

Verkehrsleistung und wirtschaftliche Struktur von PCM-Koppelanordnungen in digitalen Fernsprechvermittlungsstellen

von Alfred Lotze*, Klaus Rothmaier* und Reinhard Scheller*

Mitteilung aus dem Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart

Gewidmet den Professoren Dr. rer. nat. Dr.-Ing. E. h. Richard Feldtkeller und Dr.-Ing. Walter Wolman aus Anlaß ihrer 80. Geburtstage im Januar 1981.

Das Institut der Verfasser, das im Herbst 1960 gegründet wurde, verdankt seine Entstehung ganz wesentlich dem Weitblick dieser beiden Wissenschaftler, die schon Ende der 50er Jahre erkannten, welche Bedeutung die Datenverarbeitung für die künftige elektronische Nachrichtenvermittlungstechnik haben wird.

In dieser Arbeit wird der Entwurf von wirtschaftlichen PCM-Koppelanordnungen für eine vorgegebene Verkehrsleistung behandelt. Es wird ein systematischer Überblick über mögliche und sinnvolle Strukturen gegeben, die unterschiedliche Abfolgen von Raum- und Zeitstufen aufweisen.

Zur Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit und damit auch der Verkehrsleistung von solchen Koppelanordnungen wird zunächst ein Verfahren entwickelt, das es erlaubt, PCM-Koppelanordnungen auf äquivalente Raumvielfach-Koppelanordnungen abzubilden. Ist dies geschehen, so kann deren Verlustwahrscheinlichkeit mit den für Raumvielfachsysteme bekannten Näherungsverfahren berechnet werden.

Um unterschiedliche Strukturen gleicher Größe und gleicher Verkehrsleistung miteinander vergleichen zu können, wird gezeigt, wie sich für PCM-Koppelanordnungen *normierte* Kosten berechnen lassen. Diese Kosten setzen sich zusammen aus den Kosten für alle Speicherbits in den Sprachspeichern und den Speicherspeichern sowie aus den Kosten für die Torschaltungen in den Koppelmatrizen der Raumstufen. Ferner ermöglicht diese Art der Aufwandsberechnung einen Kostenvergleich zwischen kostenminimalen PCM-Koppelanordnungen einerseits und herkömmlichen, ebenfalls kostenminimalen Raumvielfach-Koppelanordnungen gleicher Verkehrsleistung andererseits.

Schließlich wird ein neues Entwurfsdiagramm für PCM-Koppelanordnungen, die PCM-Chart, vorgestellt als Hilfsmittel für den schnellen und zuverlässigen Entwurf solcher Systeme. Dieses Diagramm erlaubt es, PCM-Koppelanordnungen mit kostenminimaler Struktur für eine vorgegebene Verkehrsleistung zu entwerfen und deren normierte Kosten direkt abzulesen.

On the Traffic Capacity and the Economic Design of PCM Switching Arrays in Digital Telephone Exchanges

This paper deals with the design of least cost PCM switching arrays for a prescribed traffic capacity (traffic load, number of terminations, probability of loss). A systematic survey is given on suitable structures, having different sequences of time- und space-stages.

In order to calculate the probability of loss and therewith the traffic capacity of such PCM arrays a method is developed to easily map PCM switching arrays into equivalent SDM link-systems. Then, the loss of these equivalent SDM systems can be calculated by means of well-known approximate methods.

In order to compare different PCM structures of equal size and traffic capacity, a method is derived to calculate standardized PCM array-costs. These costs are composed of the costs of all memory bits in speech and control memories, furthermore of the costs of all gates in the space-stage matrices. This way of standardized cost calculation enables comparisons between least cost PCM switching arrays of various structures as well as comparisons between least cost SDM link arrays and corresponding PCM switching arrays.

Finally, a new tool for the design, the PCM-Charts, are presented. They allow the handy and quick design of least cost PCM switching arrays, provided the number of connected highways and the traffic capacity is known. Also, the standardized costs per time-slot can directly be obtained from the considered PCM-Chart.

1. Einleitung

Pulsmodulierte Signale, kurz PCM-Signale, werden seit Jahren in der Übertragungstechnik in zunehmendem Umfang angewendet. Dies ist im wesentlichen eine Folge der stark sinkenden Kosten der notwendigen Technologien. Im kommenden

Jahrzehnt wird auch die PCM-Vermittlungstechnik mehr und mehr die herkömmliche analoge Raum-

* Prof. Dr.-Ing. A. Lotze, Dipl.-Ing. K. Rothmaier, Dipl.-Ing. R. Scheller, Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart, Seidenstraße 36, D-7000 Stuttgart 1.

vielfachvermittlungstechnik ablösen. Dies wird in naher Zukunft selbst dann wirtschaftlich sein, wenn PCM-Vermittlungen in einer „analogen“ Umgebung eingesetzt werden.

Die Durchschaltung in einer PCM-Vermittlungsstelle geschieht so, daß die pulscodemodulierten Signale der einzelnen Sprechwege, die zeitlich verschachtelt („im Multiplex“) übertragen werden, auch direkt im Zeitvielfach vermittelt werden, d.h. ohne vorherige Demodulation und anschließende erneute Modulation. Die hierfür notwendigen PCM-Koppelanordnungen unterscheiden sich prinzipiell von den bisher bekannten Raumvielfach-Koppelanordnungen. Im folgenden wird angenommen, daß die Wortlänge der codierten Abtastwerte 8 bit beträgt.

Im Abschnitt 2 werden die beiden wesentlichen Baugruppen von PCM-Koppelanordnungen, das Raumlagenvielfach für die „Raumstufen“ und das Zeitlagenvielfach für die „Zeitstufen“, in ihrer Funktion vorgestellt.

2. Baugruppen von PCM-Koppelanordnungen

PCM-Koppelanordnungen bestehen aus Raumstufen (R-Stufen) und Zeitstufen (Z-Stufen).

Die *Raumstufen* werden aus „Raumlagenvielfachen“ gebildet (RIVf). Raumlagenvielfache sind Koppelmatrizen für Zeitmultiplexleitungen, vgl. [12]. Eine Zeitmultiplexleitung überträgt jeweils einen „Rahmen“ mit $M = 30$ (bzw. 60, 120, ...) Sprechwegen im Zeitvielfach.

Bild 1 zeigt ein solches Raumlagenvielfach mit h kommenden und j gehenden (weiterführenden) Multiplexleitungen. Die Zeitkanäle der kommenden Multiplexleitungen (ML) können über Torschaltungen in den Kreuzungspunkten der Matrix koinzident, d.h. auf Zeitkanäle gleicher Ordnungsnummer in die gehenden ML durchgeschaltet werden. Diese Durchschaltfunktion wird von „Steuerspeichern“ gesteuert, die in diesem Beispiel den kommenden Multiplexleitungen zugeordnet sind.

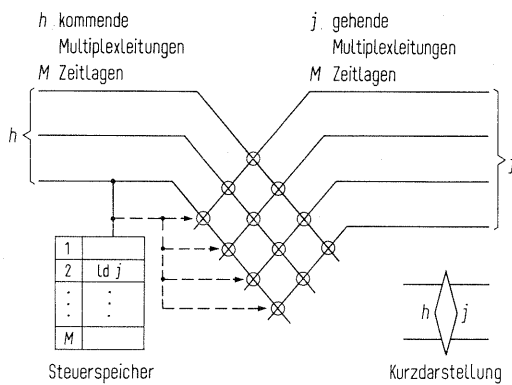


Bild 1. Das Raumlagenvielfach (RIVf).

Jeder Steuerspeicher besitzt soviele Zellen, wie Zeitlagen pro Rahmen auf seiner Multiplexleitung übertragen werden, denn für jede der M Zeitlagen einer ML muß eine Steuerinformation vorhanden sein.

Wählt man zur Reduzierung der inneren Blockierung der PCM-Koppelanordnung $j \geq h$, so bezeichnet man den Quotienten j/h als Aufweitungsfaktor β .

Der Aufwand für ein solches Raumlagenvielfach setzt sich aus den Torschaltungen und den Speicherbits für deren Steuerspeicher zusammen. Der Aufwand an Torschaltungen beträgt

$$TS = hj,$$

der Aufwand an zugehörigen Steuerspeicherbits

$$StTS = h M \lg j.$$

In der Praxis muß der Zahlenwert von $\lg j$ ganzzahlig aufgerundet werden.

Ein Symbol für die Kurzdarstellung solcher RIVf ist rechts unten im Bild 1 gezeigt.

Die *Zeitstufen* werden aus *Zeitlagenvielfachen* gebildet (ZIVf), vgl. [12]. In der Regel besitzt jede Zeitstufe mehrere Zeitlagenvielfache. Ein Zeitlagenvielfach besteht aus einem Sprachspeicher und einem zugeordneten Steuerspeicher, vgl. Bild 2. Der Steuerspeicher steuert das wahlfreie Einschreiben bzw. Auslesen des Sprachspeichers.

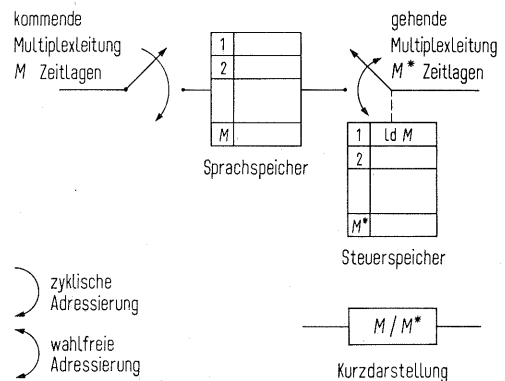


Bild 2. Das Zeitlagenvielfach (ZIVf).

Das gezeigte Beispiel ist so realisiert, daß das Einschreiben der ankommenden Abtastwerte zyklisch erfolgt, während das Auslesen wahlfrei geschieht. Durch dieses wahlfreie Auslesen kann jede ankommende Zeitlage auf jede abgehende Zeitlage gleicher oder anderer Ordnungsnummer umgesetzt werden.

Hier kann die innere Blockierung der betreffenden mehrstufigen PCM-Koppelanordnung dadurch reduziert werden, daß man innerhalb der Koppelanordnung den Takt erhöht und damit intern mehr Zeitlagen zur Verfügung stellt als extern vorhanden sind.

Bezeichnet man die Anzahl interner Zeitlagen mit M^* , so wird in diesem Fall der Aufweitungsfaktor β folgendermaßen definiert:

$$\beta = M^*/M.$$

Es läßt sich zeigen, daß die Zuordnung des Steuerspeichers zu der Multiplexleitung mit der größeren Zahl an Zeitlagen (also zu M^*) meist die wirtschaftlichere Lösung darstellt. Deshalb berechnet

sich der Aufwand für ein Zeitlagenvielfach wie folgt:
Der Aufwand an Sprachspeicherbits beträgt

$$SSP = M \cdot 8,$$

der Aufwand an Steuerspeicherbits

$$StSSP = M^* \text{ld } M.$$

Auch hier muß die Zahl der Steuerspeicherbits je Adresse ganzzahlig nach oben gerundet werden. Ein Symbol für die Kurzdarstellung solcher ZIVfe ist im Bild 2 ebenfalls angegeben.

3. Struktur von PCM-Koppelanordnungen und deren Abbildung auf äquivalente Raumvielfach-Systeme

Bild 3a zeigt als Beispiel einer PCM-Koppelanordnung eine dreistufige Struktur vom Typ ZRZ: die erste und letzte Stufe dieser Koppelanordnung (KAN) ist eine Zeit-Stufe, die mittlere Stufe ist eine Raum-Stufe. An der linken Seite der Koppelanordnung sind h_2 kommende Multiplexleitungen (ML) mit M Zeitlagen angeschlossen, an der rechten Seite j_2 gehende Multiplexleitungen. Für die in dieser Arbeit untersuchten ZRZ-Systeme gilt stets $h_2 = j_2$.

Es ist ein Beispiel eingezeichnet mit $h_2 = j_2 = 36$ ML je Seite und $M = 30$ Zeitlagen je Multiplexleitung (ZL/ML). Ferner wurde die Koppelanordnung in Stufe 1 so aufgeweitet, daß für eine vorgegebene Verkehrsbelastung pro Zeitlage (Y/ZL) von 0,8 Erlang (Erl) ein Punktverlust $B_{pp} = 0,1\%$ gewährleistet ist. Der Aufweitungsfaktor $\beta = M^*/M$ ergibt sich hier zu $\beta = 1,33$.

Bild 3b zeigt die zur ZRZ-Koppelanordnung äquivalente Raumvielfach-Koppelanordnung. Die Koppelvielfache in der ersten und letzten Stufe entsprechen den Zeitlagenvielfachen, die Koppelvielfache der mittleren Stufe stehen für das eine Raumlagenvielfach. Die Gesamtzahl der links bzw. rechts angeschlossenen Leitungen ergibt sich aus dem Produkt $M h_2$ bzw. $M j_2$.

Für die Abbildung einer PCM-KAN auf eine äquivalente RVf-KAN gelten folgende Regeln:

Jedes *Zeitlagen*-Vielfach wird auf ein *Raum*-Koppelvielfach (kurz KVf) abgebildet. Dieses Koppel-

vielfach hat M Eingänge und M^* Ausgänge, wenn es einem Sprachspeicher der ersten Stufe entspricht; es hat M^* Eingänge und M Ausgänge, wenn es für einen Sprachspeicher der letzten Stufe steht.

Die Koppelmatrix (Raumlagenvielfach) der mittleren Stufe wird zu einer Spalte von M^* Koppelvielfachen, wenn die kommenden und gehenden Multiplexleitungen dieses RIVf je M^* Zeitlagen führen. Jedes Koppelvielfach in Stufe 2 hat deshalb h_2 Eingänge und j_2 Ausgänge.

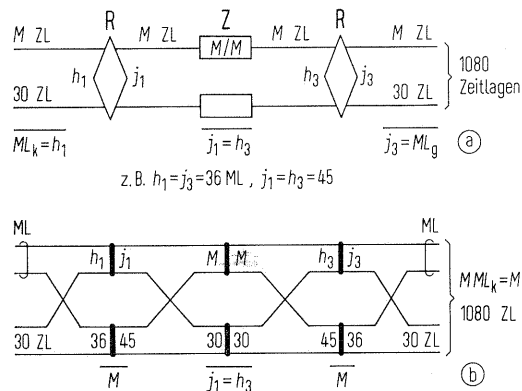


Bild 4. (a) PCM-Koppelanordnung RZR, (b) äquivalente Raumvielfach-Koppelanordnung der PCM-Koppelanordnung RZR, $Y/ZL = 0,8$ Erl, $B_{pp} = 0,1\%$, $\beta = 1,25$.

Als weiteres Beispiel für eine dreistufige PCM-Koppelanordnung zeigt Bild 4a eine Struktur vom Typ RZR. Hier ist die erste und die letzte Stufe eine Raumstufe und die mittlere Stufe eine Zeitstufe. Auf der linken Seite der RZR-KAN sind h_1 kommende Multiplexleitungen angeschlossen und auf der rechten Seite j_3 gehende ML. Jede Multiplexleitung führt M Zeitlagen.

Die zur Einstellung einer bestimmten Verlustwahrscheinlichkeit eventuell notwendige Aufweitung erfolgt hier durch Erhöhung der Anzahl j_1 interner Multiplexleitungen; die entsprechende Konzentration geschieht in der letzten (hier dritten) Stufe. Wie im vorhergehenden Beispiel sind je 36 kommende und gehende Multiplexleitungen, je mit $M = 30$ Zeitlagen angeschlossen. Die in diesem Beispiel notwendige Aufweitung zur Einstellung einer Punktverlustwahrscheinlichkeit von $B_{pp} = 0,1\%$ für eine vorgegebene Verkehrsbelastung pro Zeitlage $Y/ZL = 0,8$ Erl beträgt $\beta = j_1/h_1 = 1,25$.

Bild 4b zeigt die zur RZR-Koppelanordnung äquivalente dreistufige Raumvielfachkoppelanordnung. Es gelten dieselben Abbildungsregeln wie oben. Das RIVf der ersten Stufe wird abgebildet auf M KVfe mit je h_1 Eingängen und j_1 Ausgängen. Analog hierzu besitzt die letzte (dritte) Stufe M KVfe mit je h_3 Eingängen und j_3 Ausgängen. Die j_1 ZIVfe der mittleren Stufe (Z-Stufe) werden auf j_1 Raumkoppelvielfache mit je M Eingängen und M Ausgängen abgebildet.

Man erkennt am Bild 4b, daß die M Zeitlagen einer weiterführenden (abgehenden) ML hier an M verschiedene KVf der letzten Stufe angeschlossen

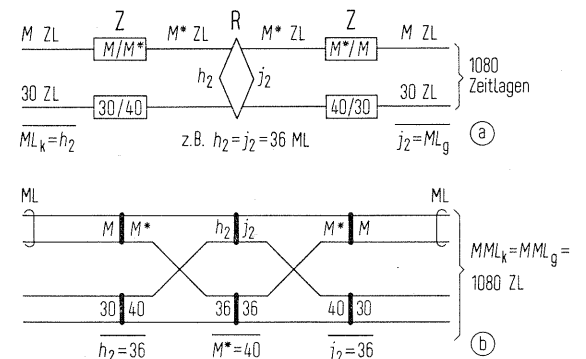


Bild 3. (a) PCM-Koppelanordnung ZRZ, (b) äquivalente Raumvielfach-Koppelanordnung der PCM-Koppelanordnung ZRZ, $Y/ZL = 0,8$ Erl, $B_{pp} = 0,1\%$, $\beta = 1,33$.

sind, abweichend von einer ZRZ-Koppelanordnung nach Bild 3 b.

Dieser Unterschied zwischen PCM-KAn vom Typ Z..Z und R..R beeinflusst die möglichen Markierungsverfahren bei der Wegesuche entscheidend, wie anschließend noch gezeigt wird.

Die Abbildung von PCM-Koppelanordnungen auf völlig verkehrsäquivalente Raumvielfach-Linksysteme ist sehr nützlich für Verkehrsbetrachtungen. Sie erlaubt die Verlustberechnung direkt mit den Verfahren, die für Raumvielfachsysteme entwickelt wurden, z. B. mit den Verfahren PPL [5] und CLIGS [1].

Das PPL-Verfahren (*Point-to-Point Loss*) wird bei Punkt-Punkt-Markierung angewendet. Hier muß von einem „rufenden“ freien Eingang zu einer von der Steuerung a priori ausgewählten freien Leitung des gewünschten Abnehmerbündels eine Verbindung durchgeschaltet werden. Da, wie eben gezeigt, bei PCM-Koppelanordnungen vom Typ Z..Z alle jene Sprechwege, die den Zeitlagen *einer* weiterführenden Multiplexleitung entsprechen, an demselben Koppelvielfach der letzten Stufe angeschlossen sind, kann bei Z..Z Strukturen nur mit Punkt-Punkt-Markierung durchgeschaltet werden.

Das Verfahren CLIGS (*Calculation of Loss in Link Systems with Group Selection*) wird bei der Punkt-Bündel-Markierung (Bündelwahl) angewendet. Hier versucht die Steuerung einen „rufenden“ freien Eingang zu irgendeiner freien Leitung des gewünschten Abnehmerbündels durchzuschalten. Dieses Verfahren ist bei Strukturen vom Typ R..R anwendbar, da hier die *M* Sprechwege, welche den Zeitlagen einer abgehenden Multiplexleitung entsprechen, an je einem anderen Koppelvielfach der letzten Stufe (in der Raumvielfachdarstellung) angeschlossen sind. Der Steuerungsaufwand für dieses Markierungsverfahren ist jedoch erheblich größer und zeitaufwendiger als für PP-Markierung. In der Praxis wird deshalb für R..R Strukturen ebenfalls sehr häufig Punkt-Punkt-Markierung angewendet.

4. Durchschalteprinzipien von PCM-Koppelanordnungen

Die Durchschaltung von Verbindungen in PCM-Koppelanordnungen erfolgt stets vierdrahtmäßig, d. h. für eine Verbindung müssen immer zwei Sprechwege geschaltet werden. Der eine dient der Sprechrichtung von A nach B, der andere der Sprechrichtung von B nach A. Nachstehend werden zwei Durchschalteprinzipien vorgestellt.

4.1. Die „getrennte“ Durchschaltung

Bild 5 zeigt das Blockschaltbild einer PCM-Koppelanordnung für „getrennte“ Durchschaltung.

Die Koppelanordnung besteht aus zwei identisch gleichen Koppelnetzen, welche für die Durchschaltung gemeinsam betrieben werden. Die beiden Sprechrichtungen einer vierdrahtmäßigen PCM-Verbindung werden je durch ein eigenes Koppelnetz geführt. Bei dieser Art der Durchschaltung

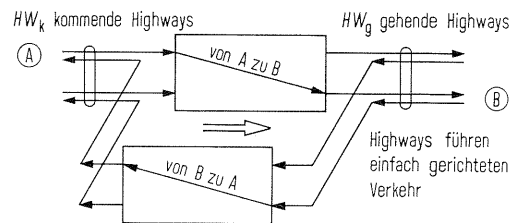


Bild 5. Getrennte Durchschaltung.

gibt es zwei Gruppen von Highways. Es gibt „kommende“ Highways, das sind solche, die den ankommenden Verkehr führen, und es gibt „gehende“ Highways, das sind solche, die den Verkehr in abgehender Richtung weiterführen.

Unter einem „Highway“ wird eine Einheit aus zwei Multiplexleitungen verstanden, von denen eine die kommenden Sprechrichtungen und die andere die gehenden Sprechrichtungen derselben „Vierdrahtleitungen“ führt.

Das eingezeichnete Beispiel führt die Sprechrichtung von A nach B in dem „hinteren“ Koppelnetz, die Sprechrichtung von B nach A wird im „vorderen“ Koppelnetz durchgeschaltet. Werden die beiden Sprechrichtungen einer Verbindung innerhalb der beiden identischen Koppelnetze auf jeweils gleichen Wegen geführt, so ist der Steuerungsaufwand nur für *ein* Koppelnetz erforderlich, das andere Koppelnetz kann synchron mitgesteuert werden.

Da bei dieser Durchschalteart Verbindungen nur von „kommenden“ zu „gehenden“ Highways durchgeschaltet werden, entspricht eine so betriebene Koppelanordnung den bekannten zweiseitigen RVf-Koppelanordnungen zur Verkehrsverteilung (zweiseitige Linksysteme für Richtungswahl).

4.2. Die „gemeinsame“ Durchschaltung

Bild 6 zeigt das Blockschaltbild einer PCM-Koppelanordnung für „gemeinsame“ Durchschaltung. Diese Koppelanordnung besteht nur aus einem einzigen Koppelnetz für die Durchschaltung *beider* Sprechrichtungen.

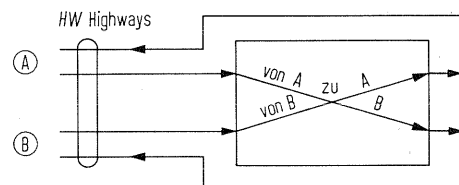


Bild 6. Gemeinsame Durchschaltung, alle Highways für wechselseitigen Betrieb.

Alle Multiplexleitungen, welche die kommenden Sprechrichtungen aller Verbindungen führen, sind links an das Koppelnetz angeschlossen, jene mit der gehenden Sprechrichtung auf der rechten Seite. Bei dieser Anschaltung können Verbindungen zwischen allen angeschlossenen Highways hergestellt werden.

Für den Aufbau einer Verbindung werden gleichzeitig zwei Wege (für *beide* Sprechrichtungen) über dasselbe Koppelnetz geführt. Die Art der Wegezu-

teilung für diese beiden Sprechrichtungen hat einen wesentlichen Einfluß auf die Verkehrseigenschaften und die Kosten der Koppelanordnung.

Es ist zweckmäßig, die beiden Sprechwege einer Verbindung innerhalb der KAN nach einem festen Zuordnungsschema einander zuzuordnen. Führt man sie auf irgendeine Art symmetrisch durch das Koppelnetz, so kann man einerseits rund die Hälfte der Speicherspeicher einsparen und andererseits die Laufzeit der Wegesuchprogramme reduzieren.

Die verschiedenen Verfahren der Wegezuteilung werden ausführlich in [9] beschrieben. Im Rahmen dieser Arbeit wird bei den betrachteten Koppelanordnungen stets vorausgesetzt, daß ein solches kostensparendes Wegezuteilungsprinzip angewendet wird.

Wie im Abschnitt 3 gezeigt wurde, ist es vorteilhaft, eine PCM-Koppelanordnung auf ihre äquivalente Raumvielfach-Koppelanordnung abzubilden, um deren Verlustwahrscheinlichkeit einfach berechnen zu können.

Bild 7 zeigt je eine Koppelanordnung für gemeinsame bzw. getrennte Durchschaltung. Die KAN für gemeinsame Durchschaltung besteht aus einem einzigen Koppelnetz mit h_2 kommenden und j_2 gehenden ML. Damit sind insgesamt $h_2 = j_2$ Highways für wechselseitigen Betrieb angeschaltet. Die KAN für getrennte Durchschaltung besteht aus zwei identischen, gleich großen Koppelnetzen ebenfalls je mit h_2 kommenden und j_2 gehenden ML. Auf Grund der Durchschalteart sind hier h_2 kommende Highways sowie j_2 gehende Highways, also insgesamt $h_2 + j_2$ Highways angeschlossen.

Für den Fall, daß in beiden KAN die Zahlenwerte für h_2 und j_2 gleich sind, erlaubt die KAN für getrennte Durchschaltung die doppelte (maximale) Anzahl gleichzeitig bestehender Durchgangsver-

bindungen, verglichen mit der KAN für gemeinsame Durchschaltung.

Zur Verlustberechnung wird die KAN für gemeinsame Durchschaltung gemäß den Regeln aus Abschnitt 3 abgebildet. Das dabei entstehende äquivalente Raumvielfach-Linksyst. ist im Bild 7 unten dargestellt.

Im Fall der getrennten Durchschaltung genügt es, eines der beiden Koppelnetze abzubilden, da in beiden Koppelnetzen immer dieselben Wege geschaltet werden. Da dieses eine abzubildende Koppelnetz mit jenem der gemeinsamen Durchschaltung identisch ist, ergibt sich für beide Durchschalteprinzipien dasselbe äquivalente Raumvielfach-Linksyst. Demzufolge gelten die für das äquivalente RVF-System berechneten Kurven der Verlustwahrscheinlichkeit sowohl für die KAN mit gemeinsamer Durchschaltung und HW (z. B. $HW = h_2$) angeschlossenen Highways wie auch für die KAN mit getrennter Durchschaltung und $2 \cdot HW$ angeschlossenen Highways (vgl. auch Bild 18).

5. Untersuchte Strukturen von PCM-Koppelanordnungen

Es ist möglich, mit Raumstufen und Zeitstufen eine sehr große Zahl von unterschiedlichen PCM-Koppelanordnungen zu entwerfen. Unter all diesen sind jedoch nur wenige symmetrisch strukturiert. „Symmetrische Struktur“ soll bedeuten, daß sich die Art und die Anzahl der Stufen links und rechts der Mittelsenkrechten entsprechen. Nur diese symmetrischen Koppelanordnungen erlauben es, Speicherspeicher einzusparen, wenn bei gemeinsamer Durchschaltung ein geeignetes Wegezuteilungsprinzip angewandt wird [10].

PCM-Koppelanordnungen, die ausschließlich aus Raumstufen bestehen, werden nicht weiter betrachtet, da sie wegen des Zwangs zur zeitkoinzidenten Durchschaltung sehr ungünstige Verkehrseigenschaften haben.

Auch Systeme, die unmittelbar hintereinandergeschaltete Zeitstufen haben, werden hier nicht behandelt, weil solche Anordnungen die Verkehrsleistung nicht verbessern.

Außerdem werden im folgenden nur Strukturen behandelt, welche mit bitserieller Durchschaltung arbeiten. Eine bitparallele Durchschaltung (8-bit) erfordert die achtfache Zahl an Torschaltungen. Die normierten Kosten hierfür sind mit den Formeln in Tabelle 1 ebenfalls berechenbar. Diese Lösung wird aber wirtschaftlich nur vertretbar sein, wenn die interne Taktfrequenz eines PCM-Koppelnetzes so gewählt werden muß, daß die bitserielle Durchschaltung auf technologische Schwierigkeiten stößt.

5.1. Voraussetzungen

Folgende Voraussetzungen gelten für alle betrachteten PCM-Koppelanordnungen:

- Die KAN sind symmetrisch aufgebaut und besitzen ebensoviele kommende wie gehende Multi-

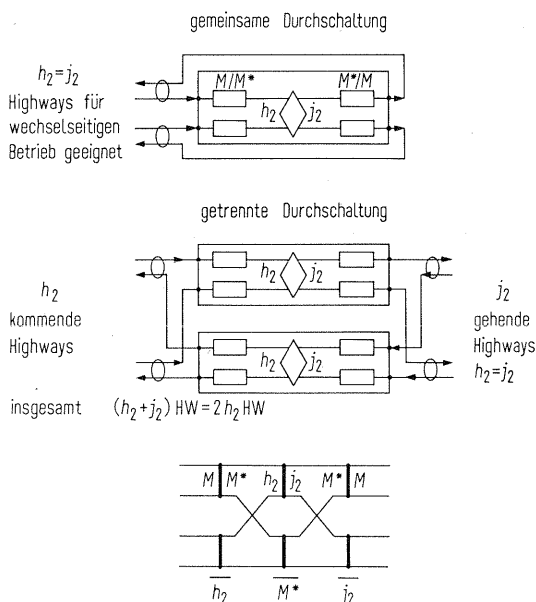


Bild 7. Äquivalente Raumvielfach-Koppelanordnung der PCM-Koppelanordnung ZRZ, gültig für gemeinsame und getrennte Durchschaltung.

plexleitungen. Alle PCM-KAn besitzen „einfache ML-Verdrahtung“, das heißt, von der Mitte der symmetrischen PCM-KAn können alle Koppelvielfache (ZIVf bzw. RIVf) der ersten bzw. letzten Stufe über jeweils eine „Kette“ von ML vollständig erreicht werden [11].

- Eine eventuelle Aufweitung zur Einstellung der Verkehrsgüte wird immer in der ersten Stufe vorgenommen, die zugehörige Konzentration in der letzten Stufe.
- Alle Zwischenstufen schalten 1:1 durch.

Im folgenden werden nun jene Strukturtypen vorgestellt, von denen sich zeigen läßt, daß sie für bestimmte Anwendungsfälle am wirtschaftlichsten sein können.

5.2. Die einstufige PCM-Koppelanordnung vom Typ Z

Diese einstufige KAn besteht nur aus einem einzigen Zeitlagenvielfach, d.h. aus einem Sprachspeicher und einem zugeordneten Steuerspeicher, vgl. Bild 8.

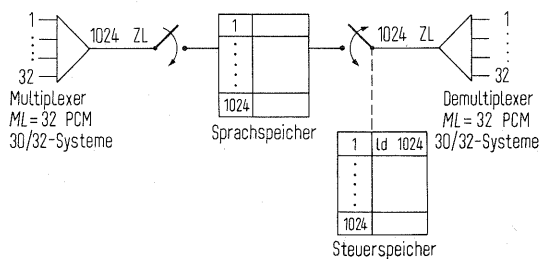


Bild 8. Einstufige PCM-Koppelanordnung des Typs Z.

Um die Durchschaltung zwischen allen angeschlossenen Highways zu ermöglichen, müssen diese vor der einstufigen Koppelanordnung in einen schnellen „Super-Highway“ gemultiplext werden; hinter der Koppelanordnung muß eine entsprechende Demultiplexbildung vorgenommen werden.

Mit der heute gängigen Technologie ist es wirtschaftlich möglich, 960/1024 Zeitlagen, das ent-

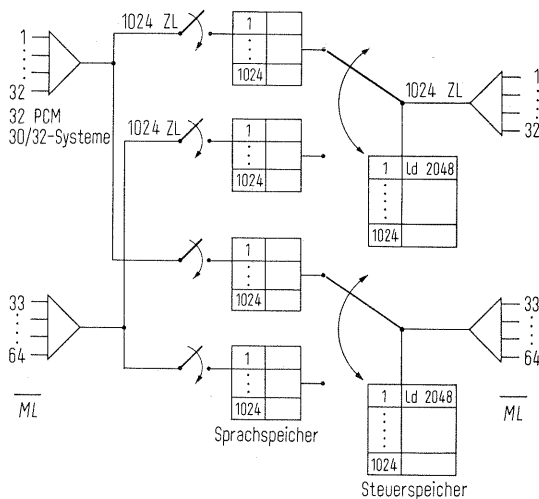


Bild 9. Einstufige PCM-Koppelanordnung des Typs Z für 64 ML.

spricht 32 PCM 30/32-Systemen, zusammen auf einen schnellen Highway zu multiplexen.

Die Z-Stufe ist vollkommen blockierungsfrei.

Sollen Koppelanordnungen für größere Highway-Zahlen in dieser einstufigen Form entworfen werden, so müssen mehrere solche Einheiten parallel geschaltet werden, vgl. Bild 9.

Dies führt zu einem quadratisch ansteigenden Aufwand für die Sprachspeicher, da nun jeder ankommende Zeitkanal parallel in so viele Sprachspeicher eingeschrieben werden muß, wie Grundeinheiten vorhanden sind. In dieser teuren Ausbaustrategie liegt der Grund, weshalb einstufige PCM-Koppelanordnungen für größere Highway-Zahlen keine Verwendung finden.

5.3. Dreistufige PCM-Koppelanordnungen

Die beiden möglichen Koppelanordnungstypen ZRRZ und RZR wurden bereits im Abschnitt 3 behandelt, weshalb an dieser Stelle nicht weiter auf sie eingegangen wird.

5.4. Die vierstufige PCM-Koppelanordnung ZRRZ

Die vierstufige Koppelanordnung ZRRZ, vgl. Bild 10a, erlaubt es erstmals, „Blöcke“ zwischen der ersten und zweiten sowie der dritten und vierten Stufe zu bilden. Bild 10b zeigt die zugehörige äquivalente Raumvielfachstruktur. Es gelten die gleichen Abbildungsregeln wie oben, d.h. ein Zeitlagenvielfach mit M kommenden und M^* gehenden Zeitlagen wird auf ein Koppelvielfach abgebildet mit M Eingängen und M^* Ausgängen.

Ein Raumlagenvielfach wird zu einer Reihe von M^* Koppelvielfachen mit der entsprechenden Zahl von Eingangs- und Ausgangsleitungen, z. B. h_2 und j_2 .

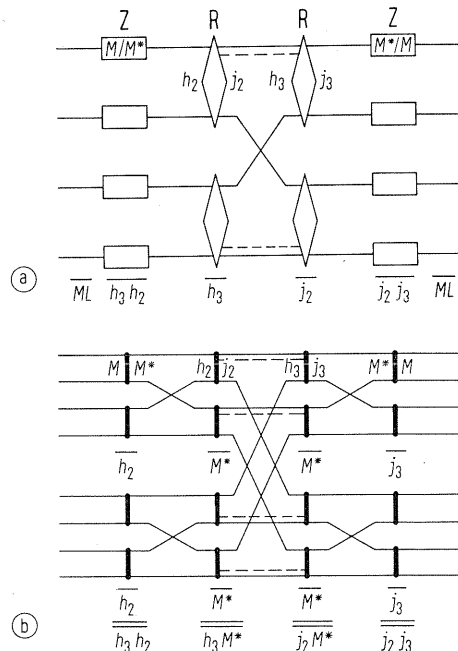


Bild 10. (a) PCM-Koppelanordnung ZRRZ, $h_2 = j_2 = h_3 = j_3$, $M^* = \beta M$.
(b) Abbildung der PCM-Koppelanordnung ZRRZ.

Die Blockbildung bei der PCM-Koppelanordnung erscheint auch bei der äquivalenten Raumvielfach-Koppelanordnung.

Der Grund für das Bilden von Blöcken liegt einerseits in der Möglichkeit, solche KAn wirtschaftlicher realisieren zu können, und andererseits in günstigen Eigenschaften für den modularen Ausbau [5], [10].

Die Zeitstufe als erste und letzte Stufe bedingt, daß alle Sprechwege, die den Zeitkanälen einer ML entsprechen, im äquivalenten RVf-System an einem einzigen KVf angeschlossen sind. Daraus folgt, daß diese Koppelanordnung nur mit Punkt-Punkt-Markierung betrieben werden kann.

Die gestrichelt eingezeichnete zusätzliche „horizontale“ ML ist bei symmetrischer Wegezuteilung [10] zwingend nötig, um Verbindungen zwischen gegenüberliegenden Blöcken zu ermöglichen. Bei anderen Wegezuteilungsprinzipien ist sie empfehlenswert, um die strukturell bedingte, unvermeidbar höhere Verlustwahrscheinlichkeit zwischen Sprechkreisen desselben Highways zu reduzieren.

5.5. Fünfstufige PCM-Koppelanordnungen

Es gibt vier Typen fünfstufiger Koppelanordnungen, welche die Symmetriebedingungen erfüllen, nämlich ZRRRZ, RRZRR, RZRZR und ZRZRZ. Die letztgenannten beiden Typen sind bei vergleichbarer Verkehrsleistung weniger wirtschaftlich und werden deshalb hier nicht weiter betrachtet.

5.5.1. Die Koppelanordnung ZRRRZ

Bild 11a zeigt die PCM-Struktur und Bild 11b die äquivalente Raumvielfach-Struktur. Auch hier werden Blöcke, bestehend aus der ersten und der zweiten Stufe sowie aus der vierten und fünften Stufe gebildet. Diese Blockbildung zeigt sich in gleicher Weise im äquivalenten Raumvielfachsystem. Die zeichnerische Anordnung der Koppel-

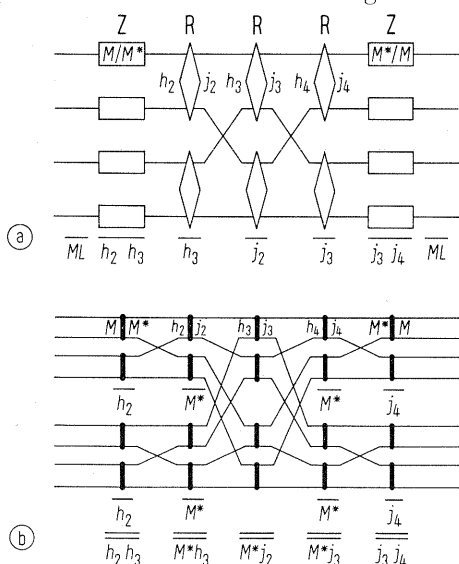


Bild 11. (a) PCM-Koppelanordnung ZRRRZ, $h_2 = j_2 = h_4 = j_4$, $h_3 = j_3$, $M^* = \beta M$,
(b) Abbildung der PCM-Koppelanordnung ZRRRZ.

vielfache in der mittleren Stufe wurde im Bild 11b so gewählt, daß alle jene Koppelvielfache benachbart sind, die derselben Zeitlagen-Nummer entsprechen.

5.5.2. Die Koppelanordnung RRZRR

Bild 12a zeigt die PCM-Struktur, Bild 12b die äquivalente Raumvielfach-Koppelanordnung. Blöcke werden hier aus der zweiten, dritten und vierten Stufe gebildet; die Auskreuzung der Blöcke untereinander geschieht zwischen der ersten und zweiten sowie zwischen der vierten und fünften Stufe.

Eine eventuelle Aufweitung erfolgt in der ersten Stufe durch $j_1 \geq h_1$. Wenn, im Gegensatz zu den Voraussetzungen im Abschnitt 5.1, in der zweiten Stufe $j_2 = (2h_2 - 1)$ gewählt wird und entsprechend in der vierten Stufe $h_4 = (2j_4 - 1)$, so ist der mittlere Block absolut blockierungsfrei [3]. Die gesamte Koppelanordnung kann dann wie ein dreistufiges System behandelt werden.

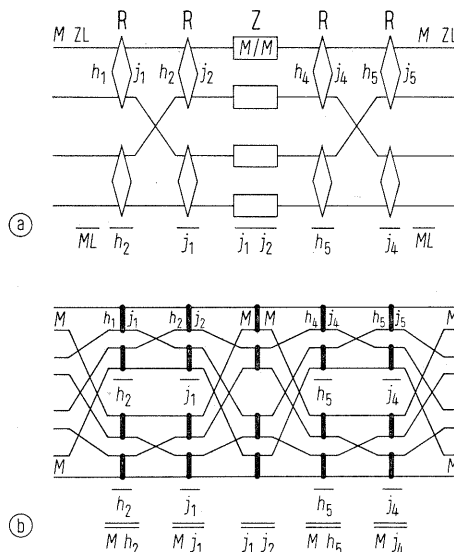


Bild 12. (a) PCM-Koppelanordnung RRZRR, $h_2 = j_2 = h_4 = j_4$, $h_1 = j_5$, $j_1 = h_5 = \beta h_1$,
(b) Abbildung der PCM-Koppelanordnung RRZRR.

5.6. Sechsstufige PCM-Koppelanordnungen

5.6.1. Die Koppelanordnung ZRRRRZ

Es gibt mehrere Möglichkeiten zur Realisierung dieses Typs. Die vorgestellte Struktur erfordert minimalen Aufwand und ist gut ausbaufähig. Bild 13a zeigt die PCM-Struktur und Bild 13b die äquivalente Raumvielfach-Struktur.

Blöcke können hier aus der ersten und der zweiten Stufe, der dritten und der vierten Stufe sowie aus den letzten beiden Stufen gebildet werden. Dies führt auch hier zu günstigen Ausbaumöglichkeiten. Diese Blockbildung erscheint auch (in etwas anderer Darstellung) in der äquivalenten RVf-Struktur. Hier ergeben sich Linkblöcke zwischen der ersten und der zweiten Stufe, entsprechend zwischen der fünften und sechsten Stufe sowie Gruppen von Linkblöcken zwischen den ersten drei und den

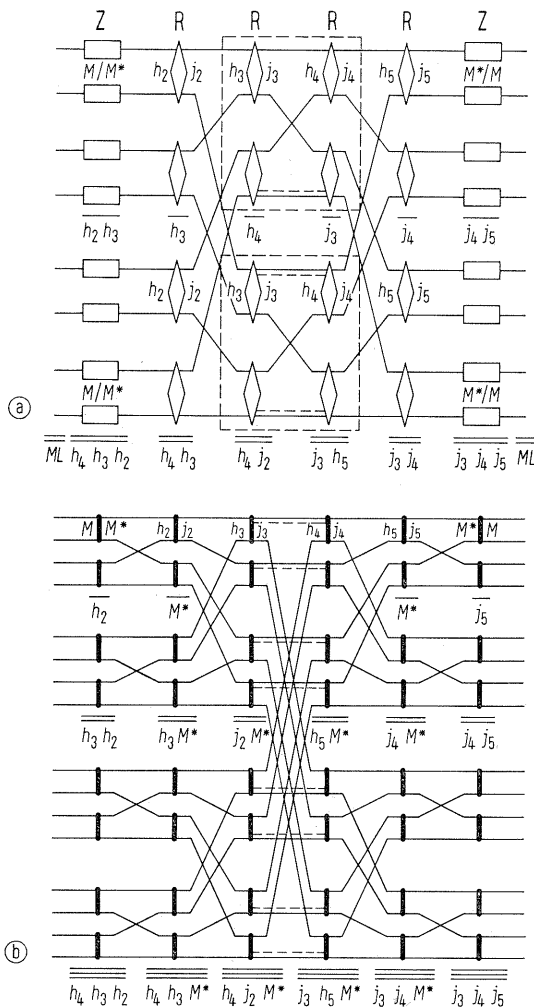


Bild 13. (a) PCM-Koppelanordnung ZRRRRZ, $h_2 = j_2 = h_5 = j_5$, $h_3 = j_3 = h_4 = j_4$, $M^* = \beta M$,
(b) Abbildung der PCM-Koppelanordnung ZRRRRZ.

letzten drei Stufen. Da die erste und die letzte Stufe eine Zeitstufe ist, muß Punkt-Punkt-Markierung angewendet werden.

Die gestrichelt eingezeichneten zusätzlichen Multiplexleitungen zwischen der dritten und vierten Stufe sind aus denselben Gründen notwendig wie bei der vierstufigen ZRRZ-Struktur.

5.6.2. Die Koppelanordnung RZRRZR

Bild 14a zeigt die PCM-Struktur und Bild 14b die äquivalente Raumvielfach-Koppelanordnung in ihrer Kurzdarstellung. Die Blockbildung innerhalb dieser PCM-Struktur geschieht in den ersten drei und den letzten drei Stufen. Hier entsprechen sich dann die PCM-Struktur und die äquivalente Raumvielfach-Struktur in ihrer Darstellung. Da die letzte Stufe eine Raumstufe ist, kann sowohl Bündelwahl als auch Punktwahl angewendet werden.

6. Normierte Kosten von PCM-Koppelanordnungen

Es gibt sehr viele verschiedene Strukturen von PCM-KAn, die dasselbe leisten, jedoch mit unter-

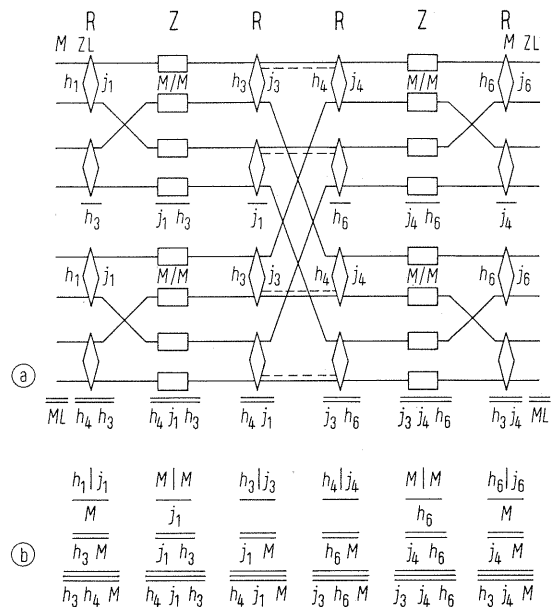


Bild 14. (a) PCM-Koppelanordnung RZRRZR, $h_1 = j_6$, $h_3 = j_3 = h_4 = j_4$, $j_1 = h_6 = \beta h_1$,
(b) Kurzdarstellung der äquivalenten Raumvielfach-Koppelanordnung von RZRRZR.

schiedlichen Kosten. Deshalb werden im folgenden normierte Kosten definiert, die einen Kostenvergleich der Systeme untereinander ermöglichen. Die Kosten einer PCM-KAn ergeben sich aus den Kosten für alle Torschaltungen und den dafür notwendigen Speicherspeicherbits, ferner den Kosten für die Sprachspeicher und den dafür ebenfalls notwendigen Speicherspeicherbits sowie den Kosten der Hardware-Bauelemente für Ansteuerungsfunktionen.

Der Aufwand für ein RIVf sowie für ein ZIVf wurde bereits im Abschnitt 2 hergeleitet.

Tabelle 1 gibt, basierend auf dieser Berechnungsmethode, den Gesamtaufwand für die vorgestellten Strukturen an. Um einen Kostenvergleich zu ermöglichen, ist es vorteilhaft, die Kosten je Torschaltung auf die Kosten je Speicherbit zu beziehen. Hierfür wird ein Kostenverhältnis CR eingeführt:

$$CR = \frac{\text{Kosten pro TS}}{\text{Kosten pro Speicherbit}}$$

Damit ist es möglich, die Kosten für eine Torschaltung ebenfalls in der Einheit „bit“ auszudrücken. Bei der Festlegung von CR können auch die Kosten der oben erwähnten Hardware-Bauelemente für die Ansteuerung berücksichtigt werden. Damit ergeben sich die normierten Kosten je Zeitlage in der Einheit „bit“ zu

$$\frac{\text{Kosten/ZL}}{\text{bit}} = \frac{CR \cdot TS + StTS + SSP + StSSP}{ML \cdot EM}$$

E ergibt sich zu 1 bzw. 2 für gemeinsame bzw. getrennte Durchschaltung. Diese normierten Kosten je ZL entsprechen den Kosten pro angeschlossenem Sprechkreis.

Tabelle 1. Aufwandsgleichungen.

Z - KAn (≤ 32 ML):

$$SSP = 8 ML ME$$

$$StSSP = ML M ld (ML M)$$

ZRZ:

$$TS = h_2 j_2 EP$$

$$StTS = h_2 \beta M ld j_2$$

$$SSP = 2 \cdot 8 \cdot h_2 ME$$

$$StSSP = h_2 \beta ME ld M$$

RZR:

$$TS = 2 h_1 j_1 EP$$

$$StTS = h_1 ME ld j_1$$

$$SSP = 8 j_1 ME$$

$$StSSP = j_1 M Q ld M$$

ZRRZ:

$$TS = 2 ML j_2 EP$$

$$StTS = ML \beta ME ld j_2$$

$$SSP = 2 \cdot 8 \cdot ML ME$$

$$StSSP = ML \beta ME ld M$$

ZRRRZ:

$$TS = (2 ML j_2 + h_3 j_3 j_2) EP$$

$$StTS = ML \beta ME ld j_2 + j_2 h_3 \beta M ld h_3$$

$$SSP = 2 \cdot 8 \cdot ML ME$$

$$StSSP = ML \beta ME ld M$$

RRZRR:

$$TS = 2 (ML j_1 + h_2 j_2 j_1) EP$$

$$StTS = ML (ld j_1 + \beta ld j_2) ME$$

$$SSP = 8 ML \beta ME$$

$$StSSP = ML \beta M Q ld M$$

ZRRRRZ:

$$TS = 2 (ML j_2 + h_3^2 j_3 j_2) EP$$

$$StTS = (ML \beta M ld j_2 + j_2 h_3^2 \beta M ld j_3) E$$

$$SSP = 2 \cdot 8 \cdot ML ME$$

$$StSSP = ML \beta ME ld M$$

RZRRZR:

$$TS = 2 ML (j_1 + \beta j_3) EP$$

$$StTS = ML (ld j_1 + \beta ld j_3) ME$$

$$SSP = 2 \cdot 8 \cdot ML \beta ME$$

$$StSSP = ML \beta ME ld M$$

TS Anzahl an Torschaltungen,

StTS Anzahl der Steuerspeicherbits für die Torschaltungen,

SSP Anzahl der Sprachspeicherbits,

StSSP Anzahl der Steuerspeicherbits für die Sprachspeicher,

ML Anzahl der je kommenden/gehenden Multiplexleitungen,

M Anzahl der Zeitlagen pro Multiplexleitung,

β Aufweitungsfaktor,

h_i Zahl der Eingangsleitungen der Koppelmatrizen in Stufe i ,

j_i Zahl der Ausgangsleitungen der Koppelmatrizen in Stufe i ,

E Steuerparameter der Durchschaltung,

$E = 1$: gemeinsame Durchschaltung,

$E = 2$: getrennte Durchschaltung,

Q Steuerparameter der Wegezuteilung in R ... R Strukturen für $E = 1$ [9],

$Q = 1$: symmetrische Wegezuteilung,

$Q = 0,5$: quasisymmetrische Wegezuteilung,

P Steuerparameter für die Durchschaltung,

$P = 1$: serielle Durchschaltung,

$P = 8$: parallele Durchschaltung,

ld a logarithmus dualis $\log_2 a$ (ganzzahlig nach oben runden).

Durch die Einführung des Kostenverhältnisses *CR* spielt der von der technischen Entwicklung abhängige absolute Preis der Bauelemente beim Kostenvergleich keine Rolle mehr.

7. Kostenminimale Strukturen

Ein Vergleich der Kosten von PCM-KAn gleicher Größe und Verkehrsleistung ist nur dann sinnvoll, wenn jeweils jeder Strukturtyp für sich „optimal“ dimensioniert wird, d. h. mit den kleinsten normierten Kosten.

Mit den Voraussetzungen aus Abschnitt 5.1 erhält man für PCM-KAn mit $S=3$ und $S=4$ unmittelbar die in Tabelle 2 angegebenen optimalen (kostenminimalen) Strukturparameter. Für kostenminimale PCM-KAn mit $S=5$ und $S=6$ werden nachfolgend Strukturformeln abgeleitet. Diese Formeln sind sowohl gültig für den Fall der getrennten, als auch für den Fall der gemeinsamen Durchschaltung (vgl. Abschnitt 4).

Für die Anzahl der Torschaltungen pro Multiplexleitung (*TSPML*) gilt

$$TSPML = j_1 + \beta (j_2 + j_3 + \dots + j_i + \dots + j_s). \quad (1)$$

In Gl. (1) bedeutet β wieder den Aufweitungsfaktor in Stufe 1, falls eine KAn vom Typ R ... R betrachtet wird. Wird die Optimierung für eine KAn vom Typ Z ... Z durchgeführt, so ist $\beta = 1$ zu setzen. Ferner dürfen dann in Gl. (1) nur jene $S^* \leq S$ Raum-Stufen einbezogen werden, welche zur Erhöhung der Erreichbarkeit beitragen.

Die Erreichbarkeit P^* aller ML am Ausgang des Koppelnetzes, betrachtet von einer ML am Eingang aus, ist das Produkt

$$P^* = \prod_{i=1}^{S^*} j_i. \quad (2)$$

Die Größe *TSPML* soll nun für konstant angenommenes P^* minimiert werden. Die partielle Ableitung von *TSPML* nach den Ausgangszahlen j der RIVf aller S^* betrachteten R-Stufen liefert eine einheitliche Größe $j = h$ für alle RIVf.

Durch die vorgegebene Größe des betrachteten PCM-Koppelnetzes ist auch die Zahl aller angeschlossenen Highways (*HW*) gegeben und damit die Zahl der ML pro Seite des Koppelnetzes bekannt. Beachtet man nun die im Abschnitt 5 formulierten Voraussetzungen, so erhält man für alle S^* Raumstufen eines symmetrischen PCM-Koppelnetzes quadratische Matrizen (RIVfe) mit der einheitlichen Größe

$$h_i = j_i = \frac{[S/2+1]}{\sqrt{ML}}$$

[] bedeutet, die nächst kleinere ganze Zahl ist zu verwenden.

Bildet man eine solche Optimalstruktur auf ihre äquivalente Raumvielfach-KAn ab, so zeigt sich, daß auch deren Transparenz, vgl. [4], für jede beliebige Belastung ein relatives Maximum aufweist. Daraus geht hervor, daß diese Art der Torschaltungsminimierung auch verkehrsmäßig besonders vorteilhaft ist. Am Beispiel einer PCM-KAn vom Typ ZRRRZ soll diese Herleitung noch veranschaulicht werden (vgl. Bild 11 a). Es ist hier

$$TSPML = j_2 + j_3 + j_4, \quad P^* = j_2 j_3 j_4.$$

Aus:

$$\frac{\partial TSPML}{\partial j_3} = -\frac{P^*}{j_3^2 j_4} + 1 = 0 \Rightarrow j_3 = \frac{P^*}{j_3 j_4},$$

$$\frac{\partial TSPML}{\partial j_4} = -\frac{P^*}{j_3 j_4^2} + 1 = 0 \Rightarrow j_4 = \frac{P^*}{j_3 j_4}$$

$$\Rightarrow j_2 = j_3 = j_4 = f(P^*).$$

Mit der Forderung symmetrischer Strukturen folgt

$$h_2 = j_2 = h_3 = j_3 = h_4 = j_4$$

und mit der Bedingung einfacher ML-Verdrahtung

$$h_2 = h_3 = h_4 = \sqrt{ML}.$$

Führt man diese Ableitung für alle zur Diskussion stehenden fünf- und sechsstufigen PCM-Koppelanordnungen durch, so erhält man die in Tabelle 2 gezeigten Ergebnisse. Sie stellen die Entwurfsregeln für kostenminimale Strukturen von PCM-KAn dar.

Tabelle 2: Entwurfsregeln für kostenminimale PCM-KAn.

$S = 3$: ZRZ	RZR
$h_2 = j_2 = ML$	$h_1 = j_3 = ML$
$M^* = \beta M$	$j_1 = h_3 = \beta h_1$
$S = 4$: ZRRZ	
$h_2 = j_2 = h_3 = j_3 = \sqrt{ML}$	
$M^* = \beta M$	
$S = 5$: ZRRRZ	
$h_2 = j_2 = h_3 = j_3 = h_4 = j_4 = \sqrt{ML}$	
$M^* = \beta M$	
RRZRR	
$h_1 = h_2 = j_2 = h_4 = j_4 = j_5 = \sqrt{ML}$	
$j_1 = h_5 = \beta h_1$	
$S = 6$: ZRRRRZ	
$h_2 = j_2 = h_3 = j_3 = h_4 = j_4 = h_5 = j_5 = \sqrt[3]{ML}$	
$M^* = \beta M$	
RZRZRZ	
$h_1 = h_3 = j_3 = h_4 = j_4 = j_6 = \sqrt{ML}$	
$j_1 = h_6 = \beta h_1$	

Weitere Optimierungsverfahren, die andere Randbedingungen vorschreiben oder auch die Anzahl

und Größe der Speicherspeicher berücksichtigen, sind in [8] hergeleitet.

Das hier vorgestellte Verfahren wurde deshalb ausgewählt, weil es eine für die technische Realisierung günstige, einheitliche Größe aller RIVf ergibt und die anderen Optimierungsverfahren keine signifikant abweichenden Minimalkosten liefern.

8. Ergebnisse

8.1. Kostenvergleich zwischen unterschiedlichen PCM-Strukturen als Funktion der Zahl angeschlossener Highways

Bild 15 zeigt einen Kostenvergleich der normierten Kosten pro Zeitlage zwischen den im Abschnitt 5 vorgestellten PCM-Koppelanordnungen. Die Zahl der Zeitlagen pro Multiplexleitung ist hier $M = 30$. Es wird gemeinsame (bitserielle) Durchschaltung angewendet, ferner ist ein Kostenverhältnis $CR = 5$ angenommen.

Alle Koppelanordnungen sind so aufgeweitet, daß sie für eine vorgeschriebene Verkehrsbelastung von 0,8 Erl pro Zeitlage einen Punktverlust von 0,1% garantieren.

Nicht enthalten in diesem Diagramm ist die einstufige Anordnung Z. Ein Kostenvergleich gestaltet sich hier schwierig, da diese Koppelanordnung zu einem blockierungsfrei arbeitet, andererseits aber nur Speicherbits in die Kostenberechnung einbringt.

Die Kurven zeigen, daß die beiden dreistufigen Koppelanordnungen für große Highway-Zahlen relativ teuer werden. Der Grund liegt in den größeren Raumlagenvielfachen, für welche die Zahl der Torschaltungen quadratisch ansteigt.

Die Sprünge im Kurvenverlauf rühren für diese Systeme, wie für alle anderen, von der Größe der Speicherspeicher für die Torschaltungen her. Jedesmal wenn die dual codierten Adressen der Torschaltungen eine weitere Dualstelle benötigen, ist für jede Speicherzelle ein weiteres Bit bereitzustellen.

Unter den anderen mehrstufigen Koppelanordnungen zählen jene zu den wirtschaftlichen, die eine

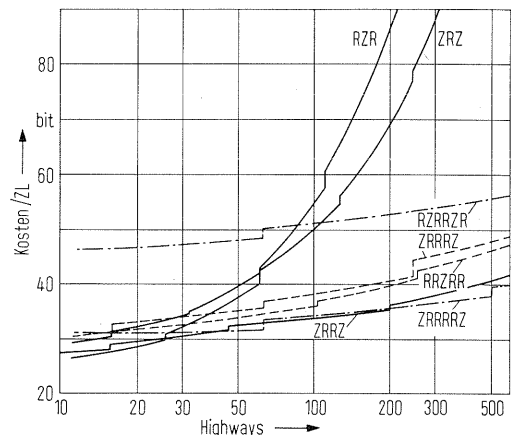


Bild 15. Kostenvergleich aller untersuchten PCM-Koppelanordnungen, $Y/ZL = 0,8$ Erl, $B_{pp} = 0,1\%$, $M = 30$ ZL/ML, $CR = 5$, gemeinsame Durchschaltung.

Zeitstufe als erste und letzte Stufe besitzen. Die Strukturen ZRRZ und ZRRRRZ sind über fast den gesamten Bereich die günstigsten. Es sollte allerdings nicht außer acht gelassen werden, daß der Steuerungsaufwand für die Wegesuche im Vermittlungsrechner mit wachsender Stufenzahl zunimmt.

Als Ergebnis bleibt festzuhalten, daß die dreistufigen Koppelanordnungen für kleine bis mittlere Highway-Zahlen eine wirtschaftliche Realisierung ermöglichen; für größere Highway-Zahlen sollten jedoch PCM-Koppelanordnungen mit vier oder mehr Stufen benutzt werden.

8.2. Kostenvergleich zwischen Zeitvielfach- und Raumvielfach-Koppelanordnungen

Als Beispiel für diesen Kostenvergleich zwischen Zeitvielfach- und Raumvielfach-Koppelanordnungen werden die kostenminimalen Strukturtypen ZRZ und ZRRRRZ sowie ebenfalls kostenminimal entworfene drei- und sechsstufige Raumvielfach-Linksyste me gleicher Verkehrsleistung miteinander verglichen.

Soweit im folgenden die Bezeichnung „Anschlüsse“ verwendet wird, beinhaltet ein Anschluß jeweils beide Sprechrichtungen eines (stets vierdrahtmäßig betriebenen) PCM-Sprechweges.

Die Anzahl der maximal möglichen gleichzeitig bestehenden Durchgangsverbindungen (kurz „Durchgänge“) ist gleich der halben Anzahl der insgesamt angeschlossenen vollständigen Vierdraht-sprechkreise.

Bild 16 zeigt die normierten Kosten pro Sprechkreis für dreistufige ZRZ-Koppelanordnungen und vergleichbare Raumvielfach-KAn, aufgetragen über der Zahl der Anschlüsse.

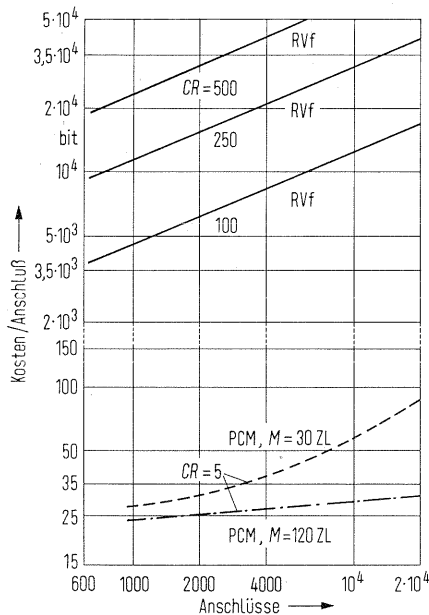


Bild 16. Kostenvergleich zwischen der dreistufigen ZRZ-PCM-Koppelanordnung und der optimal entworfenen dreistufigen Raumvielfach-Koppelanordnung, $Y/ZL=0,8$ Erl, $B_{pp}=0,1\%$, getrennte Durchschaltung.

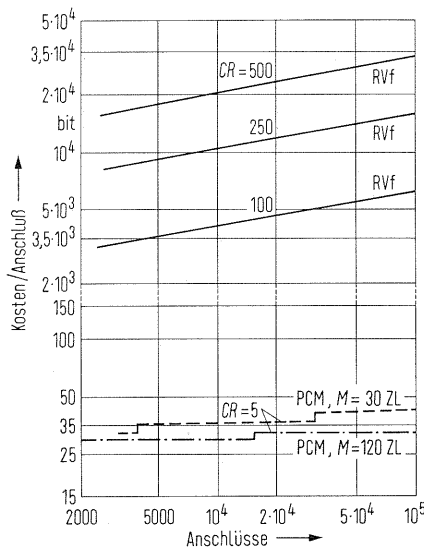


Bild 17. Kostenvergleich zwischen der sechsstufigen ZRRRRZ-PCM-Koppelanordnung und der optimal entworfenen sechsstufigen Raumvielfach-Koppelanordnung, $Y/ZL=0,8$ Erl, $B_{pp}=0,1\%$, getrennte Durchschaltung.

Bild 17 zeigt die entsprechenden Kostenkurven für sechsstufige ZRRRRZ-Systeme und Raumvielfachsysteme. In diesem Bild entspricht die rechte Begrenzung der Abszisse mit 100000 angeschlossenen Sprechkreisen in der Größe dem ersten großen PCM-Fernamt No. 4 ESS der AT & T (50000 Durchgänge, gemeinsame Durchschaltung).

Für alle Koppelanordnungen wird eine Verkehrsbelastung pro Sprechkreis von 0,8 Erl vorausgesetzt; sie sind so aufgeweitet, daß sich für diese Verkehrsleistung ein Punktverlust von $B_{pp}=0,1\%$ ergibt.

Bei den PCM-Systemen sind Realisierungen mit 30 sowie mit 120 Zeitlagen je Multiplexleitung berücksichtigt.

Die Kostenkurven der PCM-Systeme setzen ein Kostenverhältnis zwischen Torschaltung und Speicherbit von $CR=5$ voraus. Dieses Kostenverhältnis scheint für den augenblicklichen Stand der Technologie realistisch zu sein, wenn die Hardware-Kosten für die zusätzliche Steuerung der Speicher eingerechnet werden.

Die Kosten für einen metallischen Vierdrahtkoppelpunkt einer Raumvielfach-KAn liegen (bei niedriger Schätzung) zwischen 2 und 10 DM. Nimmt man (einschließlich Hardware-Ansteuerung) Kosten von 0,02 DM pro Speicherbit an, so entspricht dies einem Kostenverhältnis Koppelpunkt/bit von $CR=100$ bis 500.

Zum Beispiel benötigt eine sechsstufige RVf-KAn mit 20000 Anschlüssen und kostenminimaler Struktur rund 45 Koppelpunkte pro Anschluß. Für $CR=100$ ergeben sich also normierte Kosten in Höhe von 4500 bit pro Anschluß.

Die Kostenkurven in den Bildern 16 und 17 zeigen, daß das reine Durchschaltenetz von RVf-KAn um den Faktor 100 bis 1000 teurer ist als bei PCM-KAn.

Allerdings sollte dieser sehr große Preisunterschied zwischen Raumvielfach- und Zeitvielfach-Koppelanordnungen nicht für sich allein gesehen werden. PCM-Koppelanordnungen bedingen noch eine Vielzahl von zusätzlichen Kosten, die nicht im Diagramm berücksichtigt sind. Hierzu zählen vor allem die Kosten der Peripherie, d.h. der Codierer und Decodierer, der Bauelemente für Multiplexer, für die BORSHT-Funktionen, usw.

Die Diagramme erlauben folgende Schlüsse zu ziehen:

- PCM-Koppelanordnungen sind auf jeden Fall wirtschaftlicher realisierbar als Raumvielfach-Koppelanordnungen.
- PCM-Koppelanordnungen werden um so günstiger, je größer die Zahl der Zeitlagen pro Multiplexleitung ist.
- Die Kosten pro Anschluß bei PCM-KAN mit drei bzw. sechs Stufen unterscheiden sich um so weniger, je größer die Anzahl der Zeitlagen pro ML gewählt werden kann. Außerdem reduzieren sich bei kleinerer Stufenzahl die Kosten der Steuerung.

Weitere Diagramme mit Kostenkurven findet man in [8].

9. Neues Entwurfsdiagramm für PCM-Koppelanordnungen (PCM-Chart)

9.1. Das Diagramm und seine Anwendung

Für den Entwurf von PCM-KAN ist eine Kombination aus zwei Diagrammen günstig, die sowohl die Verlustwahrscheinlichkeit als auch die zu erwartenden Kosten für eine gewünschte Verkehrsgüte beinhalten.

Bild 18 zeigt als Beispiel ein solches Diagramm für eine KAN vom Typ ZRRZ. Im linken Diagramm ist der Aufweitungsfaktor β aufgetragen über der Verkehrsbelastung pro Zeitlage. Kurvenparameter ist der vorgesehene Punktverlust B_{pp} . Das rechte Diagramm erlaubt die Bestimmung der normierten Kosten je Zeitlage in Abhängigkeit vom Aufweitungsfaktor β . Kurvenparameter ist das Kosten-

verhältnis CR . Die durchgezogenen Linien gelten für gemeinsame Durchschaltung, die gestrichelten Linien für getrennte Durchschaltung.

Die Diagramme gelten für eine PCM-KAN vom Typ ZRRZ mit gemeinsamer Durchschaltung und insgesamt 196 angeschlossenen Highways, d.h. mit 5880 Anschlüssen und max. 2940 gleichzeitigen Durchgängen. Sie gelten außerdem für eine PCM-KAN mit getrennter Durchschaltung und zwei Koppelnetzen mit zusammen 2×196 angeschlossenen Highways, d.h. mit 11760 Anschlüssen und max. 5880 Durchgängen.

Die Zweckmäßigkeit dieses Diagramms für den Entwurf von PCM-Koppelanordnungen sei an einem Beispiel gezeigt. Gewählt werde als Vorgabeparameter eine Verkehrsbelastung je Zeitlage von 0,8 Erl und ein Punktverlust von $B_{pp} = 0,1\%$. Aus diesen beiden Größen ergibt sich der Aufweitungsfaktor zu $\beta \approx 1,6$ (Gerade 1). Mit der kostenminimalen Größe der Raumlagenvielfache, $h_2 = 14$, liegt bereits die gesuchte Struktur fest (vgl. Bild 19).

Die Aufweitung β dient nun als Eingangsgröße in das Diagramm rechts (siehe Gerade 2). Für ein Kostenverhältnis von z.B. $CR = 5$ können auf der Abszisse des rechten Diagramms die resultierenden Kosten je Zeitlage für gemeinsame oder getrennte Durchschaltung abgelesen werden (z.B. Gerade 3 für gemeinsame Durchschaltung).

Man erhält normierte Kosten von ungefähr 36 bit je Zeitlage bei gemeinsamer Durchschaltung.

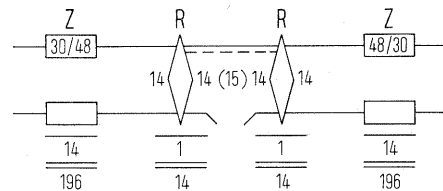


Bild 19. Realisierung der Beispiel-Struktur aus Bild 18.

9.2. Kostenvergleiche zwischen verschiedenen Strukturen mit gemeinsamer bzw. getrennter Durchschaltung

Als Beispiel soll zunächst eine Koppelanordnung betrachtet werden, die es erlaubt, ungefähr 70 High-

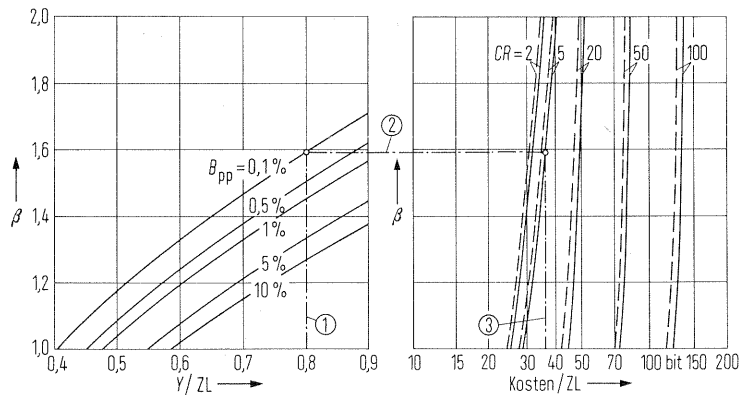


Bild 18. Entwurfsdiagramm für ZRRZ PCM-Koppelanordnungen (PCM-Chart);

— gemeinsame Durchschaltung, 1×196 HW } $h_2 = 14, M = 30.$
 - - - getrennte Durchschaltung, 2×196 HW }

ways mit 30 Zeitlagen pro Multiplexleitung (2100 Anschlüsse) anzuschließen. Die Koppelanordnung soll einen Punktverlust von 0,1% bei einer Verkehrsbelastung von 0,8 Erl pro Sprechkreis garantieren. Es werde ein Kostenverhältnis von $CR=5$ vorausgesetzt.

Die Kosten verschiedener Strukturtypen bei getrennter oder gemeinsamer Durchschaltung sollen verglichen werden. Man erhält die Kosten unmittelbar aus den entsprechenden PCM-Charts, vgl. [9]. Bei gemeinsamer Durchschaltung läßt sich (für 3, 4, 5 und 6 Stufen) eine exakt kostenminimale Koppelanordnung mit 64 Highways realisieren, bei getrennter Durchschaltung sind zwei Koppelnetze mit $2 \cdot 36$ Highways realisierbar.

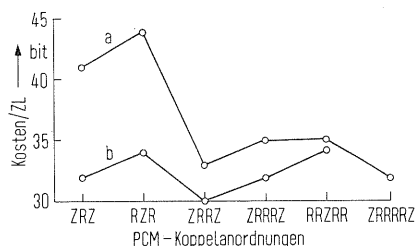


Bild 20. Kostenvergleich zwischen gemeinsamer und getrennter Durchschaltung (1920 bzw. 2×1080 Anschlüsse), $M=30$, $CR=5$;

Kurve a: gemeinsame Durchschaltung, 1×64 Highways,
Kurve b: getrennte Durchschaltung, 2×36 Highways.

Bild 20 zeigt die normierten Kosten je Zeitlage für sechs Strukturen und für beide Durchschaltungsarten. Bei gemeinsamer Durchschaltung ist die Koppelanordnung ZRRZ die günstigste. Die Anordnungen RZR und RRZRR sind bei getrennter wie auch bei gemeinsamer Durchschaltung am teuersten.

Um den Einfluß der Zeitlagenzahl pro Multiplexleitung auf die Kosten zu veranschaulichen, soll nun eine PCM-Koppelanordnung entworfen werden, die wiederum 1920 Anschlüsse besitzt und deren interne ML mit 30 bzw. 120 ZL betrieben werden. Wie im ersten Beispiel soll der Punktverlust

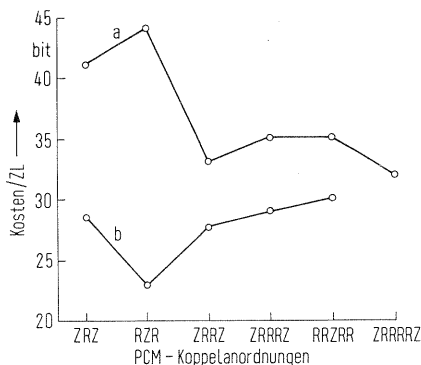


Bild 21. Kostenvergleich für unterschiedliche Zahl an Zeitlagen pro Multiplexleitung (1920 Anschlüsse), $CR=5$;

Kurve a: gemeinsame Durchschaltung, 1×64 Highways,
 $M=30$ ZL,

Kurve b: gemeinsame Durchschaltung, 1×16 Highways,
 $M=120$ ZL.

$B_{pp}=0,1\%$ betragen für eine Verkehrsbelastung $Y/ZL=0,8$ Erl. Es wird gemeinsame Durchschaltung vorgeschrieben.

Im einen Fall sind 64 Highways mit je 30 Zeitlagen angeschlossen, im anderen Fall 16 Highways mit je 120 Zeitlagen. Bild 21 zeigt, daß die RZR-Struktur mit 30 ZL/ML die teuerste Lösung darstellt, mit 120 ZL/ML jedoch zur billigsten wird. In jedem Fall werden durch die Erhöhung der Zeitlagenzahl pro Multiplexleitung die Kosten stark reduziert.

Für den Entwurf von PCM-KAn empfiehlt sich deshalb in der Regel die Verwendung von möglichst vielen Zeitlagen pro interne ML. Bei verschiedenen Strukturtypen mit etwa gleichen Kosten je Anschluß im Endausbau sollte jene Struktur mit der kleineren Stufenzahl bevorzugt werden.

(Eingegangen am 30. September 1980.)

Schrifttum

- [1] Bazlen, D., Kampe, G. und Lotze, A., On the influence of hunting mode and link wiring on the loss of link systems. Proc. 7 ITC, Stockholm 1973, S. 232/1-12 und Information Express „Information Transmission“, Moskau, Sept. 1973, Nr. 35, S. 11-39.
- [2] Bazlen, D., Kampe, G. und Lotze, A., Design parameters and loss calculation of link systems. Transact. IEEE COM-22 [1974], 1908-1920.
- [3] Clos, C., A study of nonblocking switching networks. Bell Syst. tech. J. 32 [1953], 406-424.
- [4] Lotze, A., Optimum link systems. Proc. 5. ITC, New York 1967, S. 242-251 und Sonderheft Stochastische Prozesse in Bedienungssystemen. Akad. Wiss. UdSSR, Moskau 1969, S. 49-56 (in russisch).
- [5] Lotze, A., Röder, A. und Thierer, G., PPL - a reliable method for the calculation of point-to-point loss. Proc. 8. ITC, Melbourne 1976, S. 547/1-14.
- [6] Lotze, A., Röder, A. und Thierer, G., Point-to-point selection versus point-to-group selection in link systems. Proc. 8. ITC, Melbourne 1976, S. 541/1-5.
- [7] Lotze, A., Röder, A. und Thierer, G., Nik-charts for the design of link systems operating in the point-to-point selection mode or point-to-group selection mode. Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart, 1976, ISBN 3-922403-06-9.
- [8] Lotze, A., Rothmaier, K. und Scheller, R., TDM versus SDM switching arrays - a comparison. Proc. 9. ITC, Torremolinos 1979, Session 34.
- [9] Lotze, A., Rothmaier, K. und Scheller, R., PCM-charts for the design of economic PCM switching arrays operating in the point-to-point selection mode. Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart, 1979, ISBN 3-922403-07-7.
- [10] Rothmaier, K. und Scheller, R., Design of economic PCM-arrays with a prescribed grade of service. Proc. 9. ITC, Torremolinos 1979, Session 34.
- [11] Thierer, G., Die Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit in Linksystemen mit Punkt-Punkt-Markierung. Dissertation, Universität Stuttgart 1980.
- [12] Vermittlungstechnik und Verkehrstheorie - Begriffe. NTG-Entwurf 0903 1980.
- [13] Vermittlungstechnik - Begriffe und Systemtechnik. NTG-Empfehlung 0902 1973.