 5 zwar noch frei sind, jedoch auf belegte Zwischenleitungen 4 und 5 zwischen den Koppelstufen B und C treffen. Für die Zwischenleitungen am Koppelmatrix C6 gilt das gleiche sinngemäß. Die letztmögliche hinzukommende Verbindung muss aber noch einen durchgehenden freien Weg über zwei Zwischenleitungen zwischen A- und B-Stufe sowie zwischen B- und C-Stufe finden, hier also über Koppelmatrix B3.

Wenn  $m-1$  Zwischenleitungen eines Koppelmatrizes A und  $m-1$  Zwischenleitungen eines Koppelmatrizes C bereits belegt sind, muss für die letztmögliche Verbindung noch ein zusätzlicher Weg bestehen. Die Zahl der notwendigen Koppelmatrizen B beträgt also  $2(m-1)+1=2m-1$ .

Dieses Prinzip lässt sich fortsetzen, wenn man jeden Koppelmatrix B wiederum in eine Anordnung nach Clos auflöst. Die prinzipielle Anordnung und der dafür notwendige Koppelpunktaufwand ist in der Tabelle angegeben.

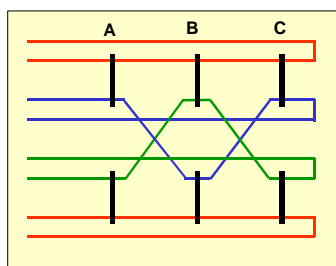




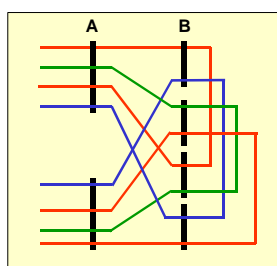
Anzahl Ein- bzw. Ausgänge N	Stufenzahl				
	s = 1	s = 3	s = 5	s = 7	s = 9
100	10 000	5 700	6 092	7 386	9 121
200	40 000	16 370	16 017	18 898	23 219
500	250 000	65 582	56 685	64 165	78 058
1 000	1 000 000	186 737	146 300	159 904	192 571
2 000	4 000 000	530 656	375 651	395 340	470 292
5 000	25 000 000	2 106 320	1 298 858	1 295 294	1 511 331
10 000	100 000 000	5 970 000	3 308 487	3 159 700	3 625 165

Bild: Fünfstufiges Koppelnetz nach Clos

Bild: Anzahl Koppelpunkte in mehrstufigen Koppelnetzen nach Clos



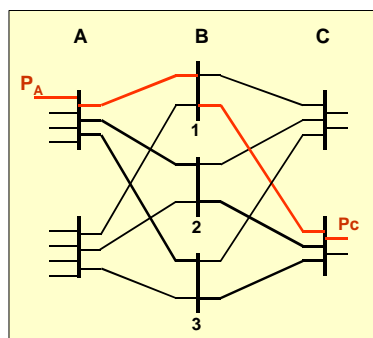
Faltgruppierung



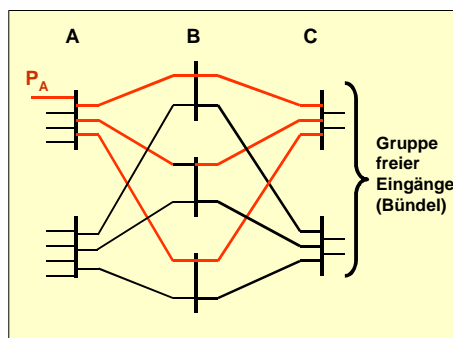
Umkehrgruppierung

Damit alle Anschlüsse für Endgeräte sich an einer Seite befinden, verwendet man entweder die Faltgruppierung, wo die Ausgänge des Koppelnetzes durch eine Verdrahtung zurückgeführt werden, oder die Umkehrgruppierung, wo die Verbindung zweimal durch das Koppelnetz gehen muss. Im letzteren Fall sind weniger Koppelstufen notwendig.

Bild: Einseitige Koppelnetze



Punkt - Punkt - Verbindung



Punkt - Bündel - Verbindung

Wird der Eingang der Expansionsstufe A belegt, der einen ganz bestimmten Ausgang am Koppelmatrix C erreichen will, so handelt es sich um eine **Punkt-Punkt-Verbindung**. Im Gegensatz dazu steht die **Punkt-Bündel-Verbindung**, die bei der Bündelwahl anzutreffen ist. Die Punkt-Bündel-Verbindung ist deshalb dadurch gekennzeichnet, dass von einem Punkt aus mehrere Ausgänge in freier Wahl abgesucht werden, die letztlich alle in dieselbe Richtung, also zum selben Ziel, führen.

Bild: Verbindungsarten in Koppelnetzen

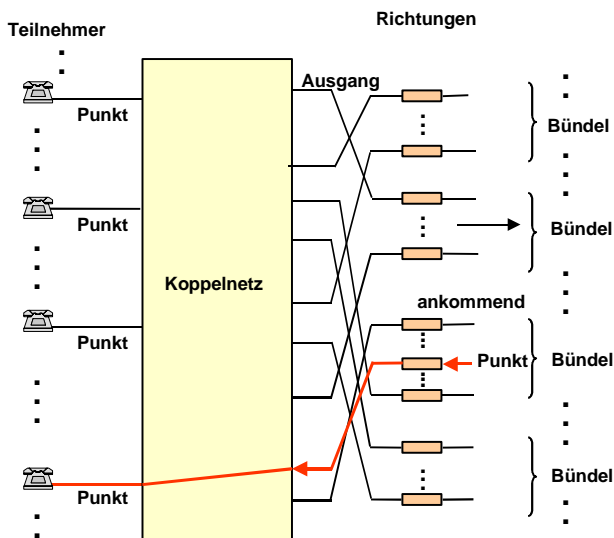


Bild: Aufgaben der Wegsuche

Die Wahrscheinlichkeit innerer Blockierung in ein und demselben Koppelnetz ist also davon abhängig, ob eine Punkt-Punkt-Verbindung oder eine Punkt-Bündel-Verbindung aufgebaut werden soll. Bei einer Punkt-Bündel-Verbindung ist die Wahrscheinlichkeit, durch das Koppelnetz zu gelangen, größer als bei einer Punkt-Punkt-Verbindung, da dem Verbindungspfad mehr Möglichkeiten zur Auswahl stehen.

#### Punkt-zu-Punkt:

- Endgerät zum Endgerät.
- Eingangsleitung zum Endgerät.

#### Punkt-zu-Mehrpunkt (Bündel):

- Endgerät zur Ausgangsleitung.
- Endgerät zur Gruppe gleicher Vermittlungseinrichtungen.

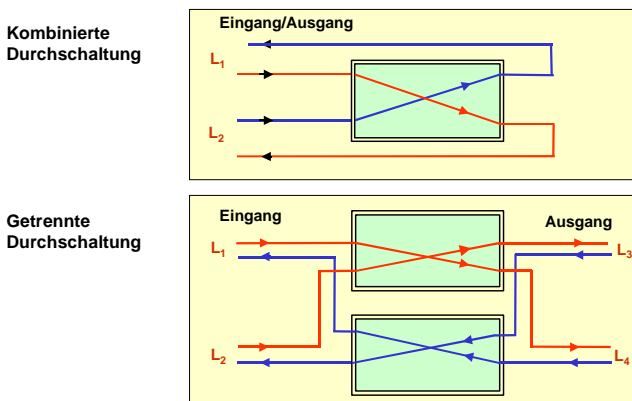


Bild: Vierdrahtdurchschaltung

Für die Realisierung der gleichzeitigen Durchschaltung von zwei Kommunikationsrichtungen gibt es verschiedene Lösungsansätze: die Duplexfähigkeit kann entweder dadurch erreicht werden, dass die ankommenden Kommunikationsrichtungen der Multiplexübertragungssysteme an die eine Seite, die abgehenden Kommunikationsrichtungen an die andere Seite der Koppelnrichtung angeschlossen werden (Combined Switching Mode, Kombinierte Vierdrahtdurchschaltung).

Im Gegensatz dazu kann für jede Kommunikationsrichtung eine eigene Koppelnrichtung vorgesehen werden, die allerdings beide gemeinsamen gesteuert werden können (Separated Switching Mode, getrennte Vierdrahtdurchschaltung).

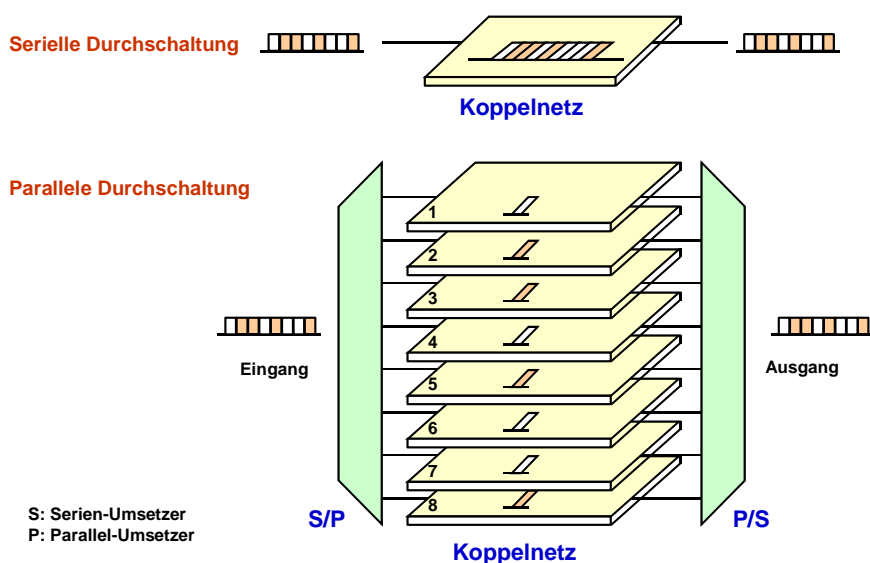


Bild: Serielle/parallele Durchschaltung

Weitere Durchschaltevarianten bei digitalen Koppelnetzen sind z.B. serielle und parallele Durchschaltung. Bei serieller Durchschaltung werden alle acht Bit jedes Oktetts nacheinander über das Koppelnetz oder über Teile davon durchgeschaltet, bei paralleler Durchschaltung werden sie dagegen gleichzeitig über acht parallele Ebenen vermittelt. Alle Ebenen können von denselben Steuerungseinrichtungen bedient werden. Auch Modifizierungen wie Durchschaltung von Halboktetts oder Durchschaltung von Doppeloktetts sind möglich. Der Vorteil der Paralleldurchschaltung liegt – bei erhöhtem Durchschalteteaufwand – in der z.B. achtfach höheren Arbeitsgeschwindigkeit. Damit lässt sich ein einfaches Prinzip wie das Kombinationsvielfach auch für größere Koppelnordnungen anwenden.

In der Festnetz-Telefonie werden Pulsmodulierte Signale (PCM-Signale) in der Vermittlungstechnik seit der 80er Jahren erfolgreich angewendet. Im Vergleich mit der analogen Raumvielfach-Vermittlungstechnik konnte mit der digitalen Vermittlung die Koppelpunktkosten deutlich gesenkt werden. Heute werden hochintegrierte Koppelmatrix-Chips verwendet.

Die Durchschaltung in einer PCM-Vermittlungsstelle geschieht so, dass die PCM-Signale der einzelnen Sprach- oder Datenwege, die zeitlich verschachtelt übertragen werden, auch direkt im Zeitvielfach vermittelt werden. An das Koppelnetz einer PCM-Vermittlungsstelle werden also nur mehr Multiplexleitungen angeschlossen. In den folgenden Bildern erkennt man den Unterschied zwischen einem reinen Raumvielfach-Koppelnetz und einem digitalen Koppelnetz. Während bei analogen Vermittlungsstellen die ankommenden Verbindungen nur die Raumlage wechseln konnten, erfolgt die Vermittlung bei digitalen Vermittlungsstellen durch Auswahl sowohl einer Raum- als auch einer Zeitlage.

### Raummultiplex

(Space Division Multiplex, SDM)

#### Koppelpunkt:

Analog: Metallischer Kontakt, 2 .. 8 – adrig

Digital: Elektronischer Schalter

Optisch: Optischer Schalter

#### Koppelmatrix:

Matrix aus  $m_1 \times m_2$  Koppelpunkten

$m_1$ : Eingangsleitungen (-bündel)

$m_2$ : Ausgangsleitungen (-bündel)

**Verbindung:** Leitung  $x_1$  ankommend mit Leitung  $x_2$  abgehend durch Schließen des Koppelpunktes ( $x_1, x_2$ )

**Steuerung:** Die Steuerung erfolgt beim Verbindungsaufbau (Festlegung des/der Koppelpunkte).

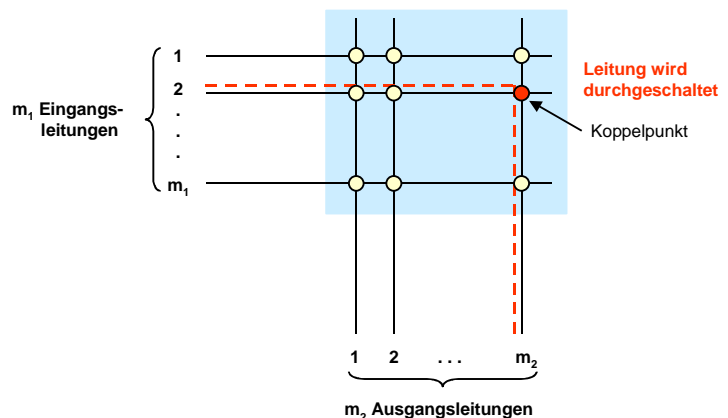


Bild: Raumvermittlung

### Raum- und Zeitmultiplex

(Space and Time Division Multiplex, STDM)

**Koppelpunkt:** Periodisch gesteuerter elektronischer Schalter für digitale Signale (PCM)

$n$ : Multiplexgrad (z.B. 32 Zeitlagen oder Zeitschlitze)

#### Koppelmatrix:

Matrix aus  $m_1 \times m_2$  STDM-Koppelpunkten

$m_1$ : Anzahl ankommender Highways

$m_2$ : Anzahl abgehender Highways

**Vermittlung:** (Highway  $x_1$ , Kanal  $y_1$ ) mit (Highway  $x_2$ , Kanal  $y_1$ ) durch periodisches Schließen des STDM-Koppelpunktes ( $x_1, x_2$ ) zur Zeitlage  $y_1$ .

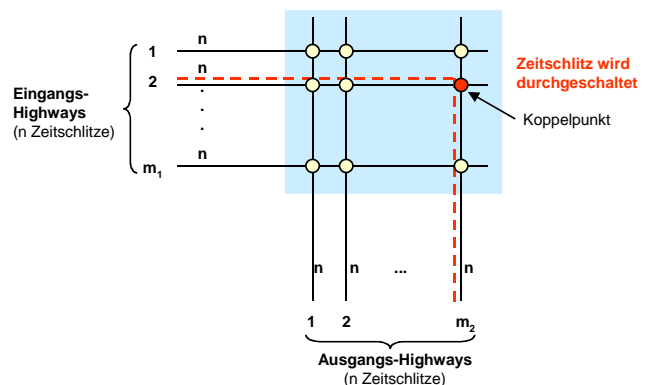


Bild: Raum- und Zeitvermittlung

Die Funktionsweise einer Kombinationsstufe ist im nebenstehenden Bild nochmals verdeutlicht. Betrachtet wird eine Übertragungsrahmenstruktur mit nur vier Zeitlagen. Bei reinem Zeitmultiplex kann nur die Zeitlage gewechselt werden. Dazu muss ein ganze Übertragungsrahmen stetig für die Rahmendauer zwischengepuffert werden können und ausgangsseitig die einzelne Zeitlagen wahlweise ausgelesen werden können. Bei reinem Räummultiplex kann auf einen anderen Ausgang gewechselt werden. Bei der Kombination beider Mechanismen hat jeder Eingang einen Zeitstufepuffer und alle Eingänge können während der Zeit einer Zeitlage mit einem der Ausgänge durchgeschaltet werden.

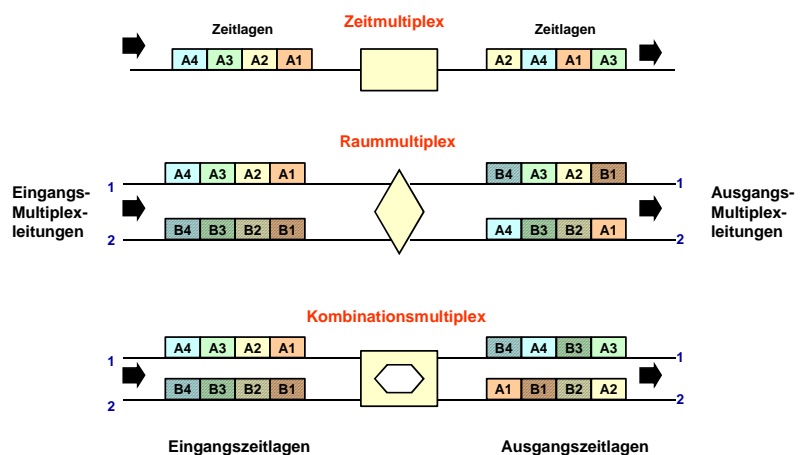


Bild: Koppelnetzelemente



Für die Steuerung einer Raumstufe wird für jede der  $m_1$  Eingänge ein Eintrag im Steuerspeicher zum Schalten eines Ausgangskoppel­punktes der Koppelpunktreihe des betrachteten Eingangs benötigt. Ein Eintrag besteht aus  $\lg m_2$  Bit (bei 4 Ausgängen sind dies 2 Bits, bei 16 Ausgängen sind 4 Bits notwendig)

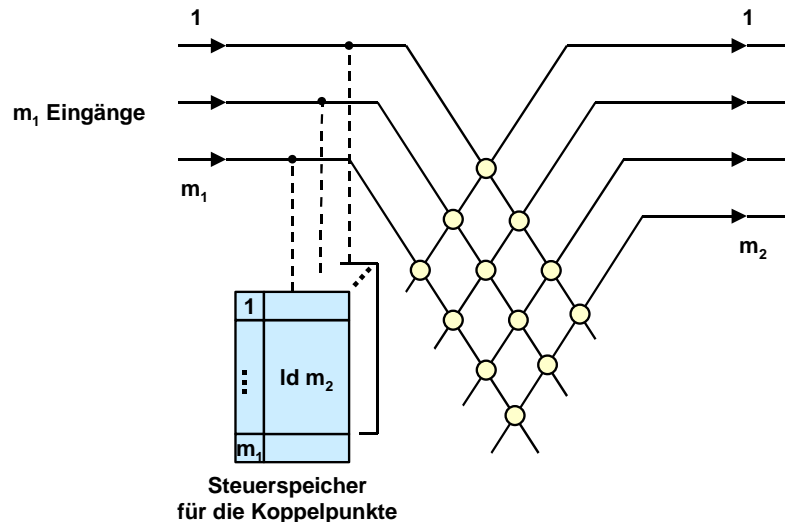


Bild: Raumvermittlungssteuerung

Eine Zeitvermittlungsstufe mit  $n$  Zeitlagen mit je  $x$  Bits erfordert einen Vermittlungspuffer mit  $n$  Einträgen von jeweils  $x$  Bits.

Es werden zuerst alle Zeitlagen einer Übertragungsrahmen zyklisch zwischengepuffert und anschließend tabellengesteuert ausgelesen.

Zur Steuerung des Auslesevorgangs enthält der Steuerspeicher  $n$  Einträge mit jeweils  $\lg n$  Bits.

Damit ein kontinuierliche Strom von Übertragungsrahmen auf dieser Weise vermittelt werden kann, werden zwei Puffer, die abwechselnd eingeschrieben und ausgelesen werden, verwendet.

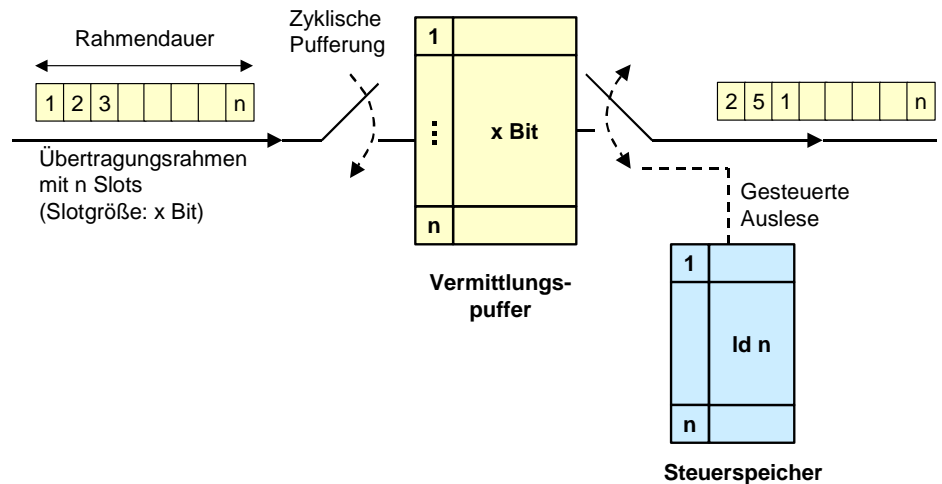


Bild: Zeitvermittlungssteuerung

Zur Realisierung einer Kombinationsstufe mit  $m$  Eingängen und  $m$  Ausgängen werden zuerst alle Zeitlagen der Eingänge verschachtelt (gemultiplext). Dadurch sind auf der Zwischenleitung zum Vermittlungspuffers  $n \times m$  Zeitlagen vorhanden. Man erhöht hier den Takt der Zwischenleitungselektronik und/oder man verwendet parallele Zwischenleitungen falls der Takt nicht weiter erhöht werden kann.

Für den Vermittlungspuffer und den Steuerspeicher ist nun der Zeitlagenzahl  $n \times m$  maßgebend.

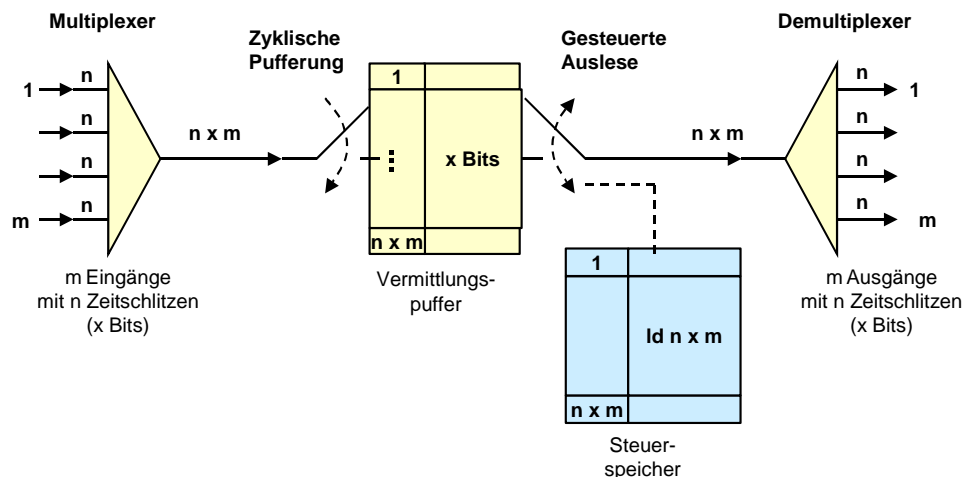


Bild: Steuerung bei Raum- und Zeitvermittlung

## Synchrones Zeitmultiplex (Durchschaltevermittlung)

Als Zeitstufe für die Durchschaltevermittlung ist der Betriebsweise voll synchron, wobei der Vermittlungspuffer auch gesteuert eingeschrieben und zyklisch ausgelesen werden kann.

Pufferworte: 1 Zeitlage

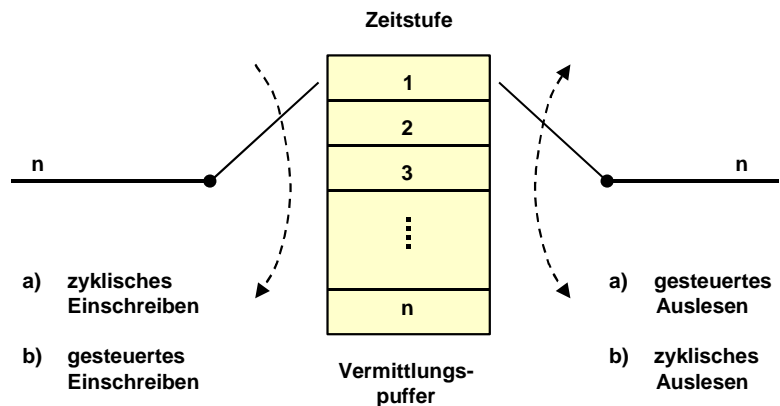


Bild: Synchrones Zeitmultiplex

## Synchrone und asynchrone Vermittlung

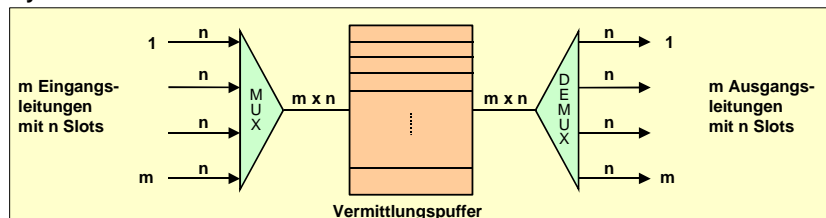
Für der asynchrone Betrieb mit Paketvermittlung ist eine kurze Zwischenpufferung am Eingang und Ausgang erforderlich zur Geschwindigkeitsanpassung und kurzzeitige Konfliktauflösung. Der statische Multiplexer am Eingang multiplext alle eintreffenden Pakete (Zellen) und schreibt sie nacheinander in den Vermittlungspuffer.

Ausgangsseitig werden dann die gepufferten Pakete (Zellen) ausgelesen und auf die entsprechenden Ausgänge verteilt (demultiplext).

Pufferworte: 1 Paket (1 Zelle)

Bottleneck: Pufferbandbreite

### Synchron:



### Asynchron:

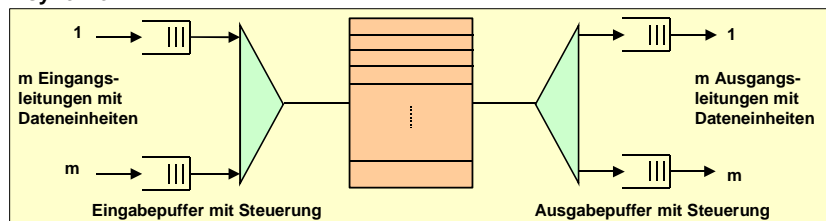


Bild: Synchrone und asynchrone Vermittlung

Asynchrone Koppelnetze basieren auf einer getakteten Struktur. Dies bedeutet, intern werden Datenblöcke konstanter Länge vermittelt. Dazu werden Pakete mit variabler Länge am Eingang zerlegt. Die Zerlegung fängt mit dem Header an und danach folgt den Payloadteil. Im Bild ist die Richtungsdarstellung gezeichnet worden. Zur Lenkung fängt jeder Datenblock mit einer internen Zusatzinformation an, so dass die einzelnen Datenblöcke sich selbständig durch das Koppelnetz lenken können. Am Ausgang werden alle Datenblöcke gesammelt und das Paket wieder zusammengesetzt. Je nach Koppelnetz kann die Reihenfolge der Datenblöcke sich ändern und muss sortiert werden. Bei ATM-Zellen ist lediglich die interne Zusatzinformation notwendig.

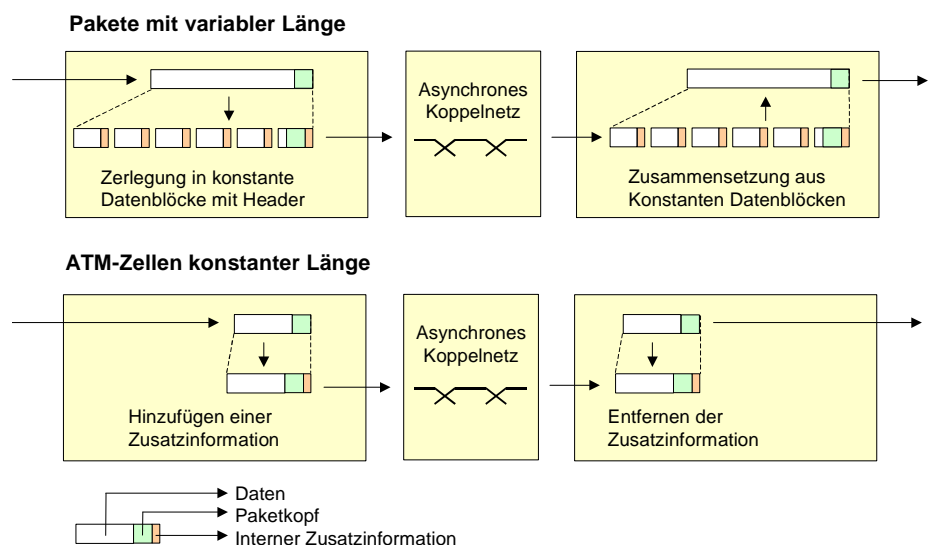


Bild: Asynchrone Vermittlung

## Asynchrone Koppelnetzstrukturen

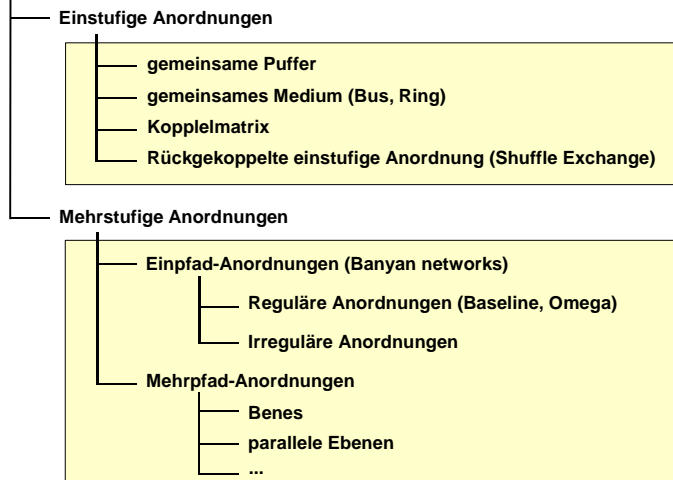


Bild: Strukturen von asynchronen Koppelnetzen

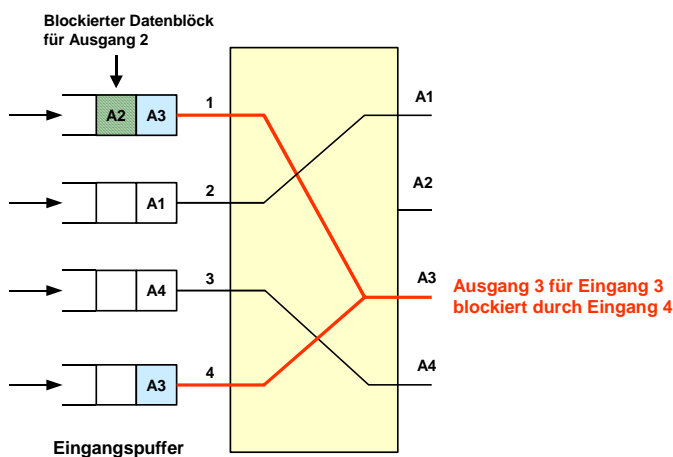


Bild: Head-of-the-Line Blockierung

Asynchrone Koppelnetze bilden den Kern aller Paketvermittlungsknoten, ATM-Knoten, Ethernet Switches und Router. Die Klassifizierung der asynchronen Koppelnetze erfolgt nach unterschiedlichen Kriterien:

- Koppelnetzstruktur.
- Anzahl der Vermittlungsstufen.
- Zwischenleitungsführung.
- Struktur der Koppelnetz-Elemente.
- Pufferung.
- Pufferung am Eingang oder Ausgang.
- Pufferung im Innern der Koppelanordnung.
- Konfliktauflösung (Rückstau, Überholen, ...).

Unterschieden wird zuerst mal nach einstufige oder mehrstufige Anordnung. Bei einstufigen Koppelnetzen gibt es den einfachen Schaltmatrix, ein gemeinsames Medium (Bus, Ring) und die einstufige Anordnung mit Rückkopplungen bis den gewünschten erreicht wird. Bei mehrstufigen Anordnungen unterscheidet man Einfad- und Mehrpfad-Anordnungen. Bei letzteren führen mehrere Pfade zum Zielausgang. Bei den Einfad-Koppelnetze (Banyan-Koppelnetze) sind zwischen regulären und irregulären Strukturen.

### Head-of-the-Line (HOL) Blockierung

Ein wichtiger Grund für eine verkehrsabhängige Leistungseinbuße von Vermittlungsknoten, Switches und Routern ist die HOL-Blockierung. Dies passiert, wenn

- Pakete von mehreren Eingängen für den selben Ausgang bestimmt sind.
- der gewünschte Ausgang durch eine temporäre Überlastung nicht zum Übertragung zur Verfügung steht.

Im Bild sind die Datenblöcke am Eingänge 1 für Ausgang A3 durch Datenblöcke von Eingang 4 zum selben Ausgang A3 blockiert. Dadurch ist am Eingang 1 auch der Datenblock für Ausgang A2 blockiert.

### Virtual Destination Queueing (VDQ)

HOL Blockierung kann vermieden werden, wenn am jeden Eingang die Pakete in einen Puffer für jeden Ausgang eingereiht werden.

Als einzige Möglichkeit zur Erweiterung der Crossbar mit Ausgangspuffer-Architektur ergibt sich logischerweise die Integration von mehreren parallelen Eingangspuffern. Die empfangenen Pakete werden über einen internen Mechanismus in jeweils einen Puffer des Ports gespeichert. Über eine zusätzliche Kontrollogik würde der Switch die einzelnen Datenpakete zur Übermittlung über die Cross-Matrix priorisieren.

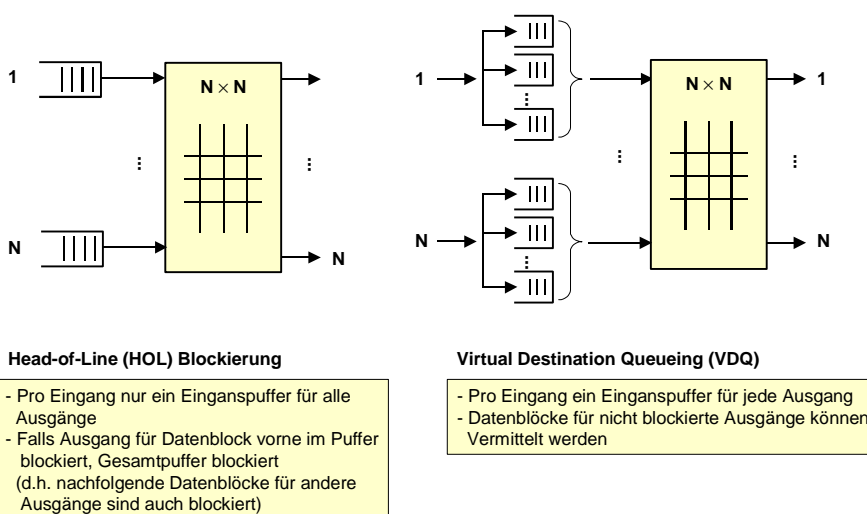


Bild: Vermeidung der Head-of-the-Line (HOL) Blockierung

Diese Architektur würde zwar unter Performance-Gesichtspunkten das Maximum leisten, wäre jedoch aufgrund der Komplexität der Hardware und der Software zu teuer in der Entwicklung. Dies würde bedeuten, dass Produkte, die auf dieser Architektur basieren würden, nicht im Markt konkurrenzfähig sind.

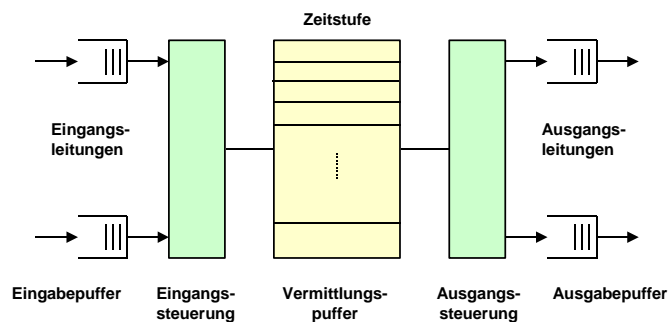


Bild: Gemeinsame Puffer

Bei Verwendung einer zentralen Puffer werden Pakete aus den Eingangsbuffern von der Eingangssteuerung eingeschrieben und von der Ausgangssteuerung ausgelesen und anschließend zu den Zielausgabebuffern geleitet.

### Gemeinsames Medium mit getakteter Struktur

Koppelanordnungen beschränkter Größe können auf dem Prinzip eines gemeinsamen Mediums (shared media) aufgebaut werden, und zwar sowohl für synchrones Zeitmultiplex (Durchschaltvermittlung) als auch für asynchrones Zeitmultiplex (Paket-, Zellenvermittlung). Je nach Ausdehnung des gemeinsamen Mediums handelt es sich um eine zentral gesteuerte Vermittlung oder um eine verteilte Vermittlung in Form eines lokalen Netzes (Local Area Network, LAN) als Bus oder seltener als Ring.

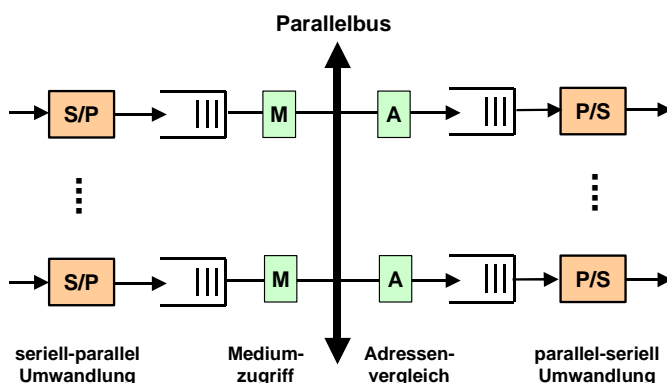


Bild: Gemeinsames Medium (Shared Medium)

Gemeinsam ist für beiden, dass die beschränkte Kapazität des gemeinsamen Mediums über ein **Vielfachzugriffsverfahren** verwaltet bzw. zugeteilt werden muss. Die getaktete bus- oder ringbasierte Technik ermöglicht eine **variable** Zuordnung und damit gleichzeitig auch die Möglichkeit, Kapazitäten in variabler, bedarfsangepasster Weise bereitzustellen. Neben reinen Bus- oder Ringsystemen können zur Kapazitätssteigerung auch Doppelbus- oder Doppelringsysteme eingesetzt werden. Das Vermittlungsprinzip basiert auf der Zuteilung periodischer Zeitschlitze (Zeitkanal bei Durchschaltvermittlung) bzw. aperiodischer Zeitschlitze für die Dauer einer Paket- oder Zellenübertragung (Paketvermittlung).

### Busvergabe über Medienzugriffsprotokolle (Vielfachzugriffsverfahren)

- zentral: zyklisch (Polling), FIFO-Arbitrierung, ...
- dezentral: ALOHA, CSMA, CSMA/CD, Token-Bus, ...
- Vermittlung durch Adressenvergleich und kopieren im Falle des positiven Vergleiches Paketadresse-Stationsadresse

### Getakteter Ring (Slotted Ring) mit fester Zuteilung der Zeitschlitze

- Erzeugung der Zeitschlitzstruktur durch Ring-Master
- Synchrone Zuordnung des (der) Zeitschlitzes beim Verbindungsaufbau durch Ring-Master
- Übertragung in Hinrichtung in festgelegtem Zeitschlitz bei Port A
- Entnahme bei Port B
- Bei Vollduplexbetrieb kann derselbe Zeitschlitz für die Rückrichtung benutzt werden

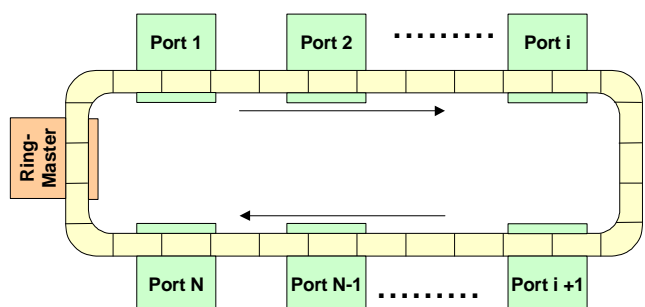


Bild: Getakteter Ring mit Master (Synchrones Zeitmultiplex)

### Getakteter Ring (Slotted Ring) mit dem ATMR-Zugriffsmechanismus

Die Medienzugriffskontrolle nach dem Prinzip des ATM-Rings basiert auf einem verteilt arbeitenden Quotenverfahren und einem Reset-Mechanismus. Das Quotenverfahren übernimmt die Steuerung des quotierten Zugriffs der einzelnen Ports. Jede Port darf pro Zyklus maximal die durch die Quote vorgegebene Kapazität des Mediums belegen. Läuft ihre Quote aus, so wird ein Port inaktiv. Der letzte noch aktive Port initiiert nach Ablauf ihrer eigenen Quote einen Reset, mit dem die anderen Ports aktiviert und deren Quoten erneuert werden (Reset-Mechanismus). Der Zeitraum zwischen zwei aufeinanderfolgenden Resets wird als Reset-Periode bezeichnet. Die Dauer dieser Periode ist abhängig sowohl von der Größe der Quote für jeden Port als auch von der aktuellen Lastverteilung auf dem Ring. Dieses Verfahren ist geeignet für mittelgroße Vermittlungsknoten, Switches und Router mit 50 bis 500 Ports und sehr dynamische Verkehrsflüsse. Für viele Ports und hoher Verkehrsdynamik kann ein gegenläufiger Doppelring eingesetzt werden. Die Zugriffskontrolle läuft auf beiden Ringen unabhängig ab.

### Getakteter Ring (Slotted Ring) mit Zugriffsmechanismus

- Erzeugung der Zeitschlitzstruktur durch momentanen Master in einem der Ports
- Asynchrone Zuordnung der Zeitschlitz nach einem fairen Zugriffsmechanismus (z.B. ATMR-Mechanismus)

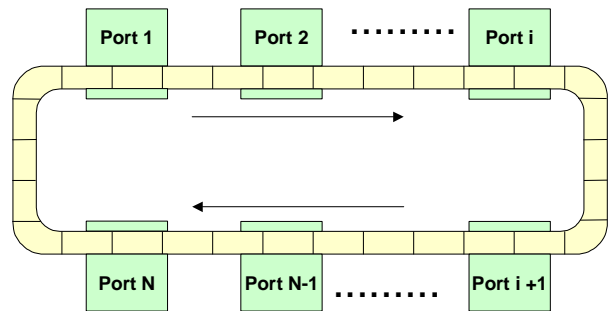


Bild: Getakteter Ring mit Zugriffsmechanismus (Asynchrones Zeitmultiplex)

### Der Reset-Mechanismus

Das Ende des aktuellen Protokollzyklus kann mit einem verteilten Kontrollmechanismus wie folgt erkannt werden. Jeder noch aktive Port schreibt seine Adresse als sogenannte busy-Adresse in jeden passierenden Zeitschlitz. Inaktive Ports lassen die Zeitschlitz dagegen unverändert. Empfängt ein Port einen Zeitschlitz mit der eigenen busy-Adresse, erkennt er, dass alle anderen Ports zu dem Zeitpunkt, zu dem der Zeitschlitz sie passiert hat, inaktiv waren. Dieser Port sendet dann, sobald er selbst inaktiv wird, eine Reset-Meldung aus und geht in den sogenannten Hunting-Zustand über. Auch an Ports, die zwischenzeitlich durch die Ankunft neuer sendebereiter Daten wieder aktiv geworden sind, wird mit der Ankunft der Reset-Meldung die Quote neu initialisiert, womit diese Ports einen gewissen Kapazitätsverlust hinnehmen müssen. Andererseits kann es wegen der nicht vernachlässigbaren Ringlatenz auch vorkommen, dass mehrere Ports nahezu gleichzeitig das Ende des Protokollzyklus erkennen und eine Reset-Meldung generieren. Dieser Konflikt wird dadurch gelöst, dass ein Port im Hunting-Zustand ein bei ihr ankommende Reset-Meldung, unabhängig davon, ob es das von ihm gesendet ist, vom Ring entfernt und den Hunting-Zustand wieder verlässt.

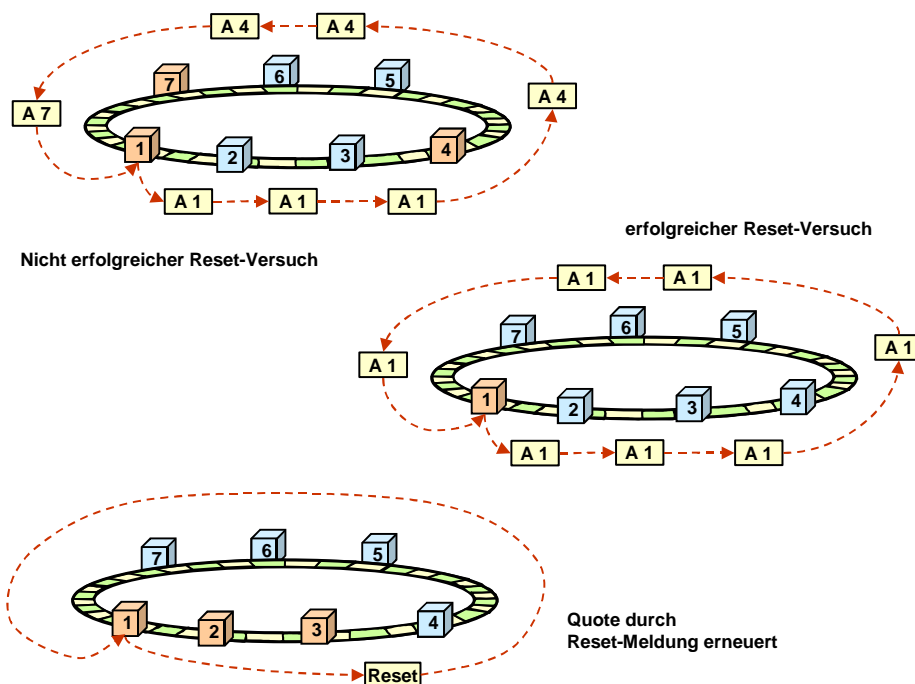


Bild: Reset Mechanismus



## Dualbussystem (Slotted Bus)

- Erzeugung der Pulsrahmenstruktur auf Bus A (B) durch Slotgenerator A (B).
- Feste Reservierung von  $n$  Zeitkanälen je Port in Senderichtung bzw. variable Zuteilung einer beliebigen Anzahl von Zeitschlitzes je Port.
- Verbindungsauf-/abbau über speziellen Steuerkanal (nicht gezeigt), dabei Festlegung des benutzten Zeitschlitzes (oder mehrerer Zeitschlitzes).
- Eintrag des Abtastwertes in festgelegtem Zeitschlitz beim Sender und Entnahme des Abtastwertes beim Empfänger
- Übertragung in Hin- und Rückrichtung über getrennte Busse auf (z. B.) gleichnamigen Zeitlagen.

Verkehrseinschränkung im Falle  $k < N \cdot z$ , wobei  $k$  die Anzahl der Zeitlagen/Pulsrahmen,  $N$  die Anzahl der Ports und  $z$  die max. Anzahl von Verbindungen pro Port.

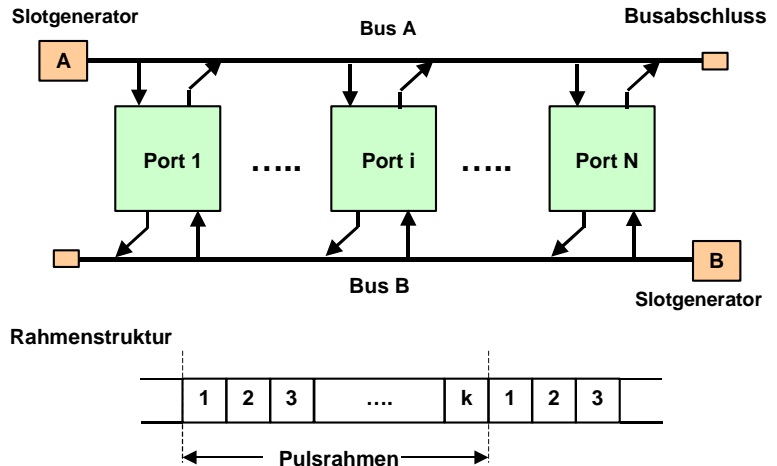
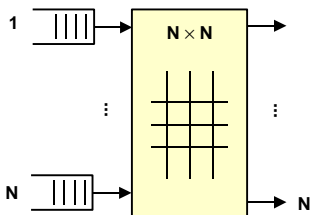


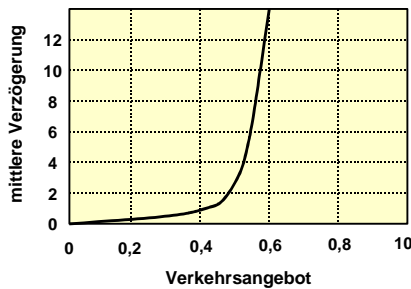
Bild: Dualbussystem (Slotted Bus)

In den meistens Vermittlungseinrichtungen werden Koppelnetze eingesetzt. Hier gibt es je nach Anzahl Ports eine Vielzahl von Möglichkeiten.

## Koppelmatrix mit Eingangspuffer



Einfluss der Head-of-Line Blockierung (HOL)



- Jeder Eingang verfügt über einen Eingangspuffer
- Datenblock wartet am Eingang des Koppelmatrices, falls Ausgang blockiert ist
- Koppelmatrix intern blockierungsfrei

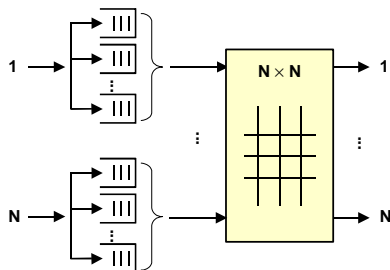
### Nachteil: Head-of-Line Blocking (HOL)

- Wartender Dateneinheit am erster Stelle des Puffers blockiert den gesamten Puffer

Bild: Koppelmatrix (crossbar): Eingangspuffer

## Crossbar Switch mit Eingangspuffern

Bei dieser Architektur werden alle Ports des Switches über eine Koppelmatrix miteinander verbunden. Wird ein Datenblock von einem der Ports auf die Koppelmatrix geschickt, so ist der gesamte Koppelnetz oder ein Teil des Koppelnetzes belegt. Dadurch könnten während der Datenübertragung des Datenblockes keine weiteren Datenblöcke mehr von anderen Ports übermittelt werden und gehen verloren. Um dies zu vermeiden, wurde jeder Eingangsport mit Zwischenpuffern versehen. Wird auf der Koppelmatrix bereits ein Datenblock übermittelt, so werden alle neuen Datenblöcke in den Eingangspuffern zwischengelagert, bis der Koppelmatrix für die Übermittlung des nächsten Datenblockes frei wird.



### Virtual Destination Queueing (VDQ)

- Aufteilen nach Ausgangsrichtung

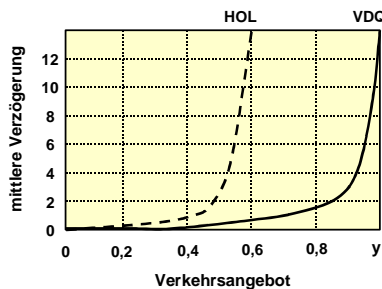


Bild: Koppelmatrix (crossbar): mehrere Eingangspuffer

Bei gering ausgelasteten Netzen werden durch den Koppelmatrix mit Inputpuffer-Architektur eine relativ geringe Verzögerungszeit zwischen den einzelnen Datenblöcken erzielt. Bei steigender Last jedoch steigt die Verzögerungszeit extrem an. Dies wird durch die Head-of-the-Line Blockierung verursacht. Die obere Grenze des Arbeitsbereichs liegt etwa bei 58 %. Steigt die Last weiter an, so erhöht sich die Datenverzögerung erheblich. Diese Leistungseinbuße kann durch Virtual Destination Queueing eliminiert werden.

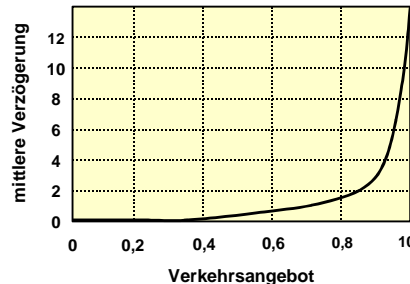
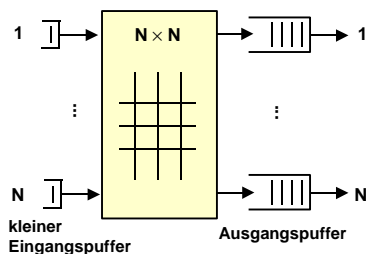
### Vorteile eines Crossbar mit Inputpuffer-Architektur

- relativ geringer Hardware-Aufwand
- kostengünstig
- leicht zu modifizieren
- ideal für den Einsatz in Workgroups mit einer geringen Last
- ideale Architektur für Broadcast und Multicast

### Nachteile eines Crossbar mit Inputpuffer-Architektur

- ab einer Durchsatzrate von 58 % kommt es zu hohen Verzögerungen
- zum Anschluss von Segmenten nicht geeignet
- kann nicht im Voll-Duplex-Betrieb verwendet werden
- schwer skalierbar

#### Koppelmatrix mit Ausgangspuffer



- Kleiner Eingangspuffer zur Synchronisierung der Datenblöcke
- Datenblock wartet direkt am Ausgang des Koppelmatrixes, falls Ausgang blockiert ist
- Koppelmatrix intern blockierungsfrei
- Vermittlung von N Datenblöcken während einer Datenblockperiode möglich

#### Nachteil:

- Interne Vermittlung der Datenblöcke muss mit N-facher Geschwindigkeit geschehen (N ist die Anzahl der Eingänge)

Bild: Koppelmatrix (crossbar): Ausgangspuffer

### Crossbar Switch mit Ausgangspuffern

Bei dieser Architektur findet keine Eingangspufferung statt. Lediglich eine kleine Eingangspuffer zur Geschwindigkeitsanpassung ist notwendig. Da die Datenblöcke sofort vermittelt werden, kommt es bei Ausgangspufferung nicht zur HOL-Blockierung. Die Architektur verlangt jedoch, dass mit einem sehr schnellen Koppelmatrix dafür gesorgt wird, dass alle ohne Verzögerung übermittelt werden können. Erst im Ausgangspuffer werden die Datenblöcke für die weitere Übertragung auf den Ausgangsport zwischengelagert. Dies setzt voraus, dass die Ausgangspuffer relativ groß (mehrere MByte) sind und die Zugriffsmechanismen auf diesen Puffer optimiert wird.

Nur durch das direkte Zusammenspiel des Koppelnetzes mit dem optimierten Ausgangspuffer ist eine große Effektivität des Switches zu garantieren. Der große Vorteil dieser Architektur liegt darin, dass auch bei steigender Netzlast und bei steigender Portzahl die Verzögerung zwischen den einzelnen Datenblöcken gleich bleibt. Die Effektivität des Switches kann in der Praxis annähernd das Durchsatzoptimum von 99,xx% erreichen.

### Vorteile der Ausgangspuffer-Architektur

- leicht zu modifizieren
- ideal für Workgroups und zentralen Applikationen
- gleichbleibende Verzögerungszeiten bis zu einer Durchsatzrate von annähernd 100%
- kann auch im Voll-Duplex-Betrieb verwendet werden
- ideale Architektur für Broadcast und Multicast
- leicht skalierbar

### Nachteile der Ausgangspuffer-Architektur

- relativ komplexer Hardware-Aufbau
- durch den komplexen Hardware-Aufbau steigen die Kosten
- großer Output-Puffer und ein optimiertes Puffer-Management notwendig

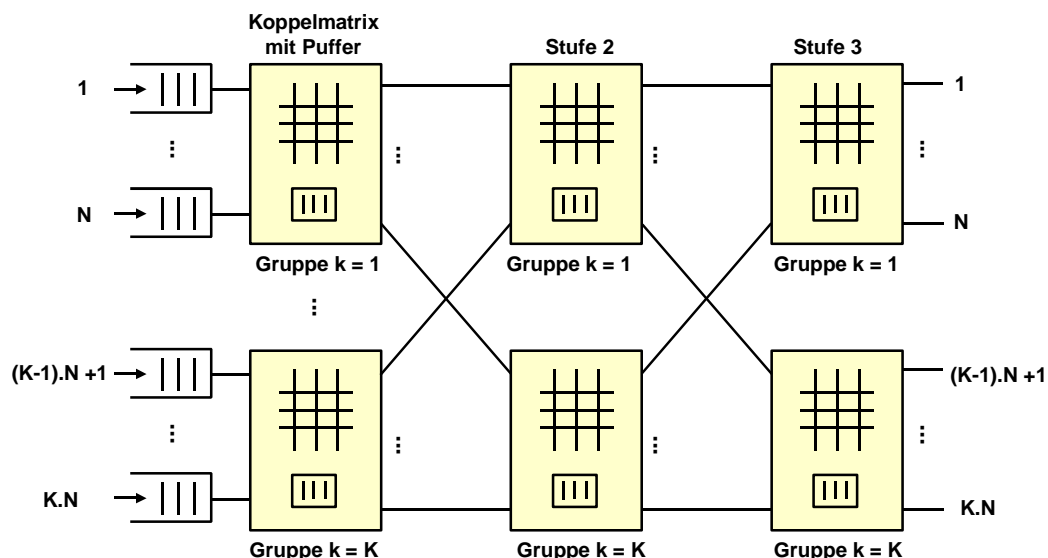
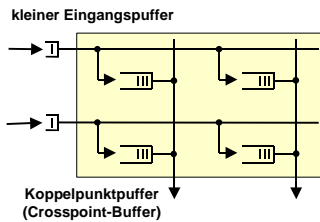


Bild: Mehrstufiges Koppelnetz mit Puffer in jedem Koppelmatrix

### Koppelstufen mit eigenem Puffer

- Eingangspuffer
- Ausgangspuffer
- Puffer pro Koppelpunkt



- Kleiner Eingangspuffer zur Synchronisierung der Datenblöcke
- Matrix aus Eingangs und Ausgangsleitungen
- Puffer an den Koppelpunkten

**Nachteil:** Hoher Pufferbedarf

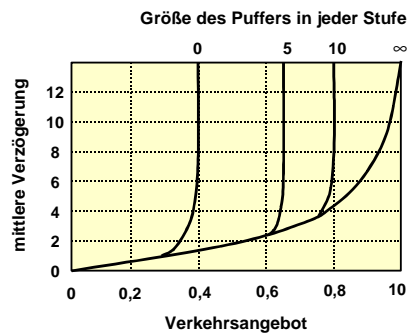


Bild: Mehrstufiges Koppelnetz: verteilter Puffer

### Mehrere Koppelstufen

Bei dieser Architektur stehen einem Port oder einer Gruppe von Ports eine Reihe von Eingangspuffern mit einem separaten Koppelmatrix zur Verfügung. Wird ein Datenblock an einem Port empfangen, so wird dessen Zieladresse ermittelt. Anschließend wird der Datenblock mit Hilfe des Koppelnetzes an den Zielport weitertransportiert. Befindet sich der Empfänger an einem Port des lokalen Koppelmatrix, wird das Datenpaket direkt an den Zielport übermittelt. Befindet sich der Empfänger jedoch an einem anderen Koppelmatrix, so müssen die Datenblöcke im nächsten Schritt an das Ziel-Koppelmatrix weitergeleitet werden. Die Pufferung in den einzelnen Stufen kann verschieden organisiert werden: Eingangspuffer, Ausgangspuffer, kombiniert oder auch Puffer pro Koppelpunkt.

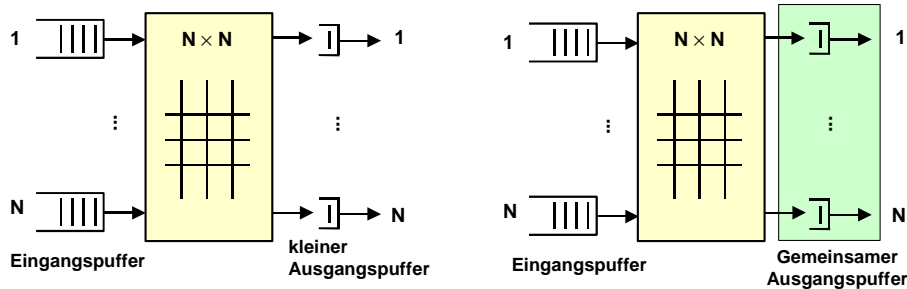
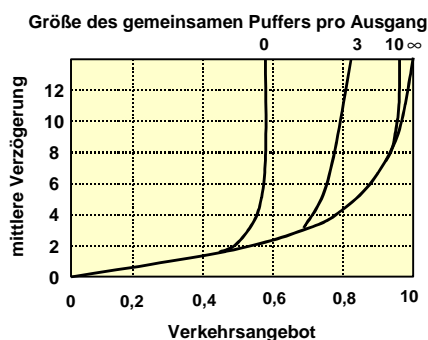
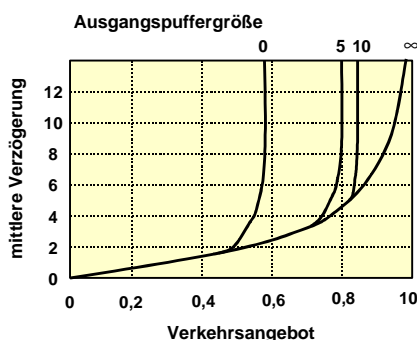


Bild: getrennte oder gemeinsame Ausgangspuffer

### Koppelmatrix mit Eingangs- und kleinen Ausgangspuffern

Die Eingangspuffer-Architektur kann durch die Verwendung von kleinen Ausgangspuffern kann der Durchsatz eines Koppelnetzes wesentlich gesteigert werden.

Die einzelnen parallelen Ausgangspuffer können auch durch einen gemeinsamen Ausgangspuffer-Pool ersetzt werden.



### Kleinerer Pufferbedarf bei gemeinsamem Ausgangspuffer

**Grund:** Ausgänge mit niedrigeren Auslastung können Ausgänge mit hohem Last mit Pufferplatz aushelfen

**Nachteil:** Ein blockierter Ausgang kann mit ihren gepufferten Datenblöcken den Datenfluss zu den anderen Ausgängen beeinträchtigen

Durch den gemeinsamen Ausgangspuffer wird der Effekt des Head-of-the-Line Blockierens nur minimal reduziert. Bei steigendem Datenverkehr und bei der Zunahme von Stationen erhöhen sich die Verzögerungszeiten in beiden Fällen drastisch.

Ein gemeinsamer Ausgangspuffer reduziert den Pufferbedarf am Ausgang.

**Grund:** Ausgänge mit niedrigeren Auslastung können Ausgänge mit hohem Last mit Pufferplatz aushelfen

**Nachteil:** Ein blockierter Ausgang kann mit ihren gepufferten Datenblöcken den Datenfluss zu den anderen Ausgängen beeinträchtigen

### Rückgekoppelte Einstufige Anordnung (Shuffle Exchange)

- eine einstufige Vermittlungsanordnung aus elementaren Koppellementen (z.B. 2 x 2) mit Zwischenpuffern
- eine spezielle Zwischenleitungsanordnung, durch welche die Eingänge auf die Koppellement-Eingänge aufgeteilt werden (Permutation)
- Rückkopplung für mehrmaliges Durchlaufen eines Datenblocks durch die einstufige Koppelanordnung

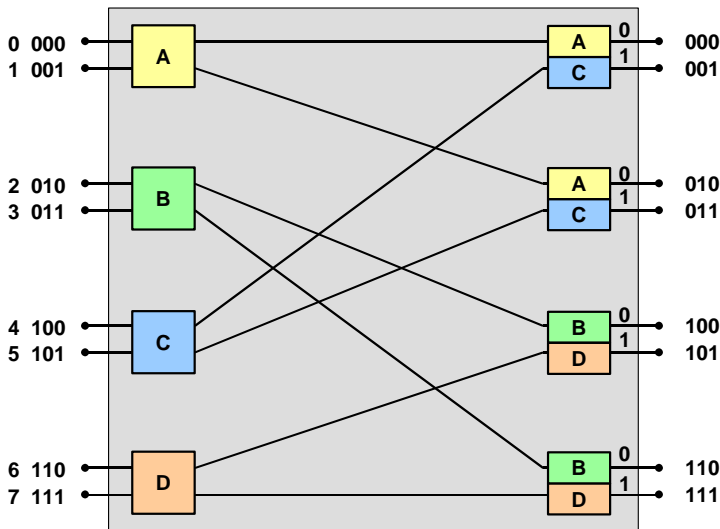


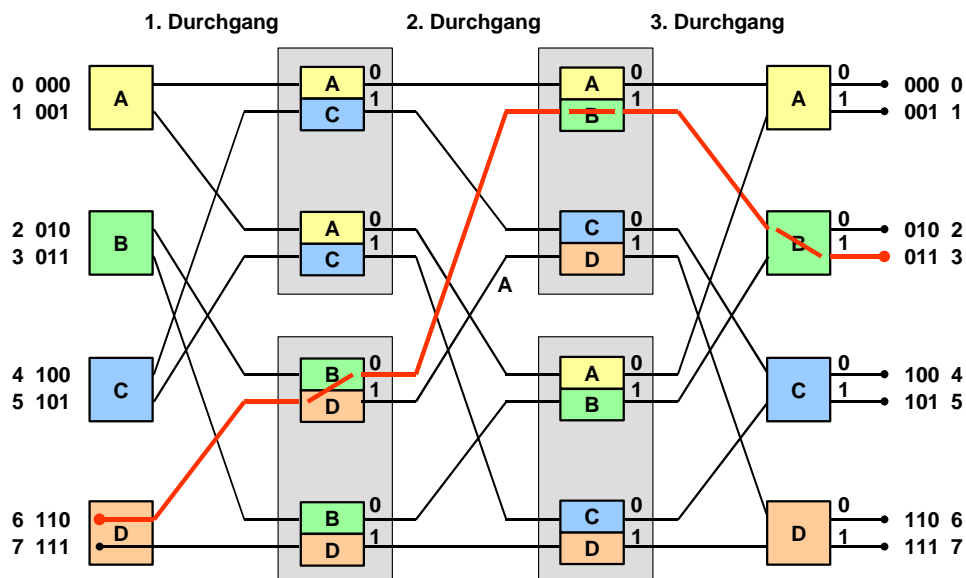
Bild: 8 x 8 Shuffle Koppelnetzstufe

- 2 x 2 - Koppellemente
- Durchschaltung des Datenblockes von einem Eingang zum oberen (unteren) Ausgang; je nach Weeginformation 0 (1)
- duale Codierung der Eingänge (Ausgänge); 0 ... 7 durch 000 ... 111
- Vermittlung entsprechend der mitgeführten Zieladresse (Ausgang) durch 3-maliges Durchlaufen der einstufigen Anordnung
- es existiert genau ein Pfad zwischen jedem Paar Eingang-Ausgang
- eine kürzere Durchlaufzeit ist möglich, wenn der Ausgang schon vorher erreicht wird (dann ist aber die Auswertung der ganzen Information erforderlich)

#### Beispiel:

Datenblocktransfer von Eingang E6 auf Ausgang A3  
Der Routing Code ist (011)

1. Durchlauf (0): von E 6 auf A 4
2. Durchlauf (1): von E 4 auf A1
3. Durchlauf (1): E 1 auf A 3



Verbindung zwischen Eingang 6 und Ausgang 3

Bild: Binäre Vermittlung (Räumliche Darstellung von 3 Durchläufen im einstufigen Shuffle Koppelnetzstufe)

### Räumliche Darstellung der zeitlich nacheinander erfolgenden Durchschaltungen:

- Beispiel-Verbindung zwischen Eingang 6 und Ausgang 3
- Merkmal: Anwendung des Codebaum-Prinzips von jedem Eingang aus

## Mehrstufige Anordnungen

### a) Einpfad-Anordnungen

- Mehrstufige Anordnung mit einer Zwischenleitungsführung wie bei Shuffle Exchange Netzen
- Gleiches Schema der Durchschaltung räumlich wie bei der Shuffle Exchange zeitlich
- Rekursiver Aufbau der Struktur eines N-stufigen Netzes aus zwei (N-1)-stufigen Netzen durch Vorschalten einer weiteren Stufe mit kanonischer Zwischenleitungsführung

Erweiterbarkeit entsprechend des Ausbaubedarfs

Bei der Omega-Struktur verwendet man zwei Shuffles in Serie.

Der Baseline-Struktur verwendet eine Shuffle-Stufe und anschließend eine Auskreuzungsstufe.

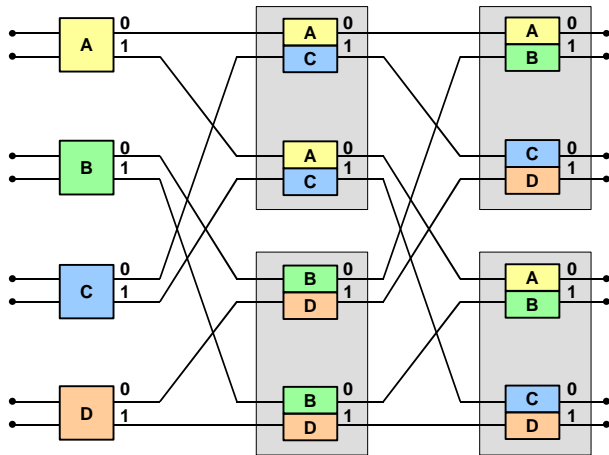


Bild: Omega-Koppelnetze

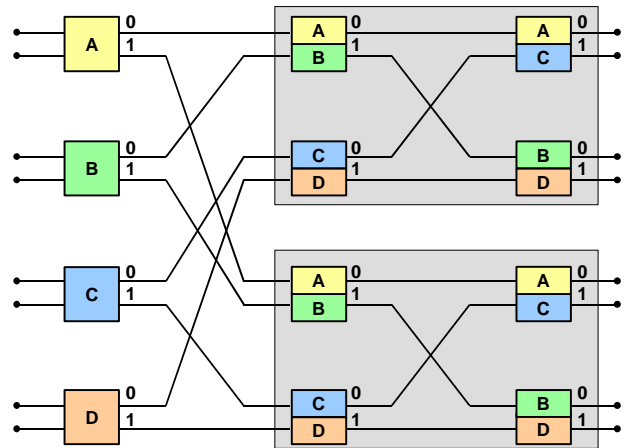


Bild: Baseline Koppelnetze

### b) Mehrpfad-Anordnungen

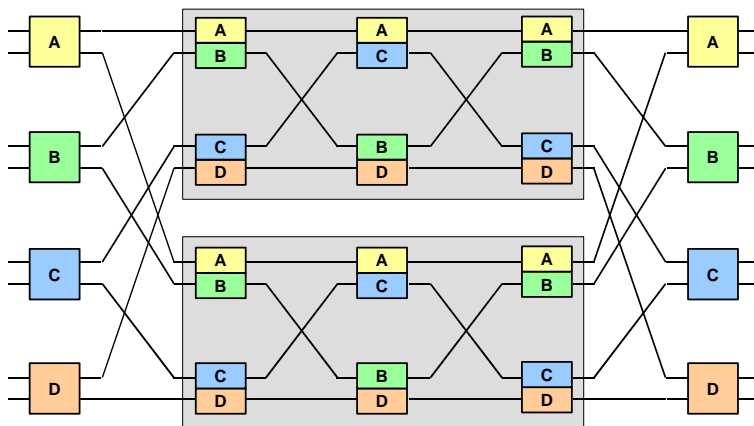


Bild: Benes- Koppelnetze

rekursive Definition der Struktur mit N Eingängen und N Ausgängen durch Vor- und Nachschalten von je einer weiteren Stufe zu zwei Benes-Netzen mit je N/2 Eingängen bzw. Ausgängen und kanonischer Zwischenleitungsführung

Koppelnetz ist nur bedingt blockierungsfrei, d.h. es kann durch Umordnung bestehender Verbindungen Blockierungsfreiheit erzielt werden.

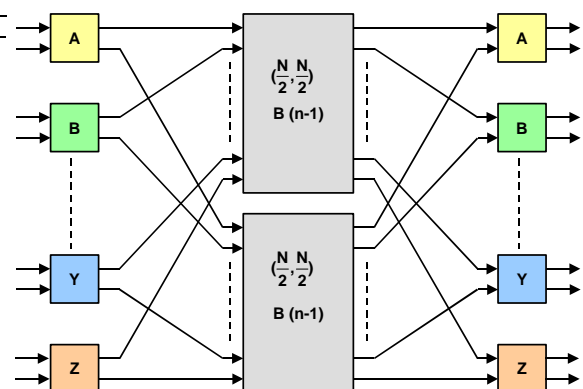


Bild: Struktur von Benes-Netzen

### Prinzip der rekursiven Definition der Struktur von Benes-Netzen:

Aufbau aus  $2 \times 2$ -Koppelementen für Koppelnetze mit N Eingängen und N Ausgängen durch  $N/2$  Koppelemente je Stufe und 2 ld (N-1) Stufen.



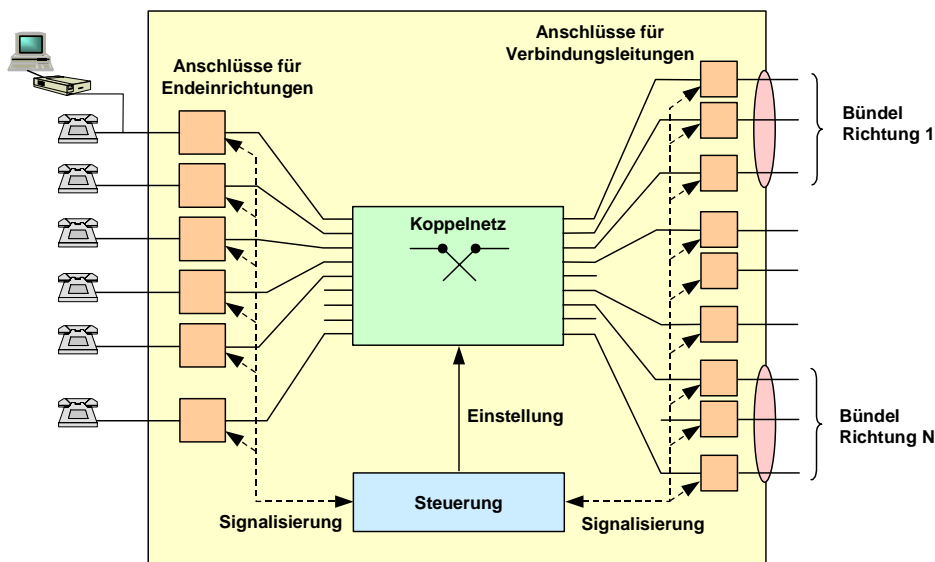


Bild: Teilnehmer-Vermittlungsknoten

Eine Vermittlungsknoten besteht im allgemeinen aus

- Teilnehmeranschlussmodulen,
- Leitungsanschlussmodulen,
- Koppelnetz,
- Steuerung.

Durch die Signalisierung zwischen den Anschlussmodulen und der Steuerung werden die Verbindungen im Koppelnetz durchgeschaltet.

Alle Glasfaser zu und von einem Nachbar-Vermittlungsknoten werden als Leitungsbündel bezeichnet. Diese Glasfaser liegen in einem oder mehreren Übertragungskabeln..

Datenverbindungen mit Modems werden über die 64 kbit/s Sprachkanäle des synchronen Koppelnetzes geführt. Internetverbindungen werden in den Teilnehmeranschlussmodulen ausgeschieden und über asynchrone Koppelnetze geleitet.

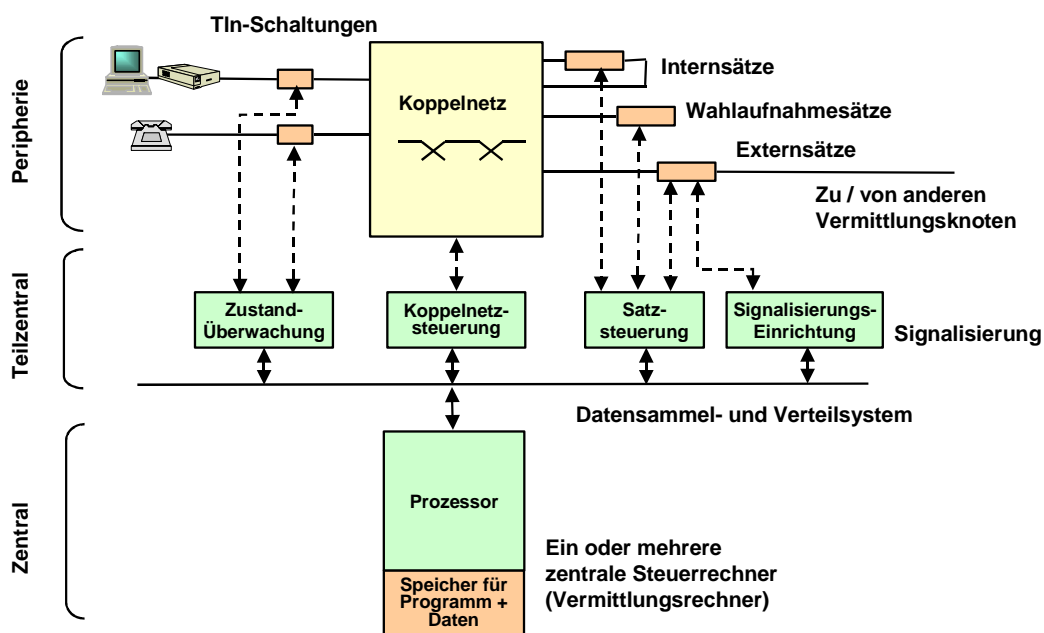


Bild: Grundstruktur von Vermittlungsknoten

### Periphere Ebene

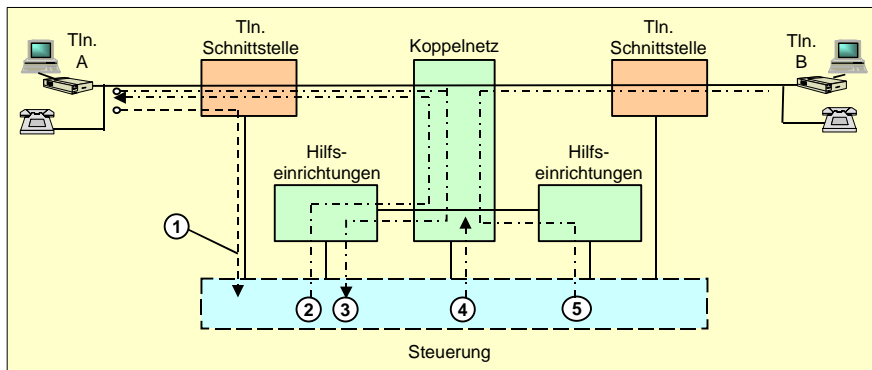
Sie enthält das Koppelnetz und die peripheren Einheiten. Teilnehmer sind über Teilnehmereinheiten (TS) an das Koppelnetz angeschlossen. Intern/Extern Sätze übernehmen während einer Verbindung die Speisung und Überwachung der Teilnehmer-Verbindung. Der Wahlaufnahmesatz dient zum Erkennen und Aufnehmen der Wählziffern.

### Teilzentrale Ebene

Hier sind Steuerungsbaugruppen angesiedelt. Die Baugruppen können für die Teilnehmer-Sätze (Anrufidentifizierung und Zustandsüberwachung) oder für das Koppelnetz (Koppelnetzsteuerung) oder für die Intern-, Extern-, Wahlaufnahmesätze (Einheitsteuerung) zuständig sein. Ebenfalls in dieser Ebene angesiedelt sind Einrichtungen zur Signalisierung mit anderen Vermittlungsstellen.

### Zentrale Ebene

Sie umfasst den bzw. die Vermittlungsrechner, bestehend aus Prozessor und Speicher für Software und Daten.



- ① Feststellung des Verbindungswunsches und Identifizierung des A-Teilnehmers
- ② Wahlaufforderung
- ③ Empfang und Auswertung der Wählinformation
- ④ Wegesuche; Einstellen des Koppelnetzes für Verbindung A – B
- ⑤ Anschalten des Ruftons zum B-Teilnehmer

Bild: Verbindungsaufbau

## Steuerungsprinzipien und Architektur

Klassifizierung der strukturellen Merkmale sowie Organisationsprinzipien der Steuerung:

Steuerung	konzentriert - verteilt
Hardware-Struktur	zentral – dezentral - teilzentral
Software-Struktur	nicht-modular - modular

Man findet in einem System mit zentraler Struktur häufig das konzentrierte Steuerungsprinzip, während das in modernen Vermittlungssystemen oft angewendete Prinzip der verteilten Steuerung eine dezentrale bzw. gemischt zentral/dezentrale Systemstruktur voraussetzt.

### Zentrale Struktur mit konzentrierter Steuerung

Bei dieser Steuerung konzentrieren sich alle vermittlungstechnischen Funktionen in einer Steuerungseinheit, die aus einem oder mehreren gleichartigen Rechnern besteht. In dieser zentralen Steuerungseinheit befinden sich alle Programme, die für die Verbindungssteuerung benötigt werden, sowie die Zustandsspeicherung des gesamten Systems, d.h. ein komplettes Abbild der aktuellen Zustände von Teilnehmern, Verbindungsleitungen, dem Koppelnetz und der systemeigenen peripheren Einrichtungen.

Diese Steuerungsart erfordert eine große Speicher- und Rechenkapazität sowie eine hohe Zuverlässigkeit des Steuerrechners, welcher aus Sicherheitsgründen in der Regel gedoppelt wird. Die Leistungsfähigkeit des Systems wird durch die Kapazität der Steuereinheit bestimmt, die für eine Überlast-Betrachtung den Engpass des Systems bildet. Die zentrale Steuereinheit muss in der Regel für den Endausbau des Vermittlungssystems dimensioniert werden. Die zentrale Systemstruktur verursacht, bedingt durch die Konzentration der gesamten Intelligenz des Systems, einen intensiven Steuerdatentransport zwischen der peripheren Ebene und der zentralen Steuereinheit. Diese Aufgabe erfordert einen leistungsfähigen Ein/Ausgabe-mechanismus für vermittlungs-technische Signale und Befehle.

Das Bild zeigt eine übliche Realisierung des Steuerdatentransfers, indem alle Steuersignale durch ein Bus-system von der Peripherie zur Steuerung und umgekehrt transportiert werden.

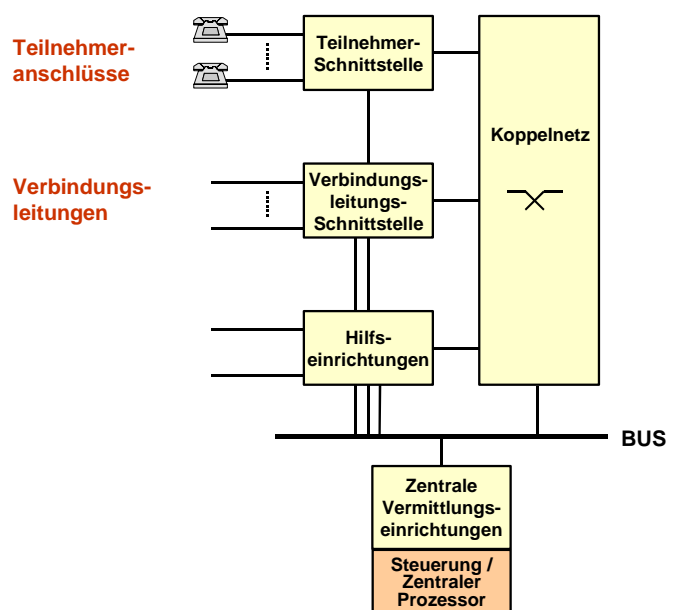


Bild: Zentraler Vermittlungsknoten

Eine erfolgreiche Verbindung besteht prinzipiell aus drei Phasen: der Verbindungsaufbauphase, der Gesprächsphase und der Auslösungsphase. Die Steuerung sowie die Vermittlungseinrichtungen werden während der Verbindungsaufbauphase am intensivsten beansprucht. Am Beispiel des Aufbaus einer internen Verbindung, d.h. beide Teilnehmer sind an dieselbe Vermittlungsstelle angeschlossen, werden einige Grundaufgaben eines Vermittlungssystems in 5 Steuerungsschritten dargestellt.

### Dezentrale Struktur mit verteilter Steuerung

Die technologischen Fortschritte, insbesondere die Entwicklung von Mikrorechnern und schnellen Speichern in der Hardware und die Verfügbarkeit von Entwicklungs- und Beschreibungsmethoden in der Software, ermöglichen eine wirtschaftliche Verlagerung der Intelligenz in die periphere Systemebene. Die Systemfunktionen werden auf mehrere Steuereinheiten verteilt, wobei jede Steuereinheit (Rechner) ausschließlich für ein Modul zuständig ist, z. B. Teilnehmer- oder Verbindungsleitungs-schnittstelle, usw.

Die Module können wegen ihrer autonomen Steuerung beim Ausbau der Vermittlungsstelle nach Bedarf hinzugefügt werden. Dadurch werden die Realisierung und die Anpassung verschiedener neuer Dienste oder Signalisierungssysteme erleichtert. Bei der Erweiterung eines Teilsystems wird der Normalbetrieb des vorhandenen Systems nicht wesentlich beeinflusst. Überdies bietet die verteilte Steuerung eine erhöhte Ausfallsicherheit und eine verringerte Wirkbreite von Störungen. Man findet bei der dezentralen Systemstruktur häufig eine Mischung zwischen Funktions- und Lastteilungsprinzipien. Die Vermittlungsfunktionen werden je nach Aufgabe auf die dezentralen Module verteilt (Funktionsteilung). Einige wichtige Vermittlungsfunktionen (z.B. Verbindungssteuerung) werden von mehreren Steuereinheiten übernommen, die nach dem Lastteilungsprinzip operieren.

Da die dezentralen Steuereinheiten autonome Datenbereiche besitzen und keine Steuereinheit das gesamte Abbild der Systemperipherie in seinem Speicherbereich enthält, muss eine funktionsfähige Interprozessorkommunikation für den Datenaustausch gewährleistet werden.

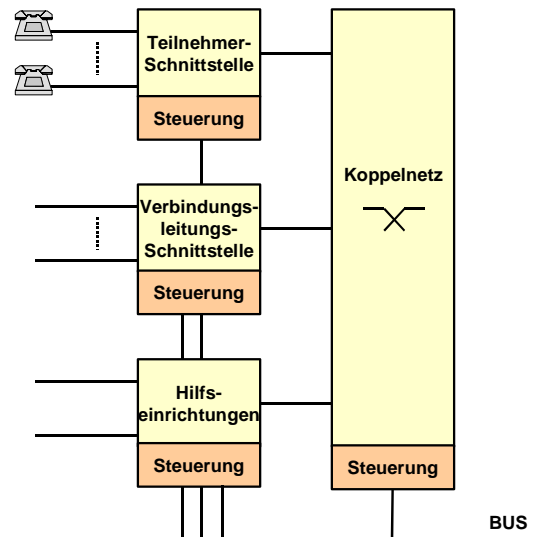


Bild: Dezentraler Vermittlungsknoten

### Gemischt zentral/dezentrale Struktur mit verteilter Steuerung

Diese Struktur findet Anwendung in den meisten rechnergesteuerten Vermittlungssystemen. Ein Teil der Systemintelligenz wird hier in die periphere Ebene verlagert. Es handelt sich hierbei um vermittlungstechnische Funktionen, die ohne großen Kommunikationsaufwand mit der zentralen Steuereinheit extern verarbeitet werden können. Beispiele hierfür sind das Abtasten von Teilnehmern und von Verbindungsleitungen, der Ziffernempfang und die Überwachung des Wahlvorganges, die Ablaufsteuerung der Ein/Ausgabe von Steuersignalen.

Eine Variante dieser Systemarchitektur ist eine Systemkonfiguration mit dezentraler Hardware-Struktur, bei der eine hierarchische Steuerungsstruktur realisiert ist. Während einige Steuereinheiten bestimmten Teilnehmergruppen, Verbindungsleitungen oder Hilfseinrichtungen fest zugeordnet sind, übernehmen andere Steuereinheiten bzw. Rechner einer höheren Steuerebene die zentralen Vermittlungsfunktionen (z.B. Signalisierung, Verbindungssteuerung, ...). Abhängig von der Intensität des Steuerdatenverkehrs wird die Kommunikation zwischen den Steuereinheiten organisiert. Sie kann entweder über das Koppelnetz mittels fest zugeordneter bzw. vermittelter Kanäle erfolgen oder, wie in Bild dargestellt, mit einem Bussystem realisiert werden.

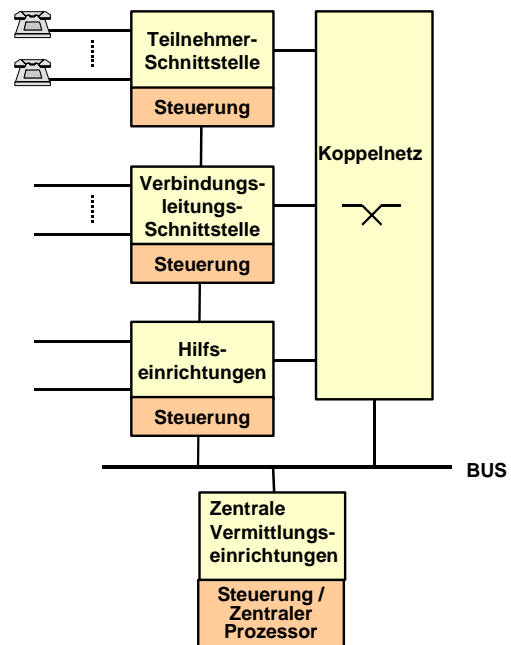


Bild: Teilzentraler Vermittlungsknoten

## Interprozessor- und Interprozess-Kommunikation

Aufgrund der Aufteilung von Vermittlungsfunktionen in autonome Module, die sowohl in der Software als auch in der Hardware moderner Vermittlungssysteme realisiert wird, erhöht sich der Steuerungsaufwand für den Austausch von vermittlungstechnischen Signalen zwischen Steuereinheiten und zwischen autonomen Software-Modulen innerhalb einer Steuereinheit.

## Hardware-Modularisierung und Interprozessor-Kommunikation

In Vermittlungssystemen mit dezentraler oder gemischt zentral/dezentraler Struktur, in denen die Systemintelligenz in mehrere Steuerungseinheiten bzw. Rechner aufgeteilt wird, gewinnt die Interprozessor-Kommunikation eine zentrale Bedeutung bei der Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Systems.

### Autonomes Bussystem

Der Steuerdatenaustausch erfolgt hier über einen Steuerdatenbus, auf den von allen Steuerungseinheiten gemäß eines Protokolls zugegriffen werden kann. Während bei der dezentralen Struktur mit verteilter Steuerung i.a. alle angeschlossenen Hardware-Module den Steuerdatenbus gleichberechtigt aktivieren können, wird bei der gemischt zentral/dezentralen Struktur der Bus häufig von einer zentralisierten Bus-Steuereinheit aus gesteuert (z.B. dem Ein/Ausgabe-Steuerwerk), die den Ablauf des Steuerdatenaustausches zwischen der zentralen Steuerungseinheit und den peripheren Rechnern kontrolliert.

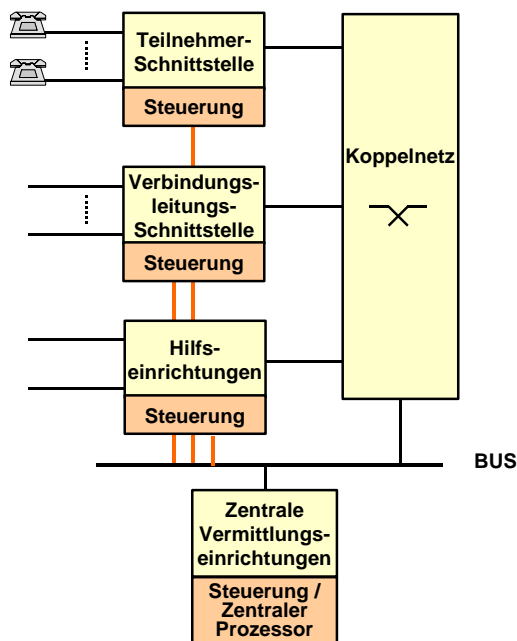


Bild: Interne Kommunikation via Bussystem

### Koppelnetz

Der Steuerdatenaustausch zwischen Steuerungseinheiten geschieht hier über festgeschaltete oder aufgebaute Wege im Koppelnetz. Dieses Prinzip wird bei den dezentralen Strukturen oft angewendet. Abhängig von der Rate der auszutauschenden vermittlungstechnischen Steuerdaten bzw. der Signale zwischen zwei Steuereinheiten werden Wege entweder semipermanent zugeteilt oder nach Bedarf über das Koppelnetz aufgebaut.

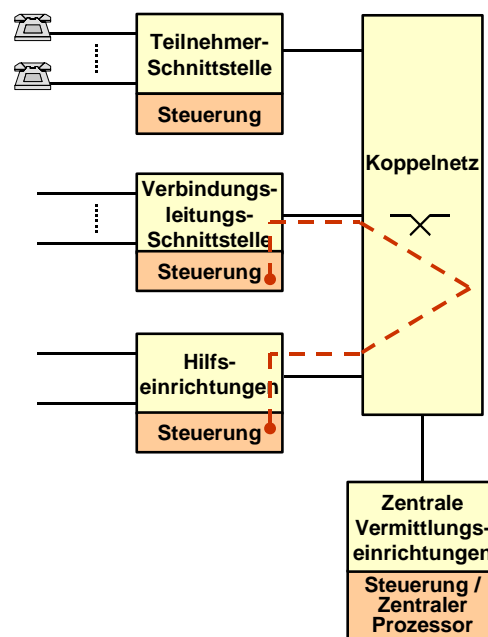
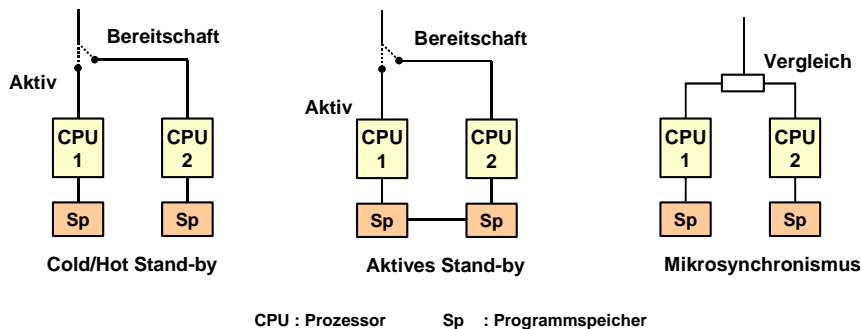


Bild: Interne Kommunikation via Koppelnetz

Für einen sinnvollen Einsatz der Vermittlungsrechner benötigt man mehrere solche teilzentrale Geräte, die nacheinander vom Rechner bedient werden. Sie sind heute vielfach über ein dupliziertes Bussystem, den Zentralbus, mit den Rechnern der Zentralsteuerung verbunden. Da Geräte im teilzentralen Bereich für eine Vielzahl peripherer Steuermaßnahmen verantwortlich sind, ergeben Ausfälle dieser Einrichtungen Störungen mit relativ großer Wirkungsbreite. Es ist daher notwendig, auch auf dieser Ebene Ersatzschaltestrategien anzuwenden.

	<b>n + 1 Redundanz</b>	<b>Duplizierung</b>	
Voraussetzungen	Busstruktur an Ein- und Ausgang mehrere gleiche nicht spezialisierte Geräte	keine	
		Feste Zuordnung zum Zentralbus	Konfigurationsverschränkung zwischen teilzentralen Geräten und Zentralbus

Die Programme, die aus der Universalsteuerung eine speziell auf die Aufgaben zugeschnittene Einheit bilden, können bei Bedarf über das zentrale Bussystem geladen werden



Um die von Vermittlungssystemen geforderte hohe Verfügbarkeit zu erreichen (ca. 99.9992% oder 2h Totalausfall in 30 Jahren), sind besondere Maßnahmen zu treffen.

Bild: Erhöhung der Betriebsverfügbarkeit

## Sicherheitserhöhende Strukturen und Betriebsweisen

Es sind sogenannte Ausfalleinheiten zu definieren, die im Fehlerfall von Wartungspersonal ausgetauscht werden. Diese Einheiten dürfen dann nur unwesentliche Aufgaben wahrnehmen oder nur für eine geringe Zahl von Teilnehmern zuständig sein. (z.B. bestimmte Speicherbereiche).

Für alle anderen Einheiten der zentralen Ebene müssen für den Fehlerfall im System Reserveeinheiten vorhanden sein. Hierbei wird unterschieden zwischen der Duplizierung und der n+1 Redundanz. Bei der Duplizierung steht für jedes Gerät ein Reservegerät zur Verfügung. Bei der n+1 Redundanz ist für eine Reihe gleichartiger Geräte (bei Prozessoren mit mindestens der gleichen Hardware) eine Reserveeinheit vorhanden.

**Für beide Betriebsarten können die folgenden Ersatzschaltestrategien angewendet werden.**

### Cold Standby

Der Bereitschaftsrechner (Reserverechner) ist nicht in Betrieb und wird dann ein- und angeschaltet, wenn ein Fehler des online Rechners auftritt. Sein Speicher muss dann aktualisiert werden, was einen hohen Zeitaufwand erfordert. Die Fehlererkennung muss aufgrund von zusätzlicher Hardware und mit Hilfe von Fehlererkennungs- und Prüfprogrammen im aktiven Rechner erfolgen.

### Hot Standby

Der wesentliche Unterschied zu cold standby ist, dass der Bereitschaftsrechner in Betrieb ist. Es werden entweder keine Programme bearbeitet, oder aber Prüfprogramme, welche die Bereitschaft zur Übernahme des Vermittlungsbetriebs anzeigen, sog. Selbstdiagnoseprogramme. Bevor im Ersatzschaltefall der Betrieb durch den standby Rechner übernommen werden kann, muss ebenfalls der Speicherinhalt aktualisiert werden.

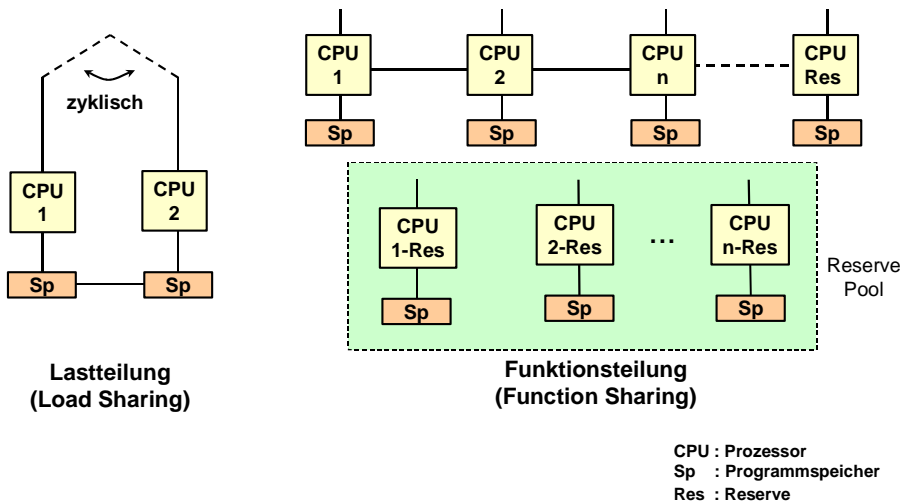
### Active Standby

Eine Weiterentwicklung des hot standby ist die Betriebsart active standby. Hierbei ist der standby Rechner über das Speichersystem mit dem aktiven Rechner verbunden. Der aktive Rechner schreibt in beide Speicher aktuelle Daten ein, so dass im Umschaltefall das Aktualisieren des Speichers entfallen kann. Es ist sowohl die Möglichkeit zur Selbstdiagnose als auch zur gegenseitigen Überprüfung der beiden Rechner möglich.

### Mikrosynchronismus

In diesem Fall sind beide Rechner in Betrieb. Beide Rechner haben denselben Speicherinhalt, der deshalb immer aktuell ist. Beide Rechner bearbeiten dieselben Eingabeinformationen, aber nur ein Rechner gibt Steuerbefehle an die peripheren Einheiten ab. Die von beiden Rechnern generierten Ausgabeinformationen werden in einer hochzuverlässigen Logik verglichen, die bei unterschiedlichen Ausgabeinformationen der beiden Rechner Prüfprogramme in den einzelnen Rechnern anstößt. Mit Hilfe dieser Programme muss nun der fehlerhafte Rechner ermittelt werden.





Hierbei werden zwei oder mehr aktive Steuerrechner eingesetzt. Eingesetzt werden dabei im wesentlichen die Betriebsweisen

- call sharing (auch load sharing genannt).
- function sharing.

Bild: Leistungssteigernde Betriebsweisen

### Call sharing (Load sharing)

Es ist jedem Rechner möglich, von allen angeschlossenen Teilnehmer bzw. Leitungen Vermittlungswünsche zu empfangen, dieselben zu bearbeiten und alle Geräte der Peripherie mit Steuerbefehlen zu versorgen.

Das System wird so ausgelegt, dass bei der Verwendung von z.B. zwei Rechnern jeder der beiden Rechner in der Lage ist, im Fehlerfall alle Verbindungswünsche zu bearbeiten. Die Fehlererkennung muss im Rechner durch Selbstprüfung erfolgen. Im Normalfall werden die anfallenden Verbindungswünsche zwischen den Rechnern aufgeteilt. Hierbei ergibt sich dann z.B. eine Leistungsfähigkeit von ca. 160 % bezogen auf den Fehlerfall (nur 1 Rechner aktiv). Die Rechner müssen sich dann gegenseitig informieren, welchen Verbindungswunsch sie bearbeiten (z.B. 40 % der Kapazität). Ein Verbindungswunsch wird von dem Rechner, der ihn einmal angenommen hat, vollständig bearbeitet. Diese Betriebsweise wird auch als load sharing bezeichnet.

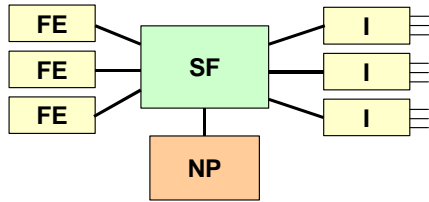
### Function sharing

Jeder Rechner einer Mehrrechnerkonfiguration bearbeitet nur eine bestimmte Aufgabe innerhalb eines Verbindungsaufbaus, z.B. Zifferauswertung, Wegesuche, Signalisierung, usw. Ein Verbindungsaufbau wird nacheinander oder gleichzeitig von verschiedenen Rechnern bearbeitet. Ist die Hardware dieser Vermittlungsrechner unterschiedlich, muss auch für jeden Typ eine Reserveeinheit bereitgestellt werden, dabei kann dann wieder cold/hot/active standby angewendet werden.

Bei diesem Verfahren kann eine Leistungssteigerung durch Parallelarbeit, aber auch durch die Möglichkeit des Einsatzes spezieller aufgabenorientierter Prozessoren erfolgen.

# Struktur von Routern

## Router mit getrennten Routing-Tabellen Prozessoren



## Router mit Routing-Tabellen in den Anschlussmodulen

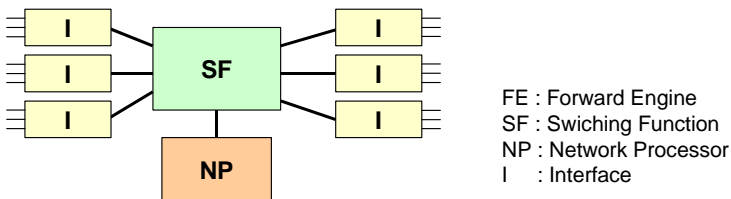


Bild: Router-Aufbau

Im allgemeinen gibt es drei Arten von Router-Strukturen:

- Router mit eigenen Routing Prozessoren (forward engines, FE), welche die Weiterleitung der Pakete aufgrund von Routing-Tabellen ermitteln.
- Router, welche die Routingfunktion direkt in den Anschlussmodulen (Interfaces) erledigen können.
- Router, welche die Routintabelle hierarchisch zwischen den beiden Arten von Modulen aufgeteilt haben.

Die Vermittlung geschieht mit einem asynchronem Koppelnetz. Alle übergeordnete Funktionen wie Aktualisierung der Routing-Tabellen wird in einer zentralisierten Recheneinheit (network processor, NP) abgewickelt.

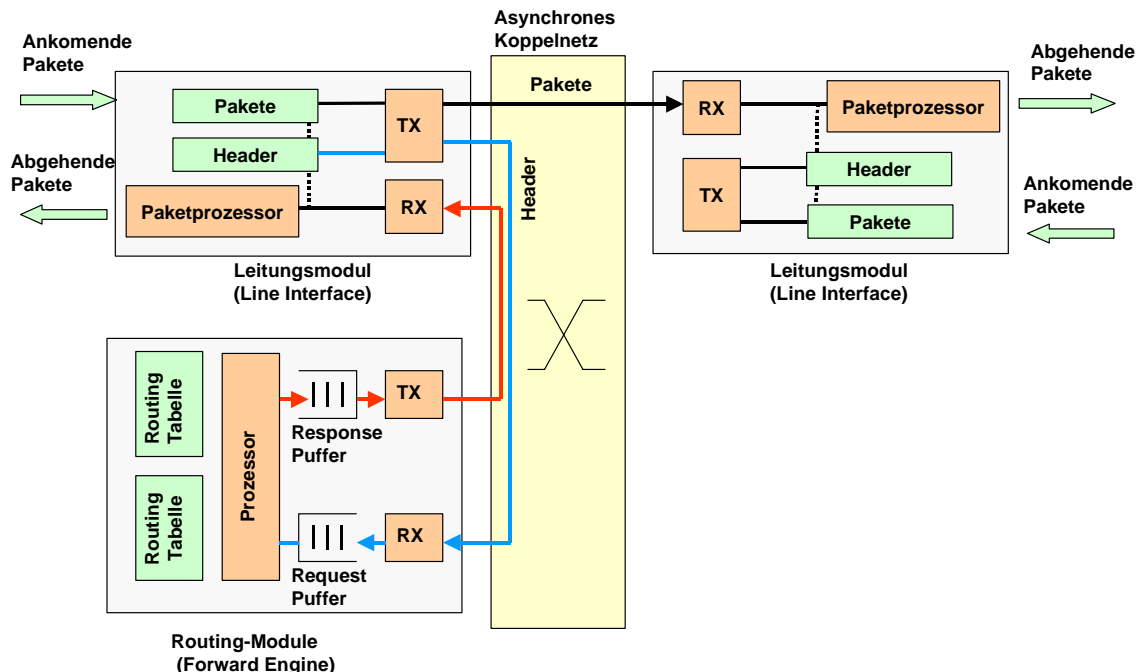


Bild: Verarbeitung von Paketen in einem Router

Die Verarbeitung von Paketen mit Routing-Prozessoren läuft wie folgt ab. Ankommende Pakete werden im Anschlussmodul zwischengepuffert und deren Header wird via dem Koppelnetz an einen Routing-Prozessor weitergeleitet. Sobald der richtigen Ausgangsport ermittelt ist, wird diese Information zurück gemeldet und kann das dazugehörige Paket, auch wieder via das Koppelnetz, zum Ausgangsmodul transportiert werden.