

Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung

Universität Stuttgart

Prof. Dr.-Ing. A. Lotze

31. Bericht über verkehrstheoretische Arbeiten

Verkehrsgerechte Dimensionierung, Analyse
und Kostenoptimierung von PCM-Koppelanordnungen

von

Reinhard Scheller

Institute of Switching and Data Technics

University of Stuttgart

Prof. Dr.-Ing. A. Lotze

31 st Report on Studies in Congestion Theory

Traffic Based Design of
Economic PCM-Switching Arrays

by

Reinhard Scheller

1981

© 1981 Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung Universität Stuttgart
Druck: W. Schräpler
ISBN 3 - 922403 - 41 - 7

ABSTRACT

This report 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- and 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.

Finally, a new tool for the design, the PCM-CHARTS, is presented. They allow the handy and quick design of least cost PCM switching arrays for a prescribed number of highways and a prescribed probability of loss.

CHAPTER 1. and 2. (pp 15-24)

A brief survey is given on the elements of PCM multistage switching arrays, the time-slot interchange and the space switch. The space switch allows the coincident time-slot switching from each incoming multiplex line (ML) to each outgoing ML. The time-slot interchange allows interchanging from each incoming time-slot to each outgoing time-slot.

CHAPTER 3. (pp 25-28)

It is shown how PCM switching arrays (link systems) can be mapped into equivalent SDM switching arrays, in order to easily calculate their probability of loss by means of well known approximate methods.

Mapping rules are derived which hold for every PCM switching array.

CHAPTER 4. (pp 29-49)

This chapter deals with some fundamentals of teletraffic theory. First, different marking methods within the array are discussed and it is shown, how these marking methods are influenced by the type of the last stage of the array.

Then two types of pure chance traffic considered in this report are defined, i.e. pure chance traffic of type 1 or 2, resp.

The main part of this chapter outlines the basic ideas of the applied calculation methods for the probability of loss in case of point to point selection and point to group selection.

One essential parameter for the probability of loss is the expansion of the multiples in the first stage of the array. After defining an appropriate expansion factor β this chapter concludes describing the realization of different expansion methods for PCM switching arrays.

CHAPTER 5. (pp 50-55)

PCM switching corresponds always to four-wire switching. Therefrom result two different switching modes for the arrays, the "Separated Switching Mode" and the "Combined Switching Mode".

CHAPTER 6. (pp 56-72)

The Combined Switching Mode means that both speech directions of one connection are switched through the same array. Therefore

it is possible, to define various path allocation principles in order to reduce the costs of the whole array structure as well as their probability of loss.

The main ideas of these path allocation principles are outlined for arrays having a space stage as the first and the last one or a time stage, resp.

CHAPTER 7. (pp 73-101)

All investigated PCM switching arrays having one up to six stages are presented in this chapter. These arrays are the

T, TST, STS, TSST, TSSST, SSTSS, STSTS, TSTST, TSSSST and the STSSST array.

For each array the PCM structure is presented as well as their equivalent SDM switching array. It is shown, how each array may be extended from a small initial size to the desired final size.

CHAPTER 8. (pp 102-107)

The calculation of the costs of a PCM switching array is presented in this section. The costs result from the costs of all logical gates of the space switches and the sum of all memory bits within the speech memories and the control memories for the gates and speech memories. In order to become independent of the absolute prices for the elements a cost ratio CR is defined, allowing the calculation of the standardized costs in the price unit of one BIT.

CHAPTER 9. (pp 108-135)

This chapter presents many diagrams including the results of all previous investigations:

It is shown how the probability of loss can be influenced for different array types by the expansion factor β .

The costs of different array types are calculated as a function

of the desired probability of loss and the chosen cost ratio CR. The influence of the number of time-slots per multiplex line on the probability of loss and the costs of different array types is outlined in detail.

Finally, a new tool for the design of economic PCM switching arrays, the PCM CHARTS, is presented.

They allow the quick design of least cost PCM switching arrays of all types for a prescribed number of highways, a prescribed carried traffic per time-slot and a desired probability of loss.

CHAPTER 10. (pp 136-161)

This final section outlines three different optimization methods for PCM switching arrays.

Two methods minimize the number of gates for all arrays with two different boundary conditions, the third one minimizes the overall costs of all array types. The calculation methods are derived and the results compared to each other.

The best principle of these three ones was the basis of all previous investigations.

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S	Seite
SCHRIFTTUM	6
BEZEICHNUNGEN	12
1. Einleitung	15
2. Elemente von PCM-Koppelanordnungen	18
2.1. Die Raumstufe	18
2.2. Die Zeitstufe	21
2.3. Beispielstrukturen ZRZ, RZR	23
3. Abbildung von PCM-Koppelanordnungen in äquivalente Raumvielfachkoppelanordnungen	25
4. Verlustberechnungsverfahren	29
4.1. Markierungsverfahren	29
4.1.1. Die Punkt-Punkt Markierung	29
4.1.2. Die Punkt-Bündel Markierung	30
4.2. Bündelanschaltung hinter der letzten Stufe	31
4.3. Definition der Verkehrsarten	31
4.3.1. Zufallsverkehr 1. Art	32
4.3.2. Zufallsverkehr 2. Art	33
4.4. Grundgedanken der Verlustberechnungsverfahren für Punkt-Punkt- und Punkt-Bündel Markierung	33
4.5. Berechnung der Sperrwahrscheinlichkeit	35
4.6. Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit Bpp bei Punkt-Punkt Markierung	37
4.7. Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit bei mehrfacher Punkt-Punkt Markierung	40
4.8. Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit bei Punkt-Bündel Markierung	40
4.9. Aufweitung von PCM-Koppelanordnungen	42
4.9.1. Aufweitung einer Zeitstufe durch Takterhöhung	43

4.9.2. Aufweitung einer Koppelanordnung durch Multiplexbildung	45
4.9.3. Aufweitung einer Raumstufe	47
4.9.4. Aufweitung durch Parallelschaltung zweier identischer Koppelnetze	47
4.9.5. Definition des Aufweitungsfaktors β	48
5. Durchschalteprinzipien von PCM-Koppelanordnungen	50
5.1. Die getrennte Durchschaltung	50
5.2. Die gemeinsame Durchschaltung	52
6. Wegezuteilungsverfahren bei gemeinsamer Durchschaltung	56
6.1. Prinzipielle Vorgehensweise	56
6.2. Wegezuteilung in Z..Z Strukturen	58
6.2.1. Die symmetrische Wegezuteilung	58
6.2.2. Die quasisymmetrische Wegezuteilung	60
6.2.2.1. Zuordnung über mod M der Zeitlagenzahl	60
6.2.2.2. Zuordnung über gerade/ungerade Zeitlage	62
6.3. Abbildung des äquivalenten zweiseitigen Raumvielfachsystems auf ein virtuelles einseitiges Umkehr- Raumvielfachsystem	64
6.4. Wegezuteilung in R..R Strukturen	67
6.4.1. Die symmetrische Wegezuteilung	68
6.4.2. Die quasisymmetrische Wegezuteilung	70
7. Untersuchte PCM-Koppelanordnungen	73
7.1. Einstufige PCM-Koppelanordnungen	74
7.2. Zweistufige Koppelanordnungen	78
7.3. Dreistufige Koppelanordnungen	80
7.3.1. Symmetrische dreistufige Koppelanordnungen	80
7.3.2. Unsymmetrische dreistufige PCM-Koppelanordnungen	81
7.4. Die vierstufige Koppelanordnung ZRRZ	86
7.5. Fünfstufige PCM-Koppelanordnungen	88

7.5.1. Die Koppelanordnung ZRRRZ	89
7.5.2. Die Koppelanordnung RRZRR	91
7.5.3. Die Koppelanordnung RZRZR	93
7.5.4. Die Koppelanordnung ZRZRZ	95
7.6. Sechstufige PCM-Koppelanordnungen	97
7.6.1. Die Koppelanordnung ZRRRRZ	97
7.6.2. Die Koppelanordnung RZRRZR	100
8. Kostenberechnung von PCM-Koppelanordnungen	
9. Ergebnisse	
9.1. Typische Diagramme für den Zusammenhang zwischen Verkehrsbelastung und Verlustwahrscheinlichkeit	109
9.2. Normierte Kosten als Funktion des Strukturtyps und der Zahl angeschlossener Highways	118
9.3. Einfluß der Zeitlagenzahl je Multiplexleitung auf die Verkehrsleistung und die normierten Kosten	120
9.4. Kostenvergleich unter Berücksichtigung der Durchschalteart und der Zahl der Zeitlagen je ML	125
9.5. Einfluß des Kostenverhältnisses	129
9.6. Spezielles Entwurfsdiagramm für PCM-Koppelanordnungen (PCM- KAn)	131
9.7. Beispiele für Problemstellungen beim Entwurf von PCM-Koppelanordnungen	133
10. Strukturoptimierungsverfahren	136
10.1. Torschaltungsminimierung	138
10.1.1. Torschaltungsminimierung PCM 1	139
10.1.2. Torschaltungsminimierung PCM 2	142
10.1.3. Vergleich der Verfahren PCM 1 und PCM 2	145
10.2. Minimierung der Gesamtkosten (PCM 3)	152
10.2.1. Ergebnisse der fünfstufigen PCM- KAn	154
10.2.2. Ergebnisse der sechsstufigen PCM- KAn	156
11. Zusammenfassung	162

SCHRIFTTUM

- / 1/ Bazlen,D., On the Influence of Hunting Mode and
Kampe, G., Link Wiring on the Loss of Link Systems
Lotze,A.: a) 7. ITC, Stockholm, 1973,
Proceedings S.232/ 1-12
b) Information Express "information Trans-
mission", Moskau, Sept. 1973,
Nr. 35, S.11-39
- / 2/ Bazlen, D., Design Parameters and Loss Calculation
Kampe, G., of Link Systems
Lotze, A.: IEEE-Com., 22(1974) 12, S. 1908-1920
- / 3/ Besier,H., Digitale Vermittlungen
Heuer,P., Mitteilungen aus dem Forschungsinstitut
Kettler,G.: der Deutschen Bundespost, 1978/79
- / 4/ Bieszczad,E.S., No. 3 EAX Network and Master Clock
Kowalik,R.F., GTE Automatic Electric Journal
Krylow, K.E., July 1977,
Marcander,M.S:
- / 5/ Botsch,D.: The Use of High Level Language Programming
and its Impact on the Software of Digital
Switching Systems
ISS, Paris, 1979, S. 1167-1172
- / 6/ Braugenhardt,S.: Transition to a Digital Network
ISS, Kyoto, 1976, S. 132/1-7
- / 7/ Cieslak,T.J., Analysis and Simulation of No.4 ESS
Hickson,P.J.: Network Performance
IEEE Trans.Comm. No.1, Jan.1979,
- / 8/ Coudreuse,J.P., Systeme E10 centres de transit
Grall,P., temporels
Raphalen,C.: Commutation et Electronique, No.43, Oct.73
- / 9/ Clos,C.: A Study of Nonblocking Switching Networks
BSTJ, Vol.32 (1953), S. 406-424
- /10/ Eckhardt,K., Impact of Technology and Operational
Langenbach,M.: Requirements on the Architecture of small to
Medium Sized Digital Switching Systems
ISS, Paris, 1979, Proc.S. 840-846
- /11/ Härle,P.: Koppelnetze für Zeitmultiplex-Vermittlungs-
stellen, NTZ (1970) 9, S. 465
- /12/ Harris,L.R.F.: Introduction to System X
ISS, Paris, 1979, Proc.S. 201-206
- /13/ Holm,R.K.: No. 3 EAX Description
GTE Automatic Electric Journal, July 1977
- /14/ Huber,M.: On the Congestion in TDM Systems
4. ITC, London,1964, Doc. 104
- /15/ Inose,H., Evaluation of PCM Toll Switching Networks
Saito,T., with Partial Access Pulse Shifters
Yamagisawa,Y.: 7.ITC, Stockholm, 1973, Proc.S. 631/1
- /16/ Järvinen,J.: Introduction of Digital Switching System
DX 100 in the Finnish PTT Telephone Network
ISS, Paris, 1979, S.1119-1126
- /17/ Kantelhardt,R.: Das elektronische Fernsprech-Wählsystem für
Ortsvermittlungsstellen (EWSO) der Deutschen
Bundespost
Signal + Draht, 68 (1976) 1/2, S.3-9

- /18/ Kobylar,A.W.: Methodology for Isolating a Set of Near Optimum PCM Digital Network Configurations ICC, Minneapolis, 1974, Proc. S. 34E1-5
- /19/ Lefebvre,B., Viard,F.: The E 12 Telephony Switching System ISS, Paris, 1979, Proc.S. 311-318
- /20/ Lotze,A.: Optimum link systems
a) 5.ITC, New York, 1967
Prebook S.242-251
b) Sonderheft Stochastische Prozesse in Bedienungssystemen
Akad. d. Wiss. d. UdSSR, Moskau 1969
S.49-56, (in russisch)
- /21/ Lotze,A., Röder,A., Thierer,G.: Investigations on Folded and Reversed Link Systems
a) 8.ITC, Melbourne, 1976, Proc.S. 544/1-5
b) ICC, Chicago, 1977, Proc.S. 232-236
- /22/ Lotze,A., Röder,A., Thierer,G.: PPL - a reliable method for the calculation of point-to-point loss
8.ITC, Melbourne, 1976
Proceedings S.547/1-14
- /23/ Lotze,A., Röder,A., Thierer,G.: Point-to-point loss in case of multiple marking attempts
Ergänzung zu paper 547, 8.ITC, Melbourne, 1976
- /24/ Lotze,A., Röder,A., Thierer,G.: Point-to-point selection versus point-to-group selection in link systems
8.ITC, Melbourne 1976
Proceedings S.541/1-5

- /25/ Lotze,A., Röder,A., 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
- /26/ Lotze,A., Wagner,W.: Tafeln der modifizierten Palm-Jacobaeus-Verlustformel
Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart
- /27/ Lucas,P.: Les progrès de la commutation électronique dans le monde
Commutation et Electronique, No.59,(1977)
- /28/ Melamies,L.: DX 200 - Digital Telecommunication System for Rural Applications
INTELCOM (1979), S. 1-3
- /29/ Mereur,J.N.: The E 10 System in the French Telephone Network, Zürich Seminar, 1976, S. E.1-8
- /30/ Meurling,J.: Presentation of AXE 10 Switching System
Ericsson Review (1976), Nr.2, S. 54-59
- /31/ Opitz,L., Roos,H.M.: Choice of Digital Telephone Systems for low Subscriber Density Areas
ISS, Paris, 1979, Proc.S. 101-108
- /32/ Postollec,J.: Le réseau de connexion du Systeme E 10
Commutation et Electronique, No.40, Jan.73
- /33/ Röder,A.: Über die Strukturen und die Verkehrseigenschaften einseitiger vielstufiger Koppelanordnungen in Verlustsystemen
Dissertation Universität Stuttgart, 1980

- /34/ Sägebarth, J.: Entwurf und Entwicklung eines Programmsystems zur Berechnung kostengünstiger PCM Koppelanordnungen
Monographie, Institut für NV und DV, 1979
- /35/ Saito, T.: An Optimum Design Theory for PCM Toll Switching Networks
NTC, Los Angeles, 1977, Proc.S. 46/1-6
- /36/ Suckfüll, H.: Architecture of a new Line of Digital Switches
ISS, Paris, 1979, Proc.S. 221-228
- /37/ Suter, W.: Die Systemgrundlagen des Integrierten Fernmeldesystems IFS
Techn.Mitt. PTT 9/1977, S. 398-410
- /38/ Tanaka, M.: Nonblocking Switching in Integrated PCM Networks
6.ITC, München, 1970, Proc.S. 477-478
- /39/ Thierer, G.: Die Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit in Linksystemen mit Punkt-Punkt-Markierung
Dissertation, Universität Stuttgart, 1980
- /40/ Tippler, J.: Architecture of System X
Part 1, An Introduction to the System X Family, POEEJ, Vol.72, Oct.79, S.138-141
- /41/ Vaughan, H.E.: An Introduction to No. 4 ESS
ISS, Cambridge, 1972, Proc.S. 19-25
- /42/ Voyer, P., Ballard, M., Ledieu, B.: Réseaux de connexion temporels a grande capacité.
Commutation et Electronique, No.43, Oct.1973

- /43/ Williams, P.: DMS 10 and its Introduction into Analog and Digital Network
ISS, Kyoto, 1976, Proc.S. 1025-1030
- /44/ Wuhrmann, K.E.: System IFS-1, an Integrated PCM Telecommunication System
1972 Zürich Seminar, Proc.S. B3-5
- /45/ Vermittlungstechnik und Verkehrstheorie - Begriffe
NTG-Entwurf 0903 1971
- /46/ Vermittlungstechnik - Begriffe und Systemtechnik
NTG-Entwurf 0902 1972
- /47/ Vorlesung "Nachrichtenvermittlung I+II"
Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart

BEZEICHNUNGEN

A	Verkehrsangebot in Erlang
a	Mittelwert der Ankunftsabstände
α	Ankunftsrate einer Quelle
β	Aufweitungsfaktor eines Koppelvielfachs
B	Verlustwahrscheinlichkeit allgemein
B_{Erl}	Verlustwahrscheinlichkeit des vollkommenen Bündels
B_{PB}	Verlustwahrscheinlichkeit des Bündelverlusts
B_{pp}	Verlustwahrscheinlichkeit des Punktverlustes
B_{int}	Internverlust einer Koppelanordnung
B_r	Verlustwahrscheinlichkeit Bündelverlust in Richtung r
C	Sperrwahrscheinlichkeit
CLIGS	Calculation of loss in Linksystems with Group Selection Verlustberechnungsverfahren für den Bündelverlust
CR	Cost Ratio, Kostenverhältnis zwischen Torschaltung und Speicherbit
DEMUX	Demultiplexer
E	Steuerparameter für GeD und GtD bei der Kostenberechnung
E_{mom}	momentane Blockierungswahrscheinlichkeit
Erl	Erlang, dimensionslose Einheit für den Nachrichtenverkehr, nach A.K. Erlang (1878-1929)
f_i	Frequenz, Einheit Hertz (Hz)
f	Mittelwert der Freizeitdauer einer Quelle
g_i	Zählgröße für die Zahl der Koppelvielfache einer Stufe
GeD	Gemeinsame Durchschaltung
GtD	Getrennte Durchschaltung
h	Mittelwert der Belegungsdauer
h_i	Zählgröße für kommende Multiplexleitungen
HW	Highway, besteht aus zwei Multiplexleitungen, je eine pro Sprechrichtung
Hz	Hertz, Einheit der Frequenz
i	Anzahl der Eingänge je Koppelvielfach
j_i	Zählgröße für gehende Multiplexleitungen

KAn	Koppelanordnung
k	Anzahl der Ausgänge je Koppelvielfach
k_{eff}	effektive Erreichbarkeit
KVf	Koppelvielfach
λ	Ankunftsrate
$\lg j$	Logarithmus dualis der Größe j
M	Zählgröße für die Zahl der Zeitlagen je Multiplexleitung
M^*	Zahl der Zeitlagen je ML nach einer Aufweitung im ZLVf
ML	Multiplexleitung im Zeitvielfach
MUX	Multiplexer
n	Zählgröße für die Leitungszahl eines Bündels
$p(x)$	Zustandswahrscheinlichkeit auf einem Bündel
$P(..)$	Probability, Wahrscheinlichkeit für das Bestehen des in Klammern angegebenen Zustands
P	Steuerparameter für serielle/parallele Durchschaltung bei der Kostenberechnung
P^*	Produkt bei der Kostenminimierung als Randbedingung
PCM	Puls-Code Modulation
PCM 1	Optimierungsverfahren 1
PCM 2	Optimierungsverfahren 2
PCM 3	Optimierungsverfahren 3
PPL	Point-to-Point Loss, Verlustberechnungsverfahren für den Punkt-Punkt Verlust
PPLM	Point-to-Point Loss with Multiple Marking Attempts, Punkt-Punkt Verlust bei mehrfachen Markierversuchen
Q	Steuerparameter der Wegezuteilung bei der Kostenberechnung
q	Zählgröße für die Verkehrsquellen
R	Raumstufe einer PCM Koppelanordnung
RlVf	Raumlagenvielfach, Koppelmatrix für Multiplexleitungen
RVf	Raumvielfach
S	Anzahl der Stufen in einer Koppelanordnung
SSP	Sprachspeicher
StSSP	Steuerspeicher für Sprachspeicher
StTS	Steuerspeicher für Torschaltungen
T	Meßgröße für ein Zeitintervall

TS	Torschaltung
TSPML	Torschaltungen je Multiplexleitung
x	augenblicklicher Belegungszustand in einem KVf
Y	Verkehrsbelastung in Erlang
Z	Zeitstufe einer PCM-Koppelanordnung
ZL	Zeitlage
Z1Vf	Zeitlagenvielfach, Baugruppe zum Umsortieren der ZL innerhalb einer Multiplexleitung
Z(R)	Koppelanordnung, die sowohl eine zeitliche sowie eine räumliche Verschiebung der Zeitlagen gestattet, meist einstufig realisiert durch starke Multiplexbildung
ZV1	Zufallsverkehr erster Art
ZV2	Zufallsverkehr zweiter Art

1. Einleitung

Puls-code modulierte Signale, kurz PCM Signale, werden heute vor allem in der Übertragungstechnik zur Sprachübertragung in verstärktem Maße angewendet. Dies ist im wesentlichen eine Folge der stark sinkenden Kosten der zu ihrer Verarbeitung notwendigen Technologien.

In gleichem Maße in dem die PCM-Übertragungstechnik voranschreitet wird auch die PCM-Vermittlungstechnik eine wirtschaftliche Alternative zu der herkömmlichen Raumvielfachvermittlungstechnik. Dies gilt in naher Zukunft selbst dann, wenn PCM-Vermittlungen in einer "analogen" Umgebung eingesetzt werden sollen.

Die Durchschaltung in einer PCM-Vermittlungsstelle geschieht so, daß die puls-code modulierten Signale der einzelnen Sprechwege, die zur Übertragung zeitlich ineinandergeschachtelt sind, direkt im Zeitvielfach vermittelt werden, also ohne vorherige Demodulation und anschließende erneute Modulation.

Die hierfür notwendigen Koppelanordnungen unterscheiden sich prinzipiell von den bisher benutzten Raumvielfachkoppelanordnungen.

In dieser Arbeit werden zunächst alle möglichen und sinnvollen ein- bis sechsstufigen PCM-Koppelanordnungen vorgestellt. Sie werden mit konjugierter Durchschaltung betrieben, wie dies auch bei vielstufigen Raumvielfach-Koppelanordnungen der Fall ist. Es wird gezeigt, wie die Verlustwahrscheinlichkeit und die Kosten solcher PCM-Koppelanordnungen berechnet werden können. Dies führt zu einem neuen Entwurfsverfahren für PCM-Koppelanordnungen, welches deren Dimensionierung für eine beliebig vorgegebene Verkehrsleistung erlaubt und es ermöglicht, deren hieraus resultierende Kosten im Voraus zu berechnen.

In Kapitel 2. werden die beiden wesentlichen Baugruppen einer PCM-Koppelanordnung, das Raumlagenvielfach für die Raumstufen und das Zeitlagenvielfach für die Zeitstufen in ihrer Funktion vorgestellt.

In Kapitel 3. und Kap.4. wird ein Verfahren entwickelt, mit dem die Verlustwahrscheinlichkeit einer PCM-Koppelanordnung mit Hilfe deren Abbildung auf eine äquivalente Raumvielfachkoppelanordnung berechnet werden kann.

Die Verlustberechnungsverfahren PPL für den Punkt-Punkt-Verlust /22/ und CLIGS für den Bündelverlust /1/ werden vorgestellt und ihre Anwendungsmöglichkeiten für PCM-Koppelanordnungen erläutert. Zur Einstellung einer bestimmten vorgegebenen Punktverlustwahrscheinlichkeit bei vorgegebener Verkehrsbelastung, muß die PCM-Koppelanordnung unter Umständen intern "aufgeweitet" werden, was auf verschiedene Arten geschehen kann. Wirksame Aufweitungsarten werden miteinander verglichen.

In Kap.5. und Kap.6. werden unterschiedliche Durchschalteprinzipien und Wegezuteilungsverfahren für PCM-Koppelanordnungen diskutiert.

Kap.7. enthält die Klassifizierung der untersuchten PCM-Koppelanordnungen. Hier werden alle Koppelanordnungen in ihrer PCM-Struktur zusammen mit deren Abbildung auf äquivalente Raumvielfachsysteme vorgestellt. Es werden Entwurfsregeln hergeleitet, die zur wirtschaftlichen Dimensionierung der einzelnen Strukturtypen dienen.

Kap.8. behandelt ein Verfahren zur Berechnung der normierten Kosten von PCM-Koppelanordnungen, welche sich aus den Kosten für alle Speicherbits und alle Torschaltungen zusammensetzen. Durch Einführung eines normierenden Kostenverhältnisses ist es möglich, die Kosten unabhängig von den veränderlichen realen Tagespreisen der Bauelemente zu berechnen.

Kap.9. beinhaltet umfangreiche Ergebnisdiagramme, welche die standardisierten Kosten, sowie die Größe und die Verkehrsleistung unterschiedlicher PCM-Koppelanordnungen darstellen und miteinander vergleichen.

Es wird ein neues "Entwurfsdiagramm" für PCM-Koppelanordnungen vorgestellt. Dieses Entwurfsdiagramm ermöglicht es dem Entwicklungingenieur, die Struktur einer wirtschaftlichen PCM-Koppelanordnung vorgegebener Größe, Verkehrsbelastung und Verlustwahrscheinlichkeit unmittelbar abzulesen.

Diese Diagramme basieren auf allen in den Kapiteln 3. bis 8. erarbeiteten Dimensionierungsrichtlinien und Berechnungsverfahren. Außerdem ist das in Kap.10. hergeleitete Strukturoptimierungsverfahren vom Typ PCM 1 bereits berücksichtigt.

Kap. 10. leitet Strukturoptimierungsverfahren für PCM-Koppelanordnungen her.

Drei verschiedene Optimierungsverfahren, welche nur die Anzahl an Torschaltungen, oder auch die gesamten Kosten zu einem relativen Minimum führen, werden entwickelt.

Alle drei Verfahren werden ausführlich miteinander verglichen.

2. Elemente von PCM-Koppelanordnungen

Zwei unterschiedliche Typen von Stufen können grundsätzlich in PCM-Koppelanordnungen auftreten, die Raumstufe (R) und die Zeitstufe (Z).

2.1. Die Raumstufe

Die Raumstufe einer PCM-Koppelanordnung besteht aus einer Reihe von Koppelmatrizen für Zeitmultiplexleitungen, die auch als Raumlagenvielfach (RlVf) bezeichnet werden. Eine derartige Matrix zeigt Bild 2.1.

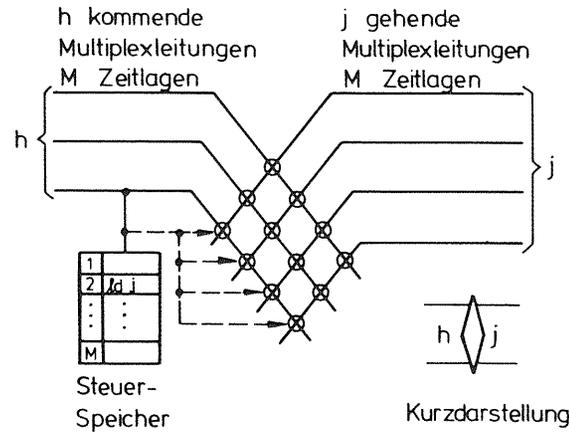


Bild 2.1: Das Raumlagenvielfach

Jede Matrix besitzt h kommende Multiplexleitungen und j gehende Multiplexleitungen, von denen jede M Zeitlagen führt. In Abhängigkeit von der Lage der Raumstufe innerhalb der gesamten Koppelanordnung kann die Zahl der gehenden Multiplexleitungen gleich, größer oder kleiner sein als die der kommenden.

Diese Koppelmatrix gestattet nur die koinzidente Durchschaltung jeder Zeitlage der kommenden Multiplexleitungen zu derselben Zeitlage der gehenden Multiplexleitungen, ein Zeitlagenumstieg ist nicht möglich.

Die Durchschaltung der Abtastwerte geschieht über logische Gatter (Torschaltungen, TS), die sich in den Kreuzungspunkten der Matrix befinden. Insgesamt benötigt man für eine solche Koppelmatrix:

$$h \cdot j \text{ Torschaltungen} \quad (2.1)$$

Das Schließen und Öffnen der Gatter wird von Speicherspeichern (Haltespeichern) gesteuert, vgl. Bild 2.1. Jeder Speicherspeicher muß Steuerinformation für jede Zeitlage bereitstellen.

Drei Steuerungsprinzipien können unterschieden werden:

- Ein Speicherspeicher steuert alle jene Torschaltungen, die von einer kommenden Multiplexleitung aus erreicht werden können. Er besitzt soviel Zellen wie Zeitlagen auf der Multiplexleitung vorhanden sind. Jede Zelle enthält in dual codierter Form die Nummer jenes Tores, das in der zugeordneten Zeitlage zu schließen oder zu öffnen ist, vgl. Bild 2.1. Es ist zu beachten, daß die Anzahl der hierfür notwendigen Speicherspeicherbits durch die nächst größere Dualzahl bestimmt wird ($\lceil \log_2 j \rceil$ nach oben gerundet). Der Aufwand für den Speicherspeicher beträgt bei dieser Realisierung damit insgesamt:

$$h \cdot M \cdot \lceil \log_2 j \rceil \text{ Bit} \quad (2.2)$$

- Ein Speicherspeicher steuert alle jene Torschaltungen, die von einer gehenden Multiplexleitung aus erreicht werden können. Hierbei entspricht die Funktion und die Größe des Speicherspeichers der oben vorgestellten Lösung.

Der gesamte Aufwand für diesen Speicherspeicher beträgt damit:

$$j \cdot M \cdot \lg h \text{ Bit} \quad (2.3)$$

Auch hier ist zu beachten, daß der Logarithmus nach oben zur nächsten ganzen Zahl zu runden ist.

- Jede Torschaltung besitzt einen eigenen Speicherspeicher mit M Zellen zu je einem Bit, vgl. Bild 2.2. Die Steuerinformation in jeder Zelle (0 oder 1) bestimmt, ob das zugeordnete Gatter in der betreffenden Zeitlage zu schließen oder zu öffnen ist. Der gesamte Aufwand für alle Speicherspeicher bei diesem Steuerungsprinzip beträgt damit:

$$h \cdot j \cdot M \cdot 1 \text{ Bit} \quad (2.4)$$

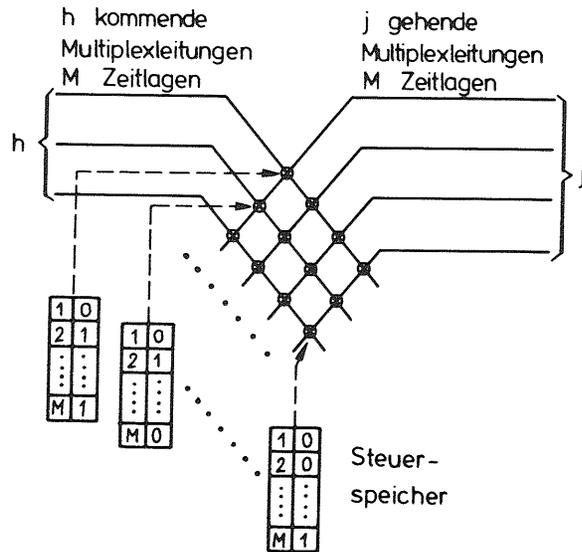


Bild 2.2: Funktion der individuellen Torschaltungssteuerung

Die Gleichungen (2.2 - 2.4) zeigen, daß der Aufwand an Speicherspeicherbits dann am geringsten ist, wenn der Speicherspeicher der Seite der Koppelmatrix zugeordnet wird, in die weniger Multiplexleitungen münden, Lösung 1.

Um die nachfolgenden Bilder zu vereinfachen, wird für eine solche Koppelmatrix eine Kurzdarstellung eingeführt, wie sie in Bild 2.1. dargestellt ist.

Für alle weiteren Überlegungen wird angenommen, daß alle Speicherspeicher immer so eingesetzt sind, daß ein minimaler Kostenaufwand entsteht.

2.2. Die Zeitstufe

Die Zeitstufe besteht aus einer Reihe von Sprachspeichern mit ihren zugehörigen Speicherspeichern; diese Anordnung wird auch als Zeitlagenvielfach (ZlVf) bezeichnet, vgl. Bild 2.3.

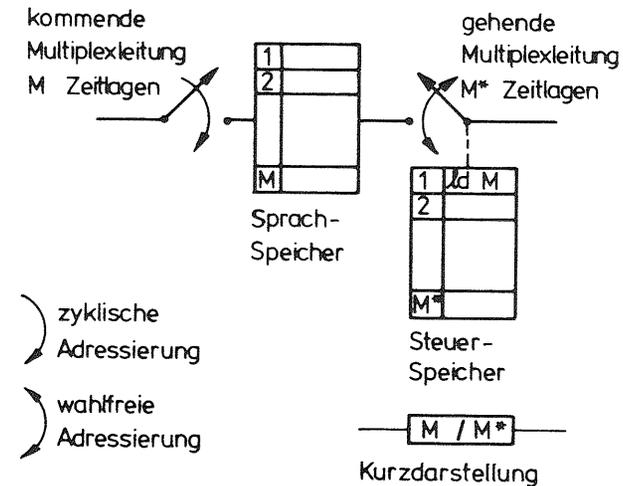


Bild 2.3: Das Zeitlagenvielfach

Das Zeitlagenvielfach erlaubt jede der M Zeitlagen der kommenden Multiplexleitung auf jede der M^* Zeitlagen der gehenden Multiplexleitung zu vermitteln. Je nach Lage der Zeitstufe innerhalb der gesamten Koppelanordnung ist M^* größer, gleich oder kleiner als M.

Die Zeitlagenumsetzung erfolgt mit Hilfe des Sprachspeichers, der die notwendige Steuerinformation vom Speicherspeicher erhält. Das Funktionsprinzip ist so, daß z.B. das Einschreiben in den Sprachspeicher zyklisch erfolgt, gemäß der vom Zeitlagenzähler gelieferten Adresse (vgl. Bild 2.3), das Auslesen hingegen wahlfrei abläuft, mit Hilfe der im Speicherspeicher enthaltenen Information. Die Steuerinformation, die pro Zeitlage bereit - gestellt werden muß, enthält in dual codierter Form die Nummer der Zelle, die in der betreffenden Zeitlage auszulesen ist. Auch hier bestimmt die nächst größere Dualzahl die Anzahl der notwendigen Steuerbits ($\lceil \lg M \rceil$ nach oben gerundet). Der gesamte Aufwand für den Sprachspeicher und den so zugeordneten Speicherspeicher ergibt sich zu:

$$M \cdot 8 \text{ Bit} + M^* \cdot \lceil \lg M \rceil \text{ Bit} \quad (2.5)$$

Die Funktion des Speichers kann auch so sein, daß das Einschreiben wahlfrei erfolgt und das Auslesen zyklisch geschieht. Hierfür ergibt sich dann für Sprach - und Speicherspeicher ein Gesamtaufwand von:

$$M^* \cdot 8 \text{ Bit} + M \cdot \lceil \lg M^* \rceil \text{ Bit} \quad (2.6)$$

Die Gleichungen zeigen, daß der Aufwand der gesamten Anordnung dann am geringsten ist, wenn der Speicherspeicher der Multiplexleitung zugeordnet wird, die mehr Zeitlagen führt. Auch hier sei für die weiteren Überlegungen angenommen, daß die Speicherspeicher so betrieben werden, daß minimale Kosten entstehen. Zur Vereinfachung der weiteren Bilder wird eine Kurzdarstellung eingeführt, die ebenfalls in Bild 2.3. gezeigt ist.

Mit den Elementen Raumstufe und Zeitstufe läßt sich nun eine Vielzahl an Koppelanordnungen entwerfen, die sich in der Abfolge der Raum- und Zeitstufen sowie in ihrer absoluten Stufenzahl unterscheiden. Die in dieser Arbeit im Detail betrachteten Typen von Koppelanordnungen werden in Kap.7. vorgestellt. An dieser Stelle seien zwei dreistufige Anordnungen jedoch schon eingeführt, da sie zur Erklärung der Grundlagen als Beispielstrukturen dienen sollen.

2.3. Beispielstrukturen ZRZ und RZR

Bild 2.4 zeigt die Struktur ZRZ. Die Koppelanordnung besitzt ML_k kommende Multiplexleitungen und ML_g gehende Multiplexleitungen.

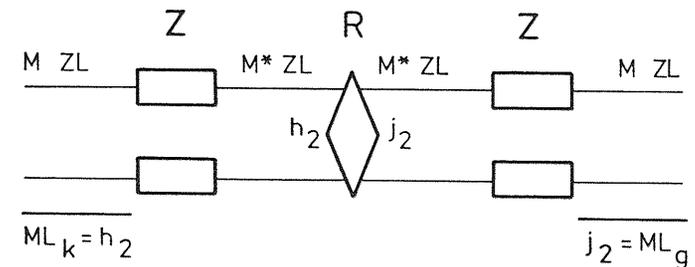


Bild 2.4: Die Koppelanordnung ZRZ

Jede der kommenden und gehenden Multiplexleitungen führt M Zeitlagen. Die Zahl M^* der Zeitlagen auf den internen Multiplexleitungen ist normalerweise größer als M, um eine gewünschte Verlustwahrscheinlichkeit einstellen zu können, vgl. Kap. 4. Die vorgestellte Koppelanordnung besitzt nur eine Koppelmatrix in der mittleren Stufe, in die alle Multiplexleitungen von und zu den Zeitlagenvielfachen führen.

Bild 2.5 zeigt die Struktur RZR. Auch diese Koppelanordnung besitzt ML_k kommende Multiplexleitungen und ML_g gehende.

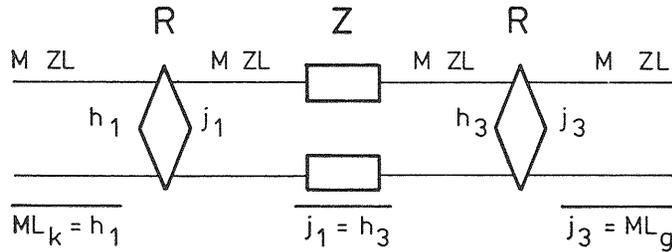


Bild 2.5: Die Koppelanordnung RZR

Die Zahl der Zeitlagen M ist hier gleich für alle Multiplexleitungen, nämlich für kommende, gehende und interne.

Dieser spezielle Typ einer dreistufigen Koppelanordnung hat in der ersten und der letzten Stufe jeweils nur eine einzige Koppelmatrix.

Die Abbildung dieser beiden vorgestellten PCM-Koppelanordnungen auf ihre äquivalenten Raumvielfach-Koppelanordnungen wird im nächsten Kapitel erklärt.

Hieraus ergeben sich dann allgemein gültige Abbildungsregeln.

3. Abbildung von PCM-Koppelanordnungen auf äquivalente Raumvielfach - Koppelanordnungen

Um die Verkehrsgüte von PCM-Koppelanordnungen zu berechnen erweist es sich als vorteilhaft, diese auf äquivalente Raumvielfachsysteme abzubilden, /14/, da hierfür Verlustberechnungsverfahren zur Verfügung stehen.

Zunächst sei die Abbildung der PCM-Struktur ZRZ erklärt.

Bild 3.1 zeigt diese Struktur zusammen mit ihrer äquivalenten Raumvielfachkoppelanordnung.

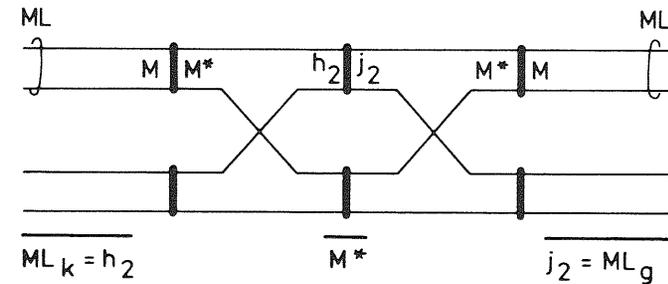
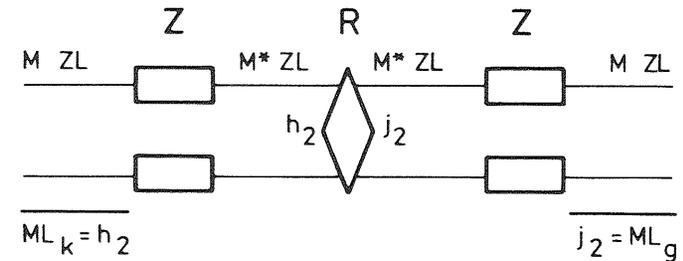


Bild 3.1: Koppelanordnung ZRZ und äquivalentes Raumvielfachsystem

Die folgenden Abbildungsregeln können definiert werden:

- Jeder Sprachspeicher (Zeitlagenvielfach) wird in ein Koppelvielfach abgebildet. Dieses Koppelvielfach 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 je M^* Zeitlagen führen. Jedes Koppelvielfach hat h_2 Eingänge und j_2 Ausgänge.

Die Abbildung der an die Koppelanordnung angeschlossenen Multiplexleitungen ist so, daß das jeder Multiplexleitung entsprechende Bündel mit sovielen Drähten wie Zeitlagen auf der Multiplexleitung vorhanden sind, zu genau einem Koppelvielfach führt. Dies bedeutet, daß jedes abgehende Bündel nur über ein einziges Koppelvielfach der letzten Stufe erreicht werden kann. Wird also eine freie Abnehmerleitung hinter einem Koppelvielfach der letzten Stufe markiert, so genügt es bei der nachfolgenden Wegesuche, alle möglichen Zwischenleitungen zu diesem Zielkoppelvielfach ein einziges Mal zu prüfen. Das für diesen Fall anzuwendende Verlustberechnungsverfahren ist das PPL-Verfahren zur Berechnung des Punktverlusts, vgl. Kap.4. und /22/.

Es ist zu beachten, daß die Verlustwahrscheinlichkeit für einen eintreffenden Ruf in die gewünschte Richtung zum einen von der inneren Blockierung der PCM-Koppelanordnung herrührt, (Punkt-Punkt-Verlust), als auch zum anderen von der Bündelbelastung abhängt, was zu einem Bündelverlust führen kann.

Bild 3.2. zeigt die PCM Struktur RZR zusammen mit ihrer zugehörigen Abbildung ins Raumvielfach. Die gleichen Abbildungsregeln

wie oben gelten, sodaß die Koppelmatrizen der ersten und dritten Stufe je einer Spalte von M Koppelvielfachen entsprechen, da jetzt alle Multiplexleitungen M Zeitlagen führen.

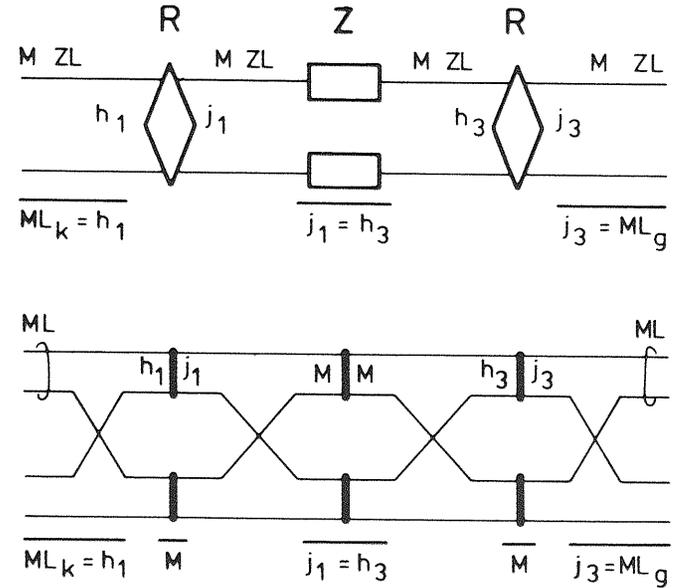


Bild 3.2: Koppelanordnung RZR und äquivalentes Raumvielfachsystem

Die Zahl der Eingänge und Ausgänge dieser Koppelvielfache entspricht der Anzahl der kommenden und gehenden Multiplexleitungen der entsprechenden Koppelmatrix. Den Sprachspeichern der mittleren Stufe entsprechen ebensoviele Koppelvielfache mit M Eingängen und M Ausgängen. Unterschiedlich zur ZRZ Struktur ist die Abbildung der angeschalteten Multiplexleitungen. Das einer Multiplexleitung entsprechende Bündel führt jetzt mit je einer Leitung zu jedem Koppelvielfach der ersten bzw. letzten Stufe.

Im Unterschied zur ZRZ Struktur kann nun jedes weiterführende Bündel (Multiplexleitung) über alle Koppelvielfache der letzten Stufe erreicht werden.

Dies bedeutet, daß unterschiedliche Markierverfahren und damit auch Verlustberechnungsverfahren angewendet werden können.

Wird mit einfacher Punktmarkierung gearbeitet, so gilt weiterhin das PPL Verfahren /22/; es kann Punktmarkierung mit mehreren Versuchen ausgeführt werden, dann ist das PPLM Verfahren zu benutzen /23/; wird schließlich Bündelmarkierung angewendet, so gilt das Verfahren CLIGS /1/.

Die Anwendung der Bündelwahl wird bei sonst gleichen Eigenschaften und Verkehrsparametern der Koppelanordnung immer zu kleineren Verlusten führen; der Aufwand für die Wegesuche ist jedoch größer. Die Grundgedanken der oben erwähnten Verfahren werden im nächsten Kapitel vorgestellt.

Die äquivalenten Raumvielfachsysteme der PCM-Strukturen mit mehr als drei Stufen werden in Kapitel 7. zusammen mit der jeweiligen Struktur gezeigt.

4. Verlustberechnungsverfahren

Die in diesem Kapitel vorgestellten Verlustberechnungsverfahren erlauben es, den Punkt-zu-Punktverlust (kurz Punktverlust) sowie den Punkt-zu-Bündelverlust (kurz Bündelverlust) in Linksystemen zu berechnen.

Zum besseren Verständnis der Berechnungsverfahren seien zunächst einige allgemeine Definitionen vorangestellt.

4.1. Markierungsverfahren

Linksysteme können mit verschiedenen Markierverfahren betrieben werden, d.h. die Art und Weise wie ein auf einer freien Leitung eintreffender Ruf zum gewünschten Zielbündel durchgeschaltet wird, kann unterschiedlich sein.

Zwei Markierverfahren seien hier unterschieden.

4.1.1. Die Punkt-Punkt Markierung

Bild 4.1. zeigt den Verbindungsgraphen eines zweiseitigen dreistufigen Linksystems, das mit Punkt-Punkt Markierung betrieben wird. Der Verbindungsgraph umfaßt alle jene Zwischenleitungen, die zur Herstellung einer Verbindung vom Startkoppelvielfach ins Zielkoppelvielfach benutzt werden können, unabhängig vom augenblicklichen Belegungszustand.

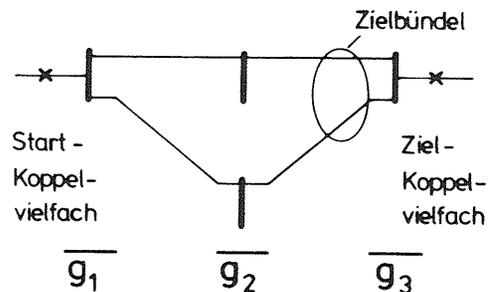


Bild 4.1: Verbindungsgraph eines zweiseitigen dreistufigen Linksystems für Punkt-Punkt Markierung

Trifft ein Ruf auf einer freien Leitung des "Startkoppelvielfachs" ein, so wird in einem ersten Schritt eine freie Abnehmerleitung des gewünschten Bündels und damit ein "Zielkoppelvielfach" bestimmt.

In einem zweiten Schritt werden dann alle möglichen Verbindungswege vom Startkoppelvielfach zum Zielkoppelvielfach auf ihren Belegungszustand hin geprüft und im Falle eines frei gefundenen Weges belegt.

Alle diejenigen Leitungen, die in das Zielkoppelvielfach führen, bilden das sogenannte "Zielbündel". Um die a priori freie Abnehmerleitung belegen zu können genügt es, eine freie Verbindung vom Startkoppelvielfach in das gewünschte Zielbündel zu finden.

4.1.2. Die Punkt-Bündel Markierung

Bild 4.2. zeigt den Verbindungsgraphen eines zweiseitigen dreistufigen Linksystems für Punkt-Bündel Markierung.

Trifft ein Ruf auf einer freien Eingangsleitung des Startkoppelvielfachs ein, so wird in einem ersten Schritt das gewünschte abgehende Bündel markiert.

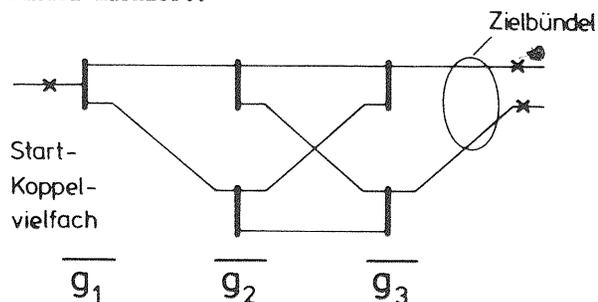


Bild 4.2: Verbindungsgraph eines zweiseitigen dreistufigen Linksystems für Punkt-Bündel Markierung

In einem zweiten Schritt werden alle möglichen Verbindungen vom Startkoppelvielfach über alle Koppelvielfache der dritten und letzten Stufe zu allen freien Leitungen des abgehenden Bündels geprüft.

4.2. Bündelanschlaltung hinter der letzten Stufe

Vergleicht man die in 4.1. vorgestellten Verbindungsgraphen mit den äquivalenten Raumvielfachabbildungen der beiden vorgestellten dreistufigen PCM Koppelanordnungen aus Kap.3., so gilt für die Bündelanschlaltung in der letzten Stufe:

- Handelt es sich bei der letzten Stufe um eine Zeit-Stufe, so ist das der PCM Multiplexleitung entsprechende Abnehmerbündel an einem Koppelvielfach angeschlossen. Die logische Folgerung aus dieser Anschaltung ist, daß die Punkt-Punkt Markierung mit einem Versuch, die einzig mögliche Markierungsart darstellt. Umfaßt das betrachtete Abnehmerbündel zwei oder mehr Multiplexleitungen, so sind weitere Punkt-Punkt Markierungsversuche zu den betreffenden Koppelvielfachen der letzten Stufe möglich.
- Handelt es sich bei der letzten Stufe um eine Raum-Stufe, so entspricht die Bündelanschlaltung dem Verbindungsgraphen aus Bild 4.2., d.h. je eine Leitung des Bündels kann über je ein Koppelvielfach der letzten Stufe erreicht werden. Damit ergibt sich die Punkt-Bündel Markierung als mögliche Markierungsart. Selbstverständlich kann diese Bündelanschlaltung gemäß Bild 3.2. auch mit einfacher oder mehrfacher Punktmarkierung betrieben werden, was allerdings die Verlustwahrscheinlichkeit erhöht.

4.3. Definition der Verkehrsarten

Für die Verlustberechnungsverfahren ist es von großer Bedeutung, welche Art von Verkehr den angeschlossenen Bündeln angeboten wird. Die hier kurz beschriebenen mathematischen Modelle haben sich als gute Näherungen für das reale Verkehrsgeschehen in Vermittlungssystemen erwiesen.

4.3.1. Zufallsverkehr 1. Art

Zufallsverkehr 1. Art (ZV1) kann folgendermaßen beschrieben werden:

Für den Ankunftsprozeß gilt, daß eine Zahl q an Verkehrsquellen angenommen wird, die sehr groß ist gegenüber der Zahl n an Leitungen in dem betrachteten Bündel. Sie erzeugen ein Verkehrsangebot mit konstanter Rate λ . Die Ankunftsabstände T_a sind negativ exponentiell um den Mittelwert a = 1/λ verteilt und unabhängig von der (vernachlässigbar kleinen) Zahl belegter Quellen. Ein solcher Prozeß wird auch als Poisson Prozeß bezeichnet.

P (T_A ≤ t) = 1 - e^{-t/a} (4.1)

Für die Dauer der einzelnen Belegungen wird als Modellvorstellung vorausgesetzt, daß die Wahrscheinlichkeitsdichte für das Endigen einer Bedienung konstant ist und unabhängig davon, wie lange diese Belegung schon bestanden hat (Markoff Eigenschaft). Daraus folgt, daß die Belegungsdauern T_h dann negativ exponentiell um ihren Mittelwert h = 1/ξ verteilt sind.

P (T_H ≤ t) = 1 - e^{-t/h} (4.2)

Für Zufallsverkehr 1. Art ist das Verkehrsangebot definiert als

A = λ · h (4.3)

Von einem "abgeschnittenen Zufallsverkehr" erster Art spricht man dann, wenn die Ankunftsrate λ solange konstant bleibt, als noch mindestens eine Zubringer-Leitung aus z frei ist, aber zu Null wird, wenn alle Zubringer-Leitungen belegt sind.

λ = constant für z > 0 Leitungen frei
λ = 0 für z = 0 Leitungen frei.

4.3.2. Zufallsverkehr 2. Art

Zufallsverkehr zweiter Art (ZV2) kann folgendermaßen beschrieben werden:

Die Zahl q an der Verkehrsquellen liegt in der Größenordnung der Leitungszahl n des Bündels. Dies bedeutet, daß die Ankunftsrate von der Zahl momentan noch freier Quellen abhängig ist. Jede freie Quelle hat die konstante Anrufrate α ; die Freizeitdauern T_f jeder einzelnen Quelle sind negativ exponentiell um den Mittelwert f = 1/α verteilt (f sei für alle Quellen gleich groß).

P (T_F ≤ t) = 1 - e^{-t/f} (4.4)

Der Bedienungsprozeß mit der mittleren Belegungszeit h und negativ exponentiell verteilten Bedienungsdauern, siehe Gl. (4.2), entspricht dem oben vorgestellten.

4.4. Grundgedanken der Verlustberechnungsverfahren für Punkt- und Punkt-Bündel Markierung v11

Grundgedanke beider Verlustberechnungsverfahren ist es, für das betrachtete Linksystme eine sogenannte "effektive Erreichbarkeit" zu bestimmen, mit deren Hilfe es dann auf eine einstufige Koppelanordnung abgebildet werden kann. Die zu bestimmende effektive Erreichbarkeit k_{eff} wird als die Erreichbarkeit k jener einstufigen Koppelanordnung (Mischung) definiert, die bei gleicher Größe des Abnehmerbündels und gleicher Verkehrsbelastung dieselbe Verlustwahrscheinlichkeit hat.

Zur Erreichbarkeit einer einstufigen Koppelanordnung (Mischung) zählen nicht nur jene von einer betrachteten Zubringerteilgruppe erreichbaren Abnehmerleitungen, die momentan frei sind, sondern auch jene, die zwar augenblicklich belegt sind, jedoch im Moment ihres Freiwerdens von der betrachteten Zubringerteilgruppe her neu belegt werden können.

Bild 4.3 zeigt das Funktionsprinzip einer einstufigen Koppelanordnung mit Mischung. Trifft ein Ruf über eine der $g = 4$ Zubringerteilgruppen ein, so kann er im gezeigten Beispiel $k = 3$ Leitungen von 4 möglichen auf ihren Belegzustand prüfen.

Die "Erreichbarkeit" ist in diesem Fall $k = 3$.

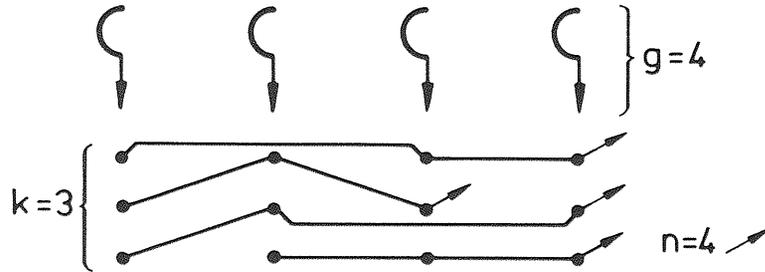


Bild 4.3: Einstufige Koppelanordnung mit Mischung

Überträgt man dieses Funktionsprinzip auf die effektive Erreichbarkeit bei Linkssystemen, so lässt sich diese Größe aus zwei Anteilen zusammensetzen.

- Jene Leitungen des Zielbündels tragen zur effektiven Erreichbarkeit bei, die von einem ankommenden Ruf über freie Zwischenleitungen auf frei oder belegt geprüft werden können.
- Ferner tragen jene Leitungen des Zielbündels bei, die obzwar momentan belegt, im Augenblick ihres Freiwerdens vom betrachteten Startkoppelvielfach aus über freigewordenen Zwischenleitungen ebenfalls neu belegt werden könnten.

Die effektive Erreichbarkeit hängt außer von der Struktur des Linksystems in erster Linie noch ab von der momentanen Belegung des Startkoppelvielfachs sowie von der Verkehrsbelastung der Zwischenleitungen.

In /39/ ist die Herleitung und Berechnung der effektiven Erreichbarkeit für Koppelanordnungen mit $S = 3$ bis 8 Stufen ausführlich dargestellt.

In /1/ ist die Berechnung der effektiven Erreichbarkeit für den Fall der Bündelwahl abgeleitet.

4.5. Berechnung der Sperrwahrscheinlichkeit

Bei der Verlustberechnung einstufiger Koppelanordnungen ist u.a. auch die Kenntnis der Sperrwahrscheinlichkeit $C(x)$ notwendig, vgl./47/. Sie gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Ruf keine freie Abnehmerleitung des Bündels findet, weil die k von ihm erreichbaren Leitungen im Augenblick alle belegt sind. Die Berechnung der Sperrwahrscheinlichkeit für Punkt-Punkt und Punkt-Bündel Markierung verläuft prinzipiell gleich. Sie sei für den Fall der Punkt-Punkt Markierung abgeleitet.

Betrachtet man ein Zielkoppelvielfach der Stufe S , so bezeichnet man die i_s Leitungen, die von der vorletzten zur letzten Stufe führen, als "Zielbündel", vgl. Bild 4.1.

Um das Zielkoppelvielfach zu erreichen muß wenigstens eine dieser i_s Leitungen vom Startkoppelvielfach her erreichbar sein.

Das Zielkoppelvielfach ist in Bild 4.4. im Detail gezeichnet.

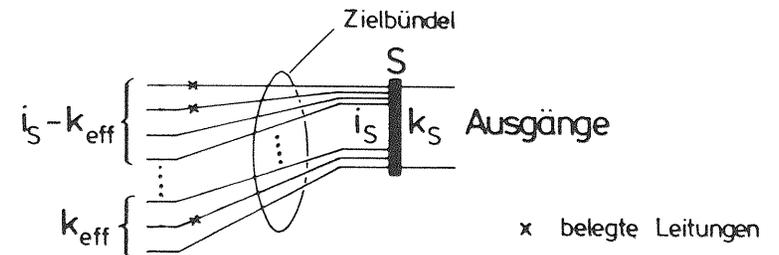


Bild 4.4: Zielkoppelvielfach der Stufe s

Im gezeigten Zielkoppelvielfach seien augenblicklich x_s Leitungen belegt und durch Kreuze markiert. Eine Durchschaltung wird dann nicht möglich sein, wenn jene k_{eff} Leitungen, die vom Start-

koppelvielfach her erreichbar sind, nur auf alle oder einen Teil dieser x_s belegten Leitungen treffen.

Im folgenden wird als Näherung angenommen, daß alle Zustands - muster von x belegten Leitungen auf insgesamt i_s Eingangslei - tungen des Zielkoppelvielfachs gleichwahrscheinlich auftreten. Betrachtet sei nun ein "Sperrfall".

Solange $x_s > k_{eff}$ ist, können sich die nicht an der Sperrung beteiligten $(x_s - k_{eff})$ Belegungen auf den verbleibenden $(i_s - k_{eff})$ Leitungen auf

$$\binom{i_s - k_{eff}}{x_s - k_{eff}}$$

Arten verteilen.

Insgesamt können die x_s Belegungen $\binom{i_s}{x_s}$ Muster im Zielbündel bilden.

Unter der Annahme, daß alle Muster eines Belegungs Zustandes x_s im Zielbündel gleich wahrscheinlich sind, gilt für die Sperrwahrscheinlichkeit:

$$C(x_s, k_{eff}) = \frac{\binom{i_s - k_{eff}}{x_s - k_{eff}}}{\binom{i_s}{x_s}} \quad (4.5)$$

Bei der Berechnung dieser Sperrwahrscheinlichkeit ist allerdings zu beachten, daß die effektive Erreichbarkeit k_{eff} auf zwei Arten berechnet werden kann, vgl./1,22/. Eine vereinfachte, für die manuelle Berechnung geeignete Version berücksichtigt nur die mittlere Gleichzeitigkeit Y_1 im Startkoppelvielfach. Eine genauere Lösung berücksichtigt die momentane Gleichzeitigkeit x_1 und deren Wahrscheinlichkeitsverteilung $p(x_1)$. Diese zweite Lösung wird nachstehend benutzt.

4.6. Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit Bpp bei Punkt-Punkt-Markierung

Der Punkt-Punkt-Verlust, kurz Punktverlust, kann folgendermaßen definiert werden, vgl /22/.

- Ein auf einer freien Eingangs-Leitung eintreffender Ruf gilt dann als verloren, wenn kein freier Weg vom Startkoppelvielfach durch das Linksystem zu der bereits (a priori) markierten freien Abnehmerleitung gefunden werden kann.

Zur Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit sei zunächst eine momentane Blockierungswahrscheinlichkeit $E_{mom}(x_1)$ eingeführt. Sie stellt die gewichtete Summe aller Sperrwahrscheinlichkeiten im Zielbündel als Funktion von x_1 dar.

$$E_{mom}(x_1) = \frac{\sum_{x_s=0}^{k_s-1} p(x_s) \cdot C(x_s, k_{eff}(x_1))}{\sum_{x_s=0}^{k_s-1} p(x_s)} \quad (4.6) \quad i_s \geq k_s$$

Die Summation läuft nur bis zur oberen Grenze k_s-1 unter der Voraussetzung $i_s \geq k_s$. Wären alle k_s Leitungen belegt, so könnte das betrachtete Koppelvielfach nicht als Zielkoppelvielfach markiert werden.

Die Zustandswahrscheinlichkeit $p(x_s)$ im Zielkoppelvielfach ist abhängig von der Art und Weise der Bündelanschaltung.

Ist die letzte Stufe der Koppelanordnung eine Zeitstufe, so ergibt sich in der äquivalenten Raumvielfachdarstellung eine Bündelanschaltung wie sie in Bild 4.5. gezeigt ist.

Alle n_r Leitungen eines Abnehmer-Bündels sind gemeinsam an dasselbe Koppelvielfach der letzten Stufe angeschlossen.

In guter Näherung kann man davon ausgehen, daß sich im Abnehmerbündel eine "Erlang-Verteilung" ausbildet (diese Annahme gilt streng, wenn das Abnehmerbündel vollkommen erreichbar ist (Bpp \rightarrow 0) und ZV1 zugrunde liegt).

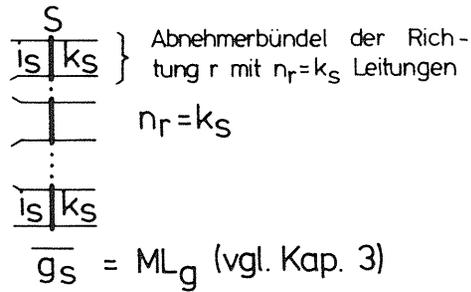


Bild 4.5: Bündelanschaltung bei einer Zeitstufe als letzter Stufe (dargestellt als äquivalente Raumvielfach-Stufe)

Für die Erlang-Verteilung gilt:

$$p(x_s) = \frac{A_o^{x_s} / x_s!}{\sum_{j=0}^{k_s} A_o^j / j!} \quad x_s = 0, \dots, k_s \quad (4.7)$$

A_o muß iterativ so bestimmt werden, daß die vorgeschriebene Belastung Y_r im Abnehmerbündel entsteht/1,22/.

$$\sum_0^{k_s} x_s p(x_s) = Y_s \quad (4.8)$$

Ist die letzte Stufe der PCM-Koppelanordnung eine Raumstufe, so ergibt sich eine Bündelanschaltung wie sie in Bild 4.6. gezeigt ist.

Bei dieser Anschaltung ist an jedem Koppelvielfach genau eine Leitung des gewünschten Zielbündels angeschlossen.

Mit guter Näherung kann deshalb angenommen werden, daß die Belegungen der Leitungen eines Koppelvielfaches der letzten Stufe voneinander statistisch unabhängig auftreten.

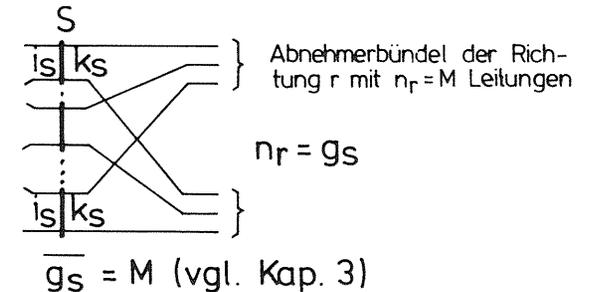


Bild 4.6: Bündelanschaltung bei einer PCM Raum-Stufe als letzter Stufe (dargestellt als äquivalente Raumvielfach-Stufe)

Als gute Näherung für die resultierende Belegungswahrscheinlichkeit des Zielkoppelvielfaches kann deshalb eine Bernoulli-Verteilung angenommen werden,/22/.

$$p(x_s) = \binom{k_s}{x_s} \left(\frac{Y_s}{k_s} \right)^{x_s} \left(1 - \frac{Y_s}{k_s} \right)^{k_s - x_s} \quad (4.9)$$

$$x_s = 0, \dots, k_s$$

Die Verlustwahrscheinlichkeit für den Punktverlust Bpp ergibt sich schließlich für beide Fälle (Gl. 4.7 bzw. 4.9) durch eine weitere gewichtete Summation der momentanen Blockierungswahrscheinlichkeiten.

$$B_{pp} = \sum_{x_1=0}^{i_1-1} \frac{p(x_1)}{1 - p(i_1)} E_{mom}(x_1) \quad (4.10)$$

Auch hier läuft die Summation von x_1 nur bis i_1-1 , da noch mindestens eine Leitung im Startkoppelvielfach frei sein muß, damit ein Ruf eintreffen kann.

Diese hier angegebene Formel gilt für "abgeschnittenen" Zufallsverkehr erster Art mit der Randbedingung $i_1 \leq k_1, i_s \geq k_s$.

Die entsprechenden Formeln für ZV2 können in /22/ gefunden werden.

In der vorliegenden Arbeit wird bei der Berechnung des Punktverlustes immer von der obigen Definition ausgegangen, d.h. nur die Verluste infolge innerer Blockierung der Koppelanordnung werden betrachtet, doch nicht die zusätzlichen Verluste, die entstehen, wenn Anrufe eintreffen, während das Abnehmerbündel voll belegt ist.

Der Punktverlust (bei nur einem Markierversuch) ist eine Funktion der Struktur der Koppelanordnung, deren gesamter Verkehrsbelastung und der angebotenen Verkehrsart ZV1 bzw. ZV2. Er hängt nicht ab von der Größe und der Belastung des betrachteten Abnehmerbündels.

4.7. Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit bei mehrfacher Punkt-Punkt Markierung

Mehrfache Punkt-Punkt Markierung ist nur bei einer Bündelanschaltung gemäß Bild 4.6. möglich und sinnvoll. Mehrfache Punkt-Punkt Markierung wird die Verlustwahrscheinlichkeit reduzieren, da die Zahl der möglichen belegbaren Zwischenleitungen stark ansteigt. Auch hier wurde ein Rechenverfahren entwickelt, das Verfahren PPLM, das in /23/ ausführlich beschrieben ist.

4.8. Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit bei Punkt-Bündel Markierung

Zur interessierenden Verlustwahrscheinlichkeit zählen grundsätzlich bei der Punkt-Bündel Markierung:

- die Fälle, in denen kein freier Weg durch das System gefunden werden kann (Verlust wegen innerer Blockierung),
- alle die Fälle, in denen das betrachtete Zielbündel voll belegt ist (Verlust wegen Bündelblockierung).

Das Berechnungsverfahren CLIGS B /1/ liefert als Ergebnis für den Punkt-Bündelverlust in Richtung r:

$$B_{PB} = \sum_{x_1=0}^{i_1-1} E_{\text{mom},r}(x_1) \frac{p(x_1)}{1-p(i_1)} \quad (4.11)$$

Die in (4.11) enthaltene momentane Blockierungswahrscheinlichkeit in Richtung r berechnet sich folgendermaßen:

$$E_{\text{mom},r}(x_1) = \sum_{x_r=0}^{n_r} p(x_r) C(x_r, k_{\text{eff},r}(x_1)) \quad (4.12)$$

Dieser Ausdruck gilt für die nachstehend untersuchten Strukturen von PCM-Koppelanordnungen mit angebotenem ZV1.

Verlustberechnungsformeln für Systeme mit Konzentration oder für Zufallsverkehr 2. Art können in /1/ gefunden werden. Die Berechnung der für die Sperrwahrscheinlichkeit gemäß Gleichung (4.5.) notwendigen effektiven Erreichbarkeit in Richtung r ist ebenfalls in /1/ ausgeführt.

Für die Zustandswahrscheinlichkeit $p(x_r)$ im interessierenden Zielbündel wird eine Erlangverteilung auf den n Leitungen des Bündels angenommen.

$$p(x_r) = \frac{A_0^{x_r} / x_r!}{\sum_{j=0}^n A_0^j / j!} \quad x_r = 0, \dots, n \quad (4.13)$$

A_0 ist iterativ so zu bestimmen, daß sich auf dem Zielbündel die vorgeschriebene Belastung Y_r ergibt, vgl. Gl.(4.8).

Die Summation der momentanen Blockierungswahrscheinlichkeit in Gleichung (4.12) läuft bis zur Größe n_r , was bedeutet, daß in diesem Fall alle Leitungen des Bündels belegt sein können. Der sich hieraus ergebende Verlust B_{PB} kann damit so interpretiert werden, daß ein Anteil aus dem Verlust infolge innerer Blockierung des System herrührt (Internverlust B_{int}) und ein zweiter anderer Anteil aus dem Verlust infolge Bündelblockierung folgt (B_{Erl}).

$$B_{PB} = B_{\text{Erl}} + (1 - B_{\text{Erl}}) B_{\text{int}} \quad (4.14)$$

Will man die internen Verkehrshemmungen einer Koppelanordnung im Falle des Betriebs mit Punkt-Punkt Markierung bzw. Punkt-Bündel Markierung miteinander vergleichen, so muß auch der Internverlust-Anteil des Punkt-Bündel-Verlustes betrachtet werden. Er ergibt sich aus (4.14) zu:

$$B_{int} = \frac{B_{PB} - B_{Erl}}{1 - B_{Erl}} \quad (4.15)$$

4.9. Aufweitung von PCM-Koppelanordnungen

Nachdem in den vorhergehenden Abschnitten die Verlustberechnungsverfahren in ihren Grundzügen vorgestellt wurden, sei nun gezeigt, wie sich in PCM-Koppelanordnungen eine gewünschte Verlustwahrscheinlichkeit B_{pp} für eine vorgegebene Verkehrsbelastung Y einstellen läßt.

Zum Erreichen einer bestimmten Verlustwahrscheinlichkeit ist es u.U. notwendig, einer Koppelanordnung mehr interne Zwischenleitungen zur Verfügung zu stellen, als Durchgangverbindungen maximal herstellbar sind. Man nennt dieses Vorgehen "Aufweiten".

Es gibt Systeme, sogenannte Clossche Strukturen, vgl. /9/, die durch eine Aufweitung um fast den Faktor zwei blockierungsfrei gemacht werden können. Solche Strukturen werden später als Sonderfall betrachtet.

Von herkömmlichen Raumvielfach-Linksystemen ist bekannt, daß die wirksamste und zugleich kostengünstigste Aufweitung folgendermaßen vorgenommen werden sollte:

- die Aufweitung erfolgt immer in der ersten Stufe, $k_1 \geq i_1$
- die Durchschaltung in allen Zwischenstufen erfolgt 1:1,
- die zur Aufweitung korrespondierende Konzentration erfolgt in der letzten Stufe $i_s:k_s = k_1:i_1$.

Bild 4.7 zeigt als Beispiel ein solches aufgeweitetes dreistufiges System, das so realisiert wurde, daß für einen

gegebenen Verkehr von 0.8 Erlang je Eingangsleitung sich ein Punkt-Punkt Verlust von 0.1% einstellt.

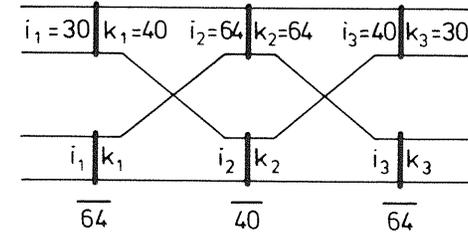


Bild 4.7: Aufgeweitetes dreistufiges Linksystem
 $Y/n = 0.8 \text{ Erl}, B_{pp} = 0.1\%$

Dieses Prinzip einer Aufweitung in der ersten Stufe, einer entsprechenden Konzentration in der letzten Stufe und einer 1:1 Durchschaltung in allen Zwischenstufen wird für alle betrachteten PCM-Koppelanordnungen zugrundegelegt.

In den folgenden Abschnitten wird gezeigt, wie sich eine Aufweitung in PCM-Koppelanordnungen realisieren läßt.

4.9.1. Aufweitung einer Zeitstufe durch Takterhöhung

Wie in Kap.3 gezeigt, ergibt die Abbildung eines Zeitlagenvielfachs ein äquivalentes Raumvielfach, bei dem die Zahl der Eingänge und Ausgänge der Zahl der Zeitlagen auf den Multiplexleitungen entspricht. Eine Aufweitung in der räumlichen Abbildung bedeutet, daß die Zahl der Ausgänge je Koppelvielfach in Stufe 1 größer ist als die Zahl der Eingänge. Im realen PCM-System bedeutet dies, daß die Zahl der internen Zeitlagen zu erhöhen ist.

Dies kann z.B. so geschehen, daß die Koppelanordnung zwischen der ersten und letzten Zeitstufe mit einem höheren Takt betrieben wird, als er auf den kommenden und gehenden Multiplexleitungen herrscht. Behält man dann innerhalb der Koppelanordnung die Zeit für einen Rahmen bei, z.B. 125 µsec, so stehen innerhalb dieses Rahmens intern mehr Zeitlagen zur Verfügung als extern.

Die Realisierung der Aufweitung durch interne Takterhöhung kann z.B. so geschehen wie in Bild 4.8 gezeigt.

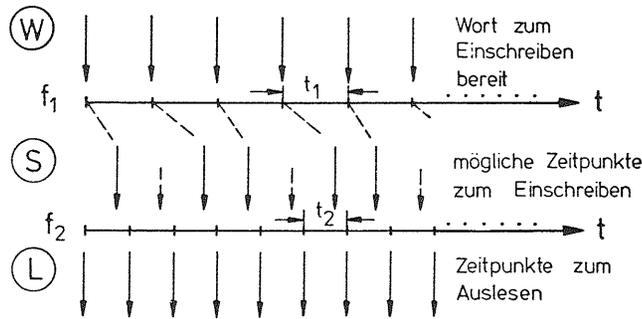
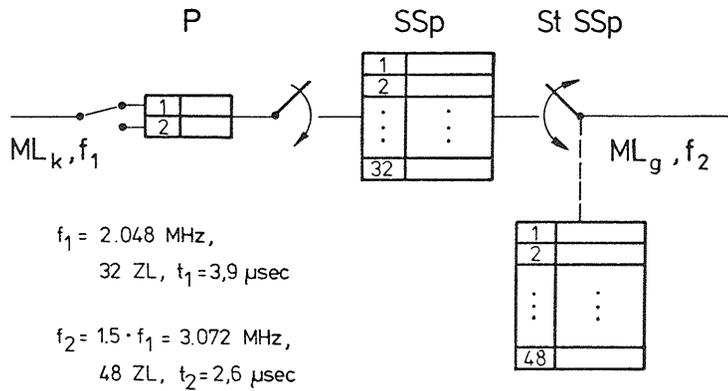


Bild 4.8: Beispiel für die Aufweitung durch interne Takterhöhung

Es wird angenommen, daß die kommende Multiplexleitung ML_k mit der Frequenz f_1 betrieben wird, dies sind z.B. 2.048 MHz bei 32 Zeitlagen und einer Rahmendauer von 125 µsec für PCM 30/32. Innerhalb der Koppelanordnung soll nun eine Aufweitung um den Faktor 1.5 realisiert werden, d.h. die Frequenz f_2 wird zu 3.072 MHz und die Zahl interner Zeitlagen bei gleicher Rahmenlänge zu 48.

Im unteren Teil des Bildes ist diese Taktbeziehung dargestellt. Um richtige Funktion zu gewährleisten muß zu Beginn jeder internen Zeitlage das wahlfreie Auslesen einer beliebigen Speicherzelle möglich sein; dies ist im Bild durch Pfeile mit dem Buchstaben L dargestellt. Weiterhin steht am Ende jeder externen Zeitlage ein Wort zur Verfügung, das zyklisch in den Sprachspeicher eingelesen werden muß, Pfeile mit dem Buchstaben W. Das Einschreiben dieser Worte muß mit dem internen Takt erfolgen, wobei sich aufgrund der Zeitlagenverschiebung gegeneinander die Verweildauer des angekommenen Wortes im Pufferspeicher P vor dem Sprachspeicher ändert.

Das Beispiel zeigt, daß nicht zu jeder möglichen Schreibphase ein angekommenes Wort zur Verfügung steht, daß aber auch nicht jedes angekommene Wort sofort eingeschrieben werden kann. Um zu vermeiden, daß nachfolgende Worte verloren gehen, muß der Pufferspeicher als Wechsellager mit 2 Speicherzellen ausgebildet werden, d.h. wenn in die eine Zelle geschrieben wird, wird die andere ausgelesen und umgekehrt.

Die ständige Zeitlagenverschiebung zwischen internen und externen Zeitlagen erfordert sorgfältige Überlegung bei der Realisierung, um sichere Funktion zu gewährleisten.

Ist es aus irgendeinem Grund nicht möglich oder auch nicht erwünscht, den internen Takt zu erhöhen, so kann durch eine Multiplexbildung vor der Koppelanordnung ebenfalls eine Aufweitung erreicht werden.

4.9.2. Aufweitung einer Koppelanordnung durch Multiplexbildung

Soll der Takt innerhalb der Koppelanordnung gegenüber dem äußeren Takt nicht verändert werden, so kann durch eine passende Multiplexbildung vor der Koppelanordnung erreicht werden, daß die Zahl der belegten Zeitlagen einer zur Koppelanordnung führenden Multiplexleitung verringert wird.

Multiplexbildung bedeutet in diesem Fall:

Die Zeitlagen einer bestimmten Anzahl von Multiplexleitungen wer-

den durch feste Zuordnung (Multiplexbildung) auf eine größere Zahl von Multiplexleitungen verteilt.

Bild 4.9 zeigt die prinzipielle Vorgehensweise.

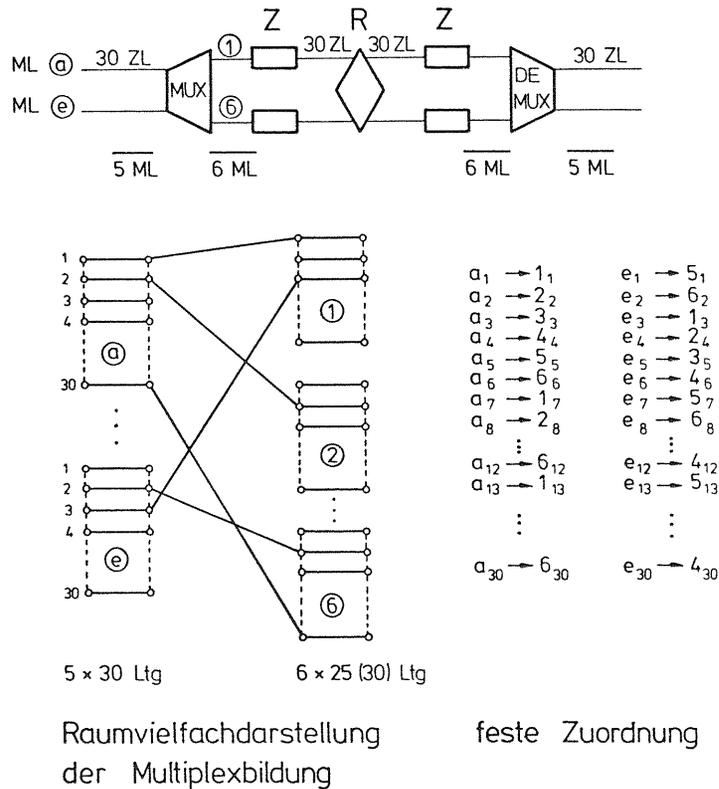


Bild 4.9: Beispiel für die Aufweitung durch Multiplexbildung

Das gewählte Beispiel zeigt, wie insgesamt 150 Zeitkanäle von 5 Multiplexleitungen auf 6 Multiplexleitungen durch feste Zuordnung verteilt werden; jede der weiterführenden Multiplexleitungen trägt als Ergebnis nurmehr 25 belegbare Zeitkanäle, von 30 vorhandenen, je 5 aus jeder kommenden ML.

Es ist zu beachten, daß beide Multiplexleitungen, links und rechts des Multiplexers vom gleichen Typ sind, z.B. PCM 30/32 Systeme, und mit der gleichen Taktfrequenz betrieben werden. Die äquivalente Raumvielfachdarstellung der ersten Stufe der Koppelanordnung, die in diesem Fall eine Zeitstufe ist, besteht damit aus Koppelvielfachen der Größe 25/30, was einer Aufweitung von 1.2 entspricht.

Es ist zu beachten, daß diese Art der Aufweitung nur in ganz bestimmten Schritten möglich ist, da der Quotient "Zahl aller Kanäle/Zahl weiterführenden Multiplexleitungen" ganzzahlig sein muß.

Diese Art der Aufweitung bietet eine weitere Besonderheit. Hinter der letzten Stufe muß eine entsprechende Demultiplexbildung durchgeführt werden. Damit ergibt sich zwangsläufig, daß die Zeitkanäle, die schließlich eine weiterführende Multiplexleitung bilden, von mehreren Zeitlagenvielfachen der letzten Stufe herühren, wobei meistens mehrere Leitungen von demselben Koppelvielfach kommen. Für die Markierung eröffnet sich damit die Möglichkeit der mehrfachen Punktmarkierung oder sogar der Bündelmarkierung, wenn diese Multiplexstufe in der Wegesuche entsprechend berücksichtigt wird.

4.9.3. Aufweitung einer Raumstufe

Die Aufweitung einer Raumstufe entspricht vollkommen der Aufweitung in Raumvielfachsystemen. Um die Koppelvielfache der ersten Stufe aufzuweiten genügt es, die Zahl der die Koppelmatrix verlassenden Multiplexleitungen gegenüber der Zahl der ankommenden zu erhöhen. Bild 4.10 zeigt dieses Vorgehen an einem Zahlenbeispiel.

4.9.4. Aufweitung durch Parallelschaltung zweier identischer Koppelnetze

Aufweitung durch Parallelschaltung zweier identischer Koppelnetze bedeutet, daß die Aufweitung nur in ganzzahligen Verhältnissen möglich ist.

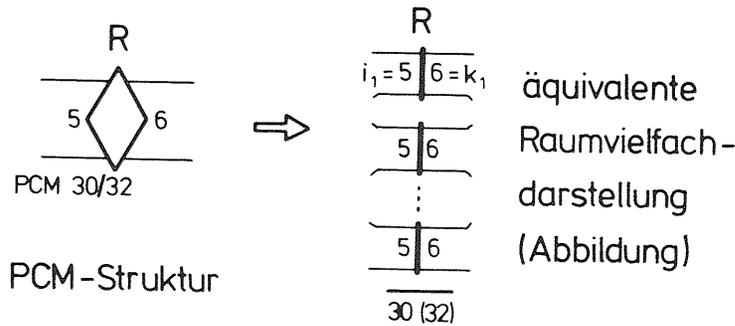


Bild 4.10: Beispiel für die Aufweitung durch Erhöhung der Zahl weiterführender Multiplexleitungen

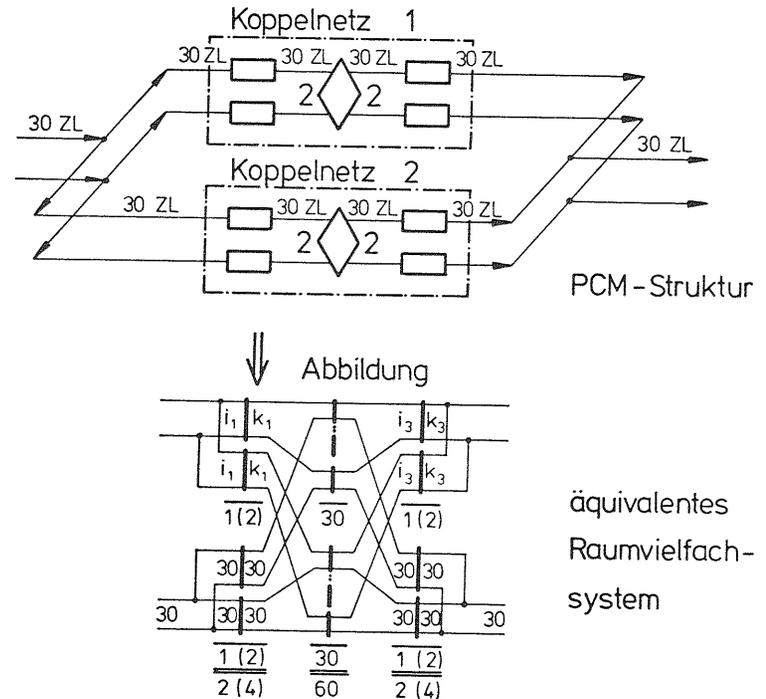


Bild 4.11: Beispiel für die Aufweitung durch Parallelschaltung zweier identischer Koppelnetze

Bild 4.11. zeigt dieses Vorgehen beispielhaft für eine ZRZ Koppelanordnung.

Jedes Koppelnetz für sich ist nicht aufgeweitet, d.h. die Multiplexleitungen links und rechts der Sprachspeicher führen dieselbe Zahl an Zeitlagen, z.B. 30 ZL.

Da aber jede Multiplexleitung zu zwei Sprachspeichern führt, ergibt sich in der Abbildung ein äquivalentes Raumvielfachsystem mit Koppelvielfachen der Größe 30 auf 60.

Diese Aufweitungsart ist verhältnismäßig teuer, bietet aber Vorteile für die Sicherheit der Vermittlungsfunktion.

Sollte ein Koppelnetz ausfallen, so kann der Verkehr weiterhin über das zweite aufrechterhalten werden; eine Verminderung der Verkehrsgüte muß dabei natürlich in Kauf genommen werden.

4.9.5. Definition des Aufweitungsfaktors β

Der Aufweitungsfaktor β stellt die Meßgröße der Aufweitung dar. Er gilt sowohl für Systeme mit Zeitlagenvielfachen als auch Raumlagenvielfachen in Stufe 1.

Ist die erste Stufe eine Zeitstufe, so gilt:

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

Ist die erste Stufe eine Raumstufe, so gilt:

$$\beta = j_1 / h_1$$

Für die Fälle der "Multiplexbildung vor der Vermittlung" und "Aufweitung durch Parallelschalten" gilt für β entsprechend das Verhältnis der Zahl von Ausgängen zu Eingängen der Koppelvielfache der ersten Stufe des äquivalenten Raumvielfachsystems. β stellt damit in jedem Fall das Verhältnis der Ausgänge zu den Eingängen je Koppelvielfach in der ersten Stufe in einem äquivalenten Raumvielfachsystem dar.

5. Durchschalteprinzipien von PCM-Koppelanordnungen

Die PCM Durchschaltung von Sprechverbindungen erfolgt stets vierdrahtmäßig, das heißt, für eine Verbindung müssen immer zwei Wege geschaltet werden, der eine für die Sprechrichtung von A nach B der andere für die Sprechrichtung von B nach A.

Die Realisierung von PCM-Koppelanordnungen muß dies berücksichtigen.

Nachstehend werden zwei Durchschalteprinzipien unterschieden, die "getrennte Durchschaltung" (GtD) und die "gemeinsame Durchschaltung" (GeD).

5.1. Die getrennte Durchschaltung

Bild 5.1. zeigt als Beispiel das Blockdiagramm einer PCM-Koppelanordnung für getrennte Durchschaltung.

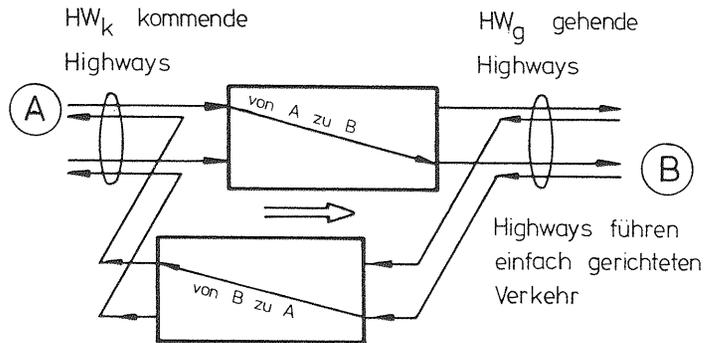


Bild 5.1: Die getrennte Durchschaltung

Die Koppelanordnung besteht aus zwei identisch gleichen Koppelnetzen, die für die Durchschaltung gemeinsam betrieben werden. Diese Konfiguration bedingt zwei Arten von Highways, nämlich "kommende Highways" und "gehende Highways" (unter einem Highway wird die Konfiguration aus zwei Multiplexleitungen (ML) verstanden, eine für die kommende Sprechrichtung und eine für die gehende Sprechrichtung).

Beide Arten von Highways führen nur einfach gerichteten Verkehr, die "kommenden Highways" in kommender Richtung des Verbindungsaufbaus und die "gehenden Highways" in gehender Richtung des Verbindungsaufbaus. Gemäß der Darstellung in Bild 5.1. bedeutet dies, es werden nur Verbindungen von der linken Seite zur rechten Seite aufgebaut.

Dementsprechend hat auch die Anschaltung der beiden Multiplexleitungen eines Highways, die für kommende bzw. gehende Gesprächsrichtung verwendet werden, zu geschehen. Sie muß so sein, daß entsprechend der Verbindungsaufbauart, von links nach rechts, das eine Koppelnetz nur die Sprechrichtung von A nach B führt und das andere nur die Sprechrichtung von B nach A. Die Auftrennung beider Sprechrichtungen in je ein eigenes Koppelnetz führte zu der Bezeichnung "getrennte Durchschaltung".

Diese Anordnung erlaubt damit nur das Herstellen von Verbindungen von kommenden Highways zu gehenden Highways; es ist nicht möglich, Verbindungen zwischen nur kommenden oder nur gehenden Highways herzustellen.

Die Funktion dieser Koppelanordnung entspricht in der herkömmlichen Raumvielfachtechnik den vierdrahtigen Koppelanordnungen, die zur Verkehrsverteilung in der Fernebene verwendet werden. Hierbei ist die Anzahl der kommenden und gehenden Vierdraht-Sprechkreise ungefähr gleich.

Da dieser Typ von PCM-Koppelanordnung einen ähnlichen Einsatzbereich haben wird, sei auch hier für alle weiteren Untersuchungen vereinbart, daß die Zahl der kommenden und gehenden Highways ungefähr oder genau gleich sein sollte.

Werden, wie oben schon erwähnt, für die Durchschaltung der beiden Sprechrichtungen in den beiden identischen Koppelnetzen gleiche Wege benutzt, so genügt es, Steuerspeicher für nur ein Koppelnetz bereitzustellen. Diese Steuerspeicher können zur Ansteuerung der Torschaltungen und Sprachspeicher in beiden Koppelnetzen verwendet werden.

Zur Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit genügt es, eines dieser beiden Koppelnetze, z.B. das für die Sprechrichtung von A nach B, in ein äquivalentes Raumvielfachsystem abzubilden. Im abgebildeten System läuft dann der Verkehr z.B. immer von links nach rechts. Zur Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit kann das passende Berechnungsverfahren aus Kap.4. angewendet werden.

Für das Prinzip der Durchschaltung und für die Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit ist es unerheblich, ob die PCM Abtastwerte (in der Regel 8 Bit) in serieller oder paralleler Form durch das Koppelnetz geschleust werden. Dies beeinflusst im wesentlichen nur die Kosten, da statt einer Torschaltung in einem Kreuzungspunkt der Matrix bei paralleler Durchschaltung z.B. 8 Torschaltungen bereitgestellt werden müssen.

5.2. Die gemeinsame Durchschaltung

Bild 5.2. zeigt eine Koppelanordnung wie sie bei gemeinsamer Durchschaltung verwendet wird.

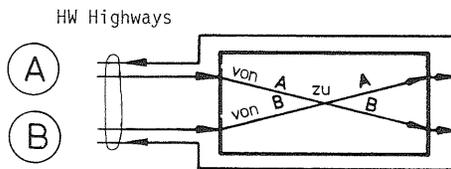


Bild 5.2: Die gemeinsame Durchschaltung

Die Koppelanordnung besteht jetzt nur noch aus einem einzigen Koppelnetz, an das alle Highways angeschlossen werden. Die Anschaltung erfolgt so, daß alle Multiplexleitungen, die die kommende Sprechrichtung führen, auf der linken Seite angeschlossen werden, die mit der gehenden Sprechrichtung auf der rechten. Bei dieser Anordnung ist es unerheblich ob die Highways einfach- oder doppelt gerichteten Verkehr führen.

Diese Art der Anschaltung bedingt auch, daß die Zahl der auf beiden Seiten angeschlossenen Multiplexleitungen immer identisch gleich ist.

Da auch hier zum Aufbau einer Verbindung zwei Wege geschaltet werden müssen, einer für jede Sprechrichtung, müssen diese beiden Wege nun in demselben Koppelnetz aufgebaut werden. Die Art der Wegezuteilung für beide Sprechrichtungen eines Gesprächs hat einen wesentlichen Einfluß auf die Kosten der gesamten Anordnung; dies wird im nächsten Kapitel ausführlich aufgezeigt.

Die Tatsache, daß zwei Wege für eine Verbindung in demselben Koppelnetz durchgeschaltet werden, führte zu der Bezeichnung "gemeinsame Durchschaltung".

Dieses Durchschalteprinzip erlaubt es, im Gegensatz zur "getrennten Durchschaltung", Verbindungen zwischen allen angeschlossenen Highways herzustellen; es ist das teurere Prinzip, wie später gezeigt wird.

Zur Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit muß dieses eine Koppelnetz in ein äquivalentes Raumvielfachkoppelnetz abgebildet werden. Sodann kann eines der in Kap.4. vorgestellten Berechnungsverfahren angewendet werden. Allerdings sind nun einige Einschränkungen zu beachten.

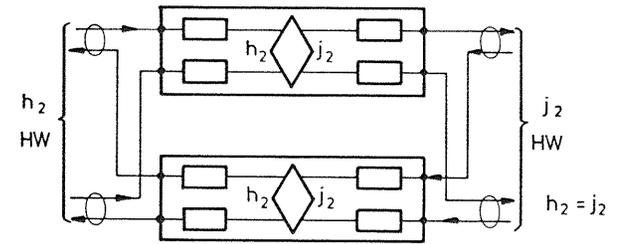
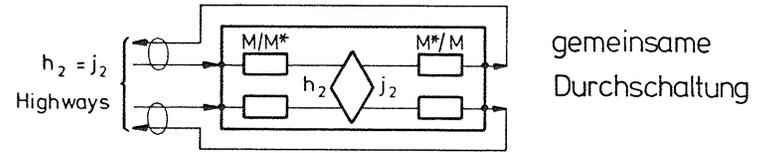
Die Verlustberechnungsverfahren setzen Unabhängigkeit der eintreffenden Verbindungswünsche voraus. Diese Unabhängigkeit ist im Fall der gemeinsamen Durchschaltung nicht mehr gegeben, denn wann immer ein Ruf eintrifft, müssen zwei Wege geschaltet werden, die dazuhin noch korrelierte Start- und Zielpunkte haben. Verkehrssimulationen haben gezeigt, daß diese Korrelation fast immer vernachlässigt werden kann, allerdings mit einer Ausnahme: Sollen Verbindungen in jenen Highway zurückgeschaltet werden, aus welchem der Verbindungswunsch herrührt, so erleiden jene Verbindungen einen leicht höheren Verlust. Es gibt keine einfache Möglichkeit nur diesen Verlust auf jenen der übrigen Verbindungen zu reduzieren.

Auch hier ist es für das Durchschalteprinzip und die Verkehrsgüte unerheblich, ob die 8-bit Abtastwerte seriell oder parallel durchgeschaltet werden. Dies beeinflusst im wesentlichen nur die Kosten.

Es sollte beachtet werden, daß bei gegebener Größe eines Koppelnetzes, dieses Koppelnetz sowohl für gemeinsame Durchschaltung als auch für getrennte Durchschaltung verwendet werden kann, vgl. Bild 5.3.

Da im Fall der getrennten Durchschaltung zwei identische Koppelnetze benötigt werden, ist dann auch die doppelte Zahl von Highways anschließbar.

In beiden Fällen ist die äquivalente Raumvielfachkoppelanordnung, die zur Verlustberechnung dient, dieselbe (vgl. Bild 5.3.).



insgesamt
 $(h_2 + j_2)$ HW
 $= 2 h_2$ HW

getrennte
 Durchschaltung

Äquivalentes Raumvielfachsystem gültig für "gemeinsame"- und "getrennte Durchschaltung"

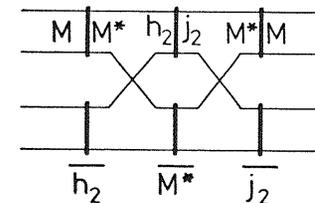


Bild 5.3: Vergleich der äquivalenten Raumvielfachsysteme für gemeinsame und getrennte Durchschaltung

6. Wegezuteilungsverfahren bei gemeinsamer Durchschaltung

Die in diesem Kapitel vorgestellten Wegezuteilungsverfahren beschränken sich auf Koppelanordnungen mit gemeinsamer Durchschaltung beider Sprechrichtungen einer Verbindung in demselben Koppelnetz. Hierfür sind verschiedene Strategien möglich. Bei Koppelanordnungen mit getrennter Durchschaltung ergibt sich dieses Problem nicht, da hier die einzig sinnvolle Zuordnung die ist, daß die beiden Wege in den beiden Koppelnetzen auf den entsprechenden Zwischenleitungen verlaufen.

Wie in Kap.5 gezeigt, ist die Zahl der kommenden und gehenden Multiplexleitungen in einer Koppelanordnung mit GeD immer genau gleich. Es liegt nun nahe das Koppelnetz so aufzubauen, daß auch die Anzahl und die Art der Stufen links und rechts der Mittelsenkrechten gleich sind, was zu symmetrischen Koppelanordnungen führt. Die in der Literatur diskutierten und auch schon realisierten PCM-Koppelanordnungen sind, mit ganz wenigen Ausnahmen, alle von diesem Typ, vgl. /4,7,18,19,27,30,35,40/.

Der entscheidende Grund für solche symmetrischen Koppelnetze liegt in der Tatsache, daß sie bei zweckmäßiger Wegezuteilung eine wesentliche Steuerungsvereinfachung und eine Kostenverminderung erlauben.

6.1. Prinzipielle Vorgehensweise

Unter der getroffenen Vereinbarung, daß die betrachteten Koppelanordnungen symmetrisch strukturiert sind, besteht der Grundgedanke aller Wegezuteilungsverfahren darin, diese Symmetrieeigenschaft so auszunutzen, daß Kosten gespart werden können. Bild 6.1. zeigt die Raumvielfachdarstellung einer dreistufigen PCM Struktur für gemeinsame Durchschaltung. Aufgrund der Anschaltung der beiden Multiplexleitungen eines Highways, kommende ML links, gehende ML rechts, ist der Betrieb dieser Koppelanordnung von links nach rechts gerichtet.

Zu jeder Eingangsleitung für die kommende Sprechrichtung gehört in entsprechender Anschlußlage an der letzten Stufe eine Leitung für die gehende Sprechrichtung.

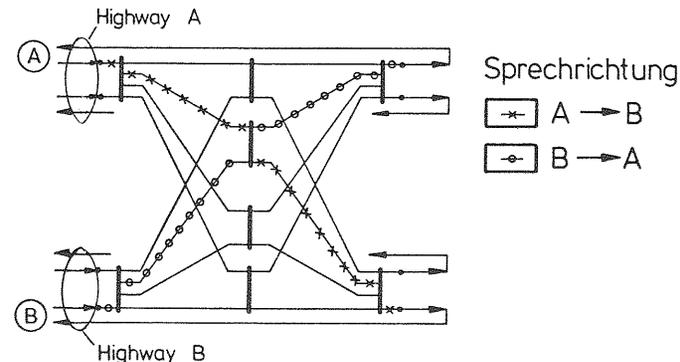


Bild 6.1: Wegezuteilung in einer dreistufigen PCM-Koppelanordnung in Raumvielfach-Darstellung

Soll nun eine Verbindung von dem mit A bezeichneten Leitungspaar zu dem mit B bezeichneten Paar geschaltet werden, so müssen im Koppelnetz zwei Wege aufgebaut werden. Der eine vom linken oberen Koppelvielfach zum rechten unteren, entspricht der Sprechrichtung von A nach B, der andere vom linken unteren Koppelvielfach zum rechten oberen, entspricht der Sprechrichtung B nach A. Der Verlauf beider Wege innerhalb der Koppelanordnung entscheidet über die möglichen Einsparungen:

Werden die beiden Wege nicht "korreliert" geführt, wird also für jeden Weg eine individuelle Wegesuche durchgeführt, so wird dies im folgenden "beliebige" Wegezuteilung genannt. Diese Art der Wegezuteilung erlaubt keine Einsparungen in der Steuerung, weil beide Sprechwege wie zwei voneinander völlig unabhängige Verbindungen aufgebaut werden.

Auf diese "beliebige" Wegezuteilung wird nachfolgend nicht weiter eingegangen, da hieraus höhere Kosten und eine verminderte Verkehrsgüte resultieren.

Werden die Wege in irgendeiner Art symmetrisch durch die Koppelanordnung geführt, wobei verschiedene Arten der festen Zuordnung möglich sind, so können die Speicherelemente der linken Hälfte der PCM-Koppelanordnung alle Funktionen der rechten Hälfte mitsteuern. Dies geschieht so, daß ein Speicherelement jeweils die Funktion eines Paares von Raum- bzw. Zeitstufen steuert, die symmetrisch zur Mittelsenkrechten liegen müssen. Für Koppelanordnungen mit gerader Stufenzahl bedeutet dies eine Reduzierung des Speicheraufwands auf die Hälfte; für Koppelanordnungen mit ungerader Stufenzahl gilt dies für alle Stufen, mit Ausnahme der mittleren. Sie benötigt auf jeden Fall einen vollständigen Speichersatz.

In Bild 6.1. ist beispielhaft eine vollständige Verbindung eingezeichnet (Kreuze und Kreise).

Die Zuordnung ist so, daß beide Wege über dasselbe Koppelvielfach der mittleren Stufe führen (Raumvielfach- Abbildung).

Es ist nun leicht einzusehen, daß bei dieser Zuordnung in den beiden obersten Koppelvielfachen der ersten und letzten Stufe zum Herstellen dieser Verbindung sich einander genau entsprechende Kreuzungspunkte zu schließen sind.

Wie sich diese Zuordnung in PCM- Koppelanordnungen auswirkt, wird in den nächsten Abschnitten ausgeführt.

6.2. Wegezuteilung in Z..Z Strukturen.

Wegezuteilung in Z..Z Strukturen betrifft jene Koppelanordnungen, die nur als erste und letzte Stufe eine Zeitstufe besitzen.

6.2.1. Die symmetrische Wegezuteilung

Symmetrische Wegezuteilung bedeutet, daß die beiden Sprechrichtungen einer Verbindung auf Wegen (ML) symmetrisch zur Mittelsenkrechten verlaufen und daß für beide Sprechrichtungen dieselbe Zeitlage innerhalb der Koppelanordnung benutzt wird. Bild 6.2. zeigt eine ZRZ Anordnung mit symmetrischer Durchschaltung.

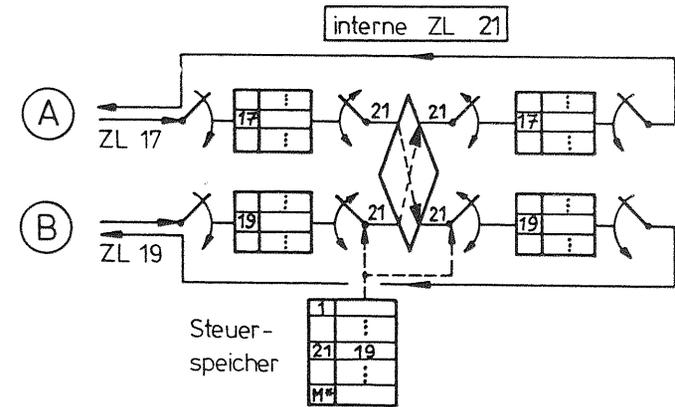


Bild 6.2: ZRZ Koppelanordnung mit symmetrischer Durchschaltung

Beispielhaft ist der Speicherelement, der die beiden untersten Sprachspeicher der ersten und letzten Stufe gemeinsam steuert, herausgezeichnet.

Es soll eine Verbindung aufgebaut werden vom Highway A zum Highway B. Die Verbindung benutzt auf beiden Multiplexleitungen des Highways A Zeitlage 17, auf Highway B wird Zeitlage 19 verwendet. Der Wegesuch-Algorithmus hat intern Zeitlage 21 für beide Sprechrichtungen bestimmt. Die Sprachspeicher der ersten Stufe werden zyklisch eingeschrieben und wahlfrei ausgelesen, die der letzten Stufe wahlfrei geschrieben und zyklisch ausgelesen. Der eingezeichnete Speicherelement steuert nun zur internen Zeit 21 das Auslesen eines Abtastwertes aus der Zelle 19 des linken unteren Sprachspeichers, dieser Abtastwert wird zum rechten oberen Sprachspeicher weitertransportiert. Weiterhin steuert er das Einlesen des vom linken oberen Sprachspeicher kommenden Abtastwertes in Zelle 19 des rechten unteren Sprachspeichers.

Damit ist gezeigt, daß es genügt, die Steuerinformation "19" nur einmal abzuspeichern.

Eine wesentliche Einschränkung der symmetrischen Wegezuteilung ist es, daß keine Gespräche in jenen Highway vermittelt werden können, auf dem die betreffende Verbindung ankommt. Hierfür

würde in diesem Beispiel die interne Zeitlage 21 auf beiden oberen internen Multiplexleitungen zweimal nötig sein.

Eine weitere Beschränkung dieser Wegezuteilung ergibt sich für bestimmte Koppelanordnungen mit vier oder mehr Stufen, z.B. für eine ZRRZ oder ZRRRRZ Anordnung. Hier ist es bei normaler Zwischenleitungs-führung nicht nur unmöglich Gespräche in denselben Highway sondern auch Gespräche zwischen sich entsprechenden Blöcken der linken und rechten Seite zu vermitteln. Die letztere Einschränkung kann überwunden werden, wenn bestimmte Zwischenleitungen verdoppelt werden, vgl. Kap.7.

6.2.2. Die quasisymmetrische Wegezuteilung

"Quasisymmetrische" Wegezuteilung soll bedeuten, daß die beiden Sprechrichtungen einer Verbindung zwar nach wie vor auf "symmetrischen" Wegen durch die Koppelanordnung führen, daß aber nicht mehr dieselbe Zeitlage für beide Pfade verwendet wird, sondern daß einander fest zugeordnete (aber ungleiche) Zeitlagen benutzt werden. Zwei Möglichkeiten der Zuordnung sollen kurz aufgezeigt werden.

6.2.2.1. Zuordnung über modulo M der Zeitlagenzahl

Die Zuordnung verläuft folgendermaßen:

Wird von A nach B die interne Zeitlage x benutzt, so verläuft die Verbindung von B nach A über die interne Zeitlage $x + M/2 \text{ mod } M$ (M bedeutet die Zahl der Zeitlagen pro Multiplexleitung).

Bild 6.3. zeigt die schon bekannte ZRZ Koppelanordnung mit einer eingezeichneten Verbindung dieses Typs. Im Beispiel wird von A nach B Zeitlage 5 benutzt, von B nach A Zeitlage 20. Jede Multiplexleitung führt $M = 30$ Zeitlagen.

Der eingezeichnete Speicherspeicher ist so dargestellt, daß er die logische Funktion leicht erkennen läßt. Jede Speicherspeicher-

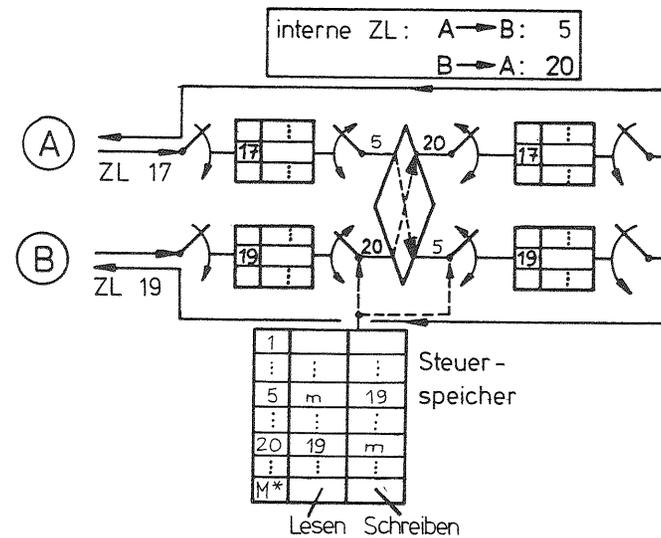


Bild 6.3: ZRZ Koppelanordnung mit quasisymmetrischer Durchschaltung, Prinzip mod M

zelle ist einer internen Zeitlage fest zugeordnet und in zwei Hälften unterteilt. Sie wird zyklisch über den Zeitlagenzähler ausgelesen.

Die linke Hälfte beinhaltet die Adressen der im linken Sprachspeicher zu lesenden Zellen, die rechte die zu beschreibenden Adressen im rechten Sprachspeicher. Für die aufgebaute Verbindung müssen folgende Operationen durchgeführt werden:

- Während der internen Zeit "5" muß der übertragene Abtastwert in die Zelle 19 des rechten unteren Sprachspeicher eingeschrieben werden. Zu dieser Zeit könnte gleichzeitig für eine andere Verbindung eine Leseoperation im linken unteren Sprachspeicher erfolgen, was durch die eingeschriebene Adresse m symbolisch dargestellt sein soll.

- Während der internen Zeit "20" muß die Zelle 19 des linken unteren Sprachspeichers ausgelesen werden, um sie zum oberen rechten Sprachspeicher zu übertragen. Auch hier könnte gleichzeitig für eine entsprechende andere Verbindung eine Schreiboperation im rechten unteren Sprachspeicher erfolgen, ebenfalls durch m dargestellt.

Es ist nun offensichtlich, daß in dem so gezeichneten Steuerspeicher jede Information in einander zugeordneten Zellen zweimal vorhanden ist. Deshalb ist es möglich, den Steuerspeicher zu halbieren.

Dies kann in Längsrichtung oder in Querrichtung geschehen:

Schneidet man ihn in Längsrichtung auf, so müssen zu jeder internen Zeit zwei Adressen mit je einem Wort gelesen werden, z.B. zur internen Zeit "5" in der Adresse 5 Wort m und in der Adresse 20 Wort 19; zur internen Zeit "20" müssen dieselben Adressen mit umgekehrter Zuordnung ausgelesen werden.

Schneidet man ihn in Querrichtung auf, so muß zu jeder internen Zeit nur ein Wort mit doppelter Breite ausgelesen werden. Da somit jede Zelle innerhalb eines Rahmens zweimal gelesen wird, muß die Zuordnung des Inhalt zur richtigen Funktion über einen Merker erfolgen, der festlegt, ob gerade die erste Hälfte oder die zweite Hälfte eines Rahmens durchlaufen wird.

Welche Aufteilung letztlich realisiert wird, hängt von den Hardwaregegebenheiten der gesamten Lösung ab. Festzustellen bleibt, daß der Steuerspeicher in jedem Fall M^* Worte beinhaltet und damit gleich groß ist wie bei der symmetrischen Wegezuordnung. Randbedingung ist weiterhin, daß die Zahl M^* der internen Zeitlagen geradzahlig ist.

6.2.2.2. Zuordnung über gerade/ungerade Zeitlage

Die Zuordnung über gerade/ungerade Zeitlage verläuft folgendermaßen:

Wird für die Verbindung von A nach B intern eine gerade Zeit-

lage verwendet, so wird für die Sprechrichtung von B nach A intern die nächst größere ungerade Zeitlagennummer benutzt. Wird für die Verbindung von A nach B intern eine ungerade Zeitlage verwendet, so wird für die Sprechrichtung von B nach A intern die nächst kleinere gerade Zeitlagennummer benutzt.

Bild 6.4. zeigt als Beispiel eine solchermaßen aufgebaute Verbindung. Die Sprechrichtung von A nach B verläuft auf der Zeitlage 21, folglich wird die Sprechrichtung B nach A über Zeitlage 20 geführt /42/.

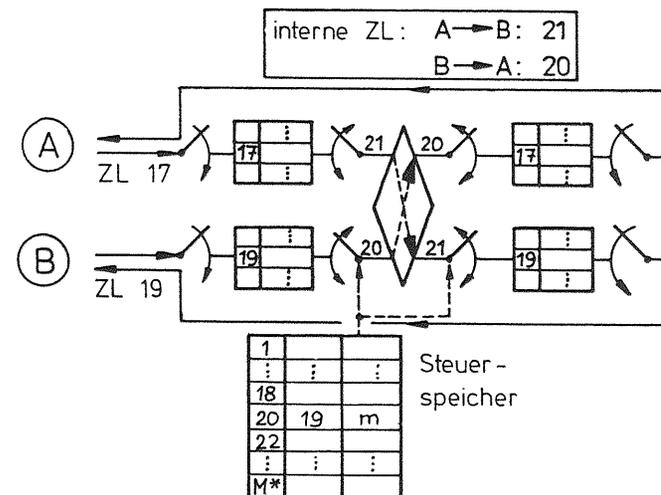


Bild 6.4: ZRS Koppelanordnung mit quasisymmetrischer Durchschaltung, Prinzip gerade/ungerade Zeitlage

Der eingezeichnete Steuerspeicher ist so realisiert, daß nur zu jeder zweiten Zeitlage zwei Worte ausgelesen werden müssen. Im eingezeichneten Beispiel bedeutet dies:

- Zur internen Zeit "20" wird die Information 19 und m gelesen. Die Information 19 wird verwendet um innerhalb dieser Zeit-

lage den linken unteren Sprachspeicher zu lesen; mit der Information m wird zur selben Zeit der rechte untere Sprachspeicher für eine weitere Verbindung beschrieben.

- In der darauffolgenden Zeitlage 21 werden beide Informationen mit umgekehrter Zuordnung verwendet; m dient zum Lesen des linken Sprachspeichers und 19 zum Schreiben des rechten Sprachspeichers.

Damit unterscheidet sich die Zahl an notwendigen Steuerspeicherbits nicht von der symmetrischen Zuordnung oder von der mod M Zuordnung. Auch hier gilt die oben getroffene Vereinbarung, daß die Anzahl M^* interner Zeitlagen in jedem Fall geradzahlig sein muß.

Wenn im folgenden von quasisymmetrischer Zuordnung gesprochen wird, so ist immer gerade/ungerade Zeitlagenzuordnung gemeint.

Die quasisymmetrische Wegezuteilung erlaubt es, im Gegensatz zur symmetrischen Wegezuteilung, ein Gespräch in den Highway zurückzuvermitteln aus dem es entspringt. Daß in diesem Fall mit einem Anstieg der Verlustwahrscheinlichkeit zu rechnen ist, wurde oben schon erwähnt. Dasselbe gilt bei einer Verbindung zwischen zwei sich gegenüberliegenden Blöcken, wenn die Stufenzahl S größer als drei ist. Der Grund liegt darin, daß die beiden Wegegraphen für beide Sprechrichtungen in einen zusammenfallen; für highwayinterne Verbindungen gibt es keine einfache Möglichkeit dies zu vermeiden.

6.3. Abbildung des äquivalenten zweiseitigen Raumvielfachsystems auf ein virtuelles einseitiges Umkehr- Raumvielfachsystem

Eine PCM- Koppelanordnung wird für die Wegesuche im Speicher des Vermittlungsrechners zweckmäßig als äquivalente RVf-KAn dargestellt. Wird diese Koppelanordnung in der Betriebsweise "gemeinsame Durchschaltung" benutzt, so läßt sich Speicherplatz einsparen, indem man die äquivalente RVf- Koppelanordnung durch ein entsprechendes einseitiges Umkehr- Raumvielfachsystem ersetzt.

Es ist dann nicht mehr nötig, den Belegungszustand aller Zwischenleitungen der gesamten Koppelanordnung abzuspeichern, vielmehr genügt es, dies nur für die etwa halb so große Umkehrgruppierung zu tun. Grundlage zur Erklärung dieser weiteren Abbildung ist Bild 6.1.

Bei der Durchschaltung der beiden Sprechrichtungen von A nach B bzw. von B nach A werden innerhalb des Koppelnetzes immer sich einander entsprechende Zwischenleitungen belegt. Für die Abspeicherung des Belegungszustands im Speicher des die Wegesuche durchführenden Rechners genügt es deshalb, nur den Belegungszustand der einen Hälfte, z.B. der linken, abzuspeichern.

Dies entspricht logisch dem Übergang von der realen Darstellung als zweiseitiges Raumvielfachsystem auf ein einseitiges Umkehrsystem. Bild 6.5. zeigt die "virtuelle" Umkehrgruppierung, die aus der gestreckten Gruppierung in Bild 6.1. entsteht. Einzelheiten über Umkehrgruppierungen sind in /33/ zu finden.

Während die reale "gemeinsame" Durchschaltung zwei Sprechwege (je einen pro Sprechrichtung) symmetrisch bzw. quasisymmetrisch durchschaltet, wird im Umkehrsystem, das nur die eine (z.B. linke) Hälfte des realen Systems abbildet, nur ein Sprechweg geschaltet. Er setzt sich aus je der Hälfte der beiden realen Sprechwege (von A nach B und B nach A) zusammen und belegt dieselben Zwischenleitungen. Die im virtuellen System fehlende spiegelsymmetrische(rechte) Hälfte der Koppelanordnung und der dort belegten Zwischenleitungen wird durch die "Umkehrschleifen", Bild 6.5., ersetzt.

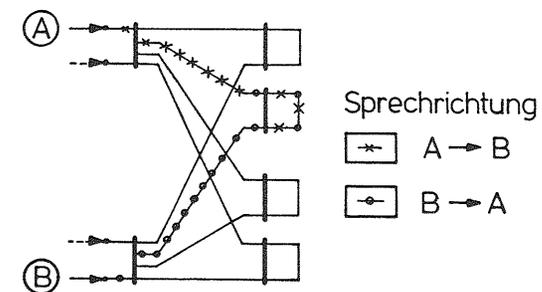


Bild 6.5: "Virtuelle" Umkehrgruppierung als Abbild

Führt der Rechner seine Wegesuche ersatzweise in dieser Umkehrgruppierung durch, so ergeben sich genau die gewünschten realen Verbindungen. Die aus dieser Wegesuche resultierende Einstellinformation für die Steuerspeicher ist in jedem Fall vollständig, da ja nurmehr Steuerspeicher in der linken Hälfte der Koppelanordnung versorgt werden müssen. Ein solches Abbild erlaubt somit eine Einsparung an Arbeitsspeicherplatz sowie eine starke Vereinfachung der Wegesuche. Die Verdrahtung der Koppelvielfache hinter der letzten Stufe, Bild 6.5., kann sich auch anders darstellen. Sie ist abhängig von der Anzahl der Stufen in der Koppelanordnung und von der Art der Wegezuteilung. Die hier vorgestellte Struktur ist das äquivalente Abbild der ZRZ PCM- Koppelanordnung mit symmetrischer Wegezuteilung.

Es sei angemerkt, daß zur Simulation der Verkehrseigenschaften von PCM-Koppelanordnungen mit gemeinsamer Durchschaltung eine ersatzweise Simulation in einer Umkehrgruppierung gleichwertig ist. Wird eines der in dieser Arbeit beschriebenen Wegezuteilungsverfahren benutzt, so kann immer eine Umkehrgruppierung (RVF) gefunden werden, die der gestreckten Gruppierung verkehrstheoretisch genau entspricht, vgl. /21/. Die Simulation mit Hilfe der Umkehrgruppierung ist deshalb vorteilhaft, weil, wie oben für die Wegesuche schon gezeigt, auch hier der notwendige Speicherplatz im Arbeitsspeicher zum Abspeichern der Struktur fast auf die Hälfte reduziert werden kann.

Die Bilder 6.6. und 6.7. zeigen Umkehrgruppierungen, die der ZRZ PCM-Koppelanordnung mit den beiden quasisymmetrischen Wegezuteilungsverfahren aus Kap. 6.2.2. entsprechen.

Bild 6.6. gilt für die mod M Zuteilung. Die Koppelvielfache der zweiten Stufe stehen gemäß den Abbildungsregeln aus Kap.2. für je eine Zeitlage. Es ist die dem Beispiel aus Kap. 6.2.2. entsprechende Verdrahtung zwischen den Koppelvielfachen 5 und 20 eingezeichnet. Die wechselseitige Zuordnung der entsprechenden Zeitlagen ist hier gut sichtbar.

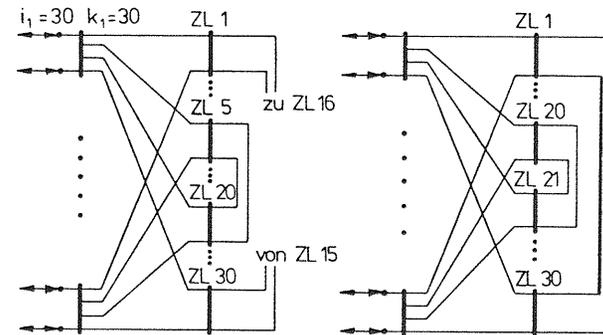


Bild 6.6: Umkehrgruppierung als Ersatz für mod M ZL Zuteilung

Bild 6.7: Umkehrgruppierung als Ersatz für gerade/ungerade ZL Zuteilung

Bild 6.7. gilt für die gerade/ungerade Zeitlagenzuteilung. Die Verdrahtung der Koppelvielfache hinter der zweiten Stufe ist so, daß jeweils zwei benachbarte Koppelvielfache miteinander verbunden sind; auch hier ist die dem Beispiel aus Kap. 6.2.2. entsprechende Verdrahtung der Koppelvielfache 20 und 21 untereinander eingezeichnet. Vergleicht man diese beiden Skizzen so wird deutlich, daß sich beide Zuteilungsprinzipien vollkommen entsprechen. Sie sind nicht nur von ihren Kosten her sondern auch von den möglichen Verbindungswegen im Inneren genau gleich.

6.4. Wegezuteilung in R..R Strukturen

Auch für solche PCM- Strukturen, die als erste und letzte Stufe eine Raumstufe besitzen, werden nachstehend Wegezuteilungsprinzipien untersucht und definiert; vorausgesetzt wird, daß diese Koppelanordnungen eine Zeitstufe in der Mitte besitzen. Da diese Wegezuteilungsprinzipien den oben vorgestellten Verfahren im wesentlichen entsprechen, werden dieselben Namen verwendet.

6.4.1. Die symmetrische Wegezuteilung

v11

Symmetrische Wegezuteilung soll bedeuten, daß die beiden Sprechrichtungen einer Verbindung über symmetrische MLn durch das Koppelnetz führen und in der mittleren Stufe denselben Sprachspeicher benutzen (also Mittelstufe stets eine Zeitstufe). Sollte eine R..R Koppelanordnung so beschaffen sein, daß sie mehr als eine Zeitstufe besitzt, so muß dieses Wegezuteilungsprinzip entsprechend ergänzt werden. In Kap. 7. wird hierzu gezeigt, daß solche Strukturen im Vergleich zu ihrer Verkehrsleistung immer sehr aufwendig sind.

Führt man eine symmetrische Zuordnung durch, so können auch hier Steuerspeicher der Raumstufen der linken Seite paarweise die Raumstufen der rechten Seite mitsteuern.

Bild 6.8. zeigt diesen Fall der symmetrischen Wegezuteilung.

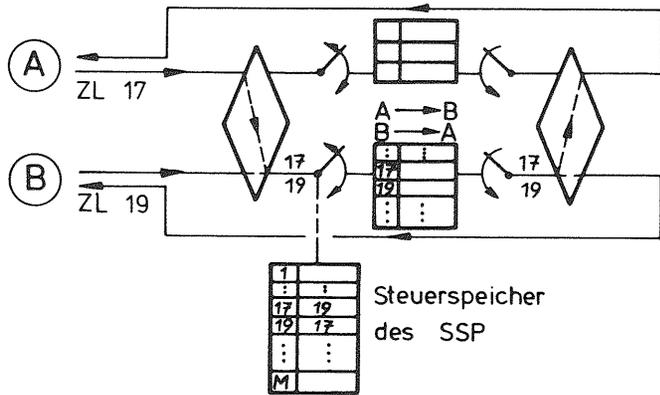


Bild 6.8: RZR Koppelanordnung mit symmetrischer Wegezuteilung

Es ist eine Verbindung von A nach B eingezeichnet; A spricht und hört auf ZL 17, B auf Zeitlage 19. Beide Sprechrichtungen führen über denselben Sprachspeicher der mittleren Stufe.

Das Bild läßt erkennen, daß sowohl zur internen Zeit "17" als auch "19" jeweils zwei sich einander entsprechende Tor-schaltungen in den beiden vorhandenen Raumlagenvielfachen der ersten und dritten Stufe zu schließen sind. Dies kann von dem (hier nicht gezeichneten) gemeinsamen Steuerspeicher der Raumstufe gesteuert werden.

Eine Einschränkung dieses Wegezuteilungsprinzips ist, daß es nicht möglich ist, ankommende Gespräche unter Beibehaltung derselben Zeitlage zu vermitteln. Diese Zeitlage müßte dann im gemeinsam benutzten Speicher der mittleren Stufe zweimal vorhanden sein. Verkehrstheoretisch schlägt diese Einschränkung nicht stark zu Buch, wenn bei der Markierung der Abnehmerleitung darauf geachtet wird, daß eine solche Zuordnung nicht erfolgt.

Auch hier läßt sich eine verkehrstheoretisch gleichwertige Umkehrgruppierung finden; sie ist in Bild 6.9. dargestellt.

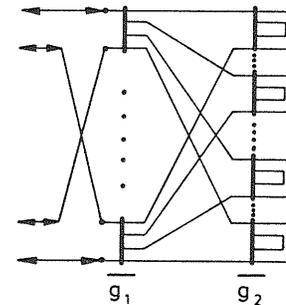


Bild 6.9: Umkehrgruppierung als Ersatz für symmetrische Durchschaltung

Die Verdrahtung hinter der zweiten Stufe ist so, daß diese Koppelvielfache, die in der Realität Sprachspeichern entsprechen, in sich selbst verdrahtet sind. Die oben schon dargestellte mögliche Vereinfachung der Wegesuche gilt auch hier in vollem Umfang.

Es bleibt festzuhalten, daß dieses Zuteilungsprinzip die Zahl der Speicherspeicher für die Torschaltungen halbiert und für die Sprachspeicher der mittleren Stufe einen vollen Speicherspeicherersatz erfordert.

6.4.2. Die quasisymmetrische Wegezuteilung

Die quasisymmetrische Wegezuteilung erlaubt den Aufbau von Verbindungen unter Beibehaltung derselben Zeitlage für die kommende und gehende Sprechrichtung der ankommenden und abgehenden Seite einer Verbindung. Zusätzlich zu den oben festgestellten Einsparungen ist hier noch die Einsparung der Hälfte der Speicherspeicher der mittleren Stufe möglich.

Die beiden Sprechrichtungen einer Verbindung führen jetzt in der mittleren Stufe nicht mehr über denselben Sprachspeicher, es werden vielmehr zwei einander fest zugeordnete Sprachspeicher verwendet, in Analogie zu den zugeordneten Zeitlagen.

Die Vereinfachung liegt darin, daß diese beiden Sprachspeicher von einem gemeinsamen Speicherspeicher kontrolliert werden können. Bild 6.10. zeigt eine solche Konfiguration.

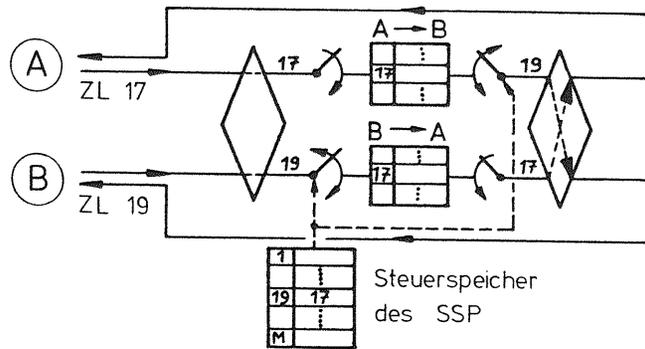


Bild 6.10: RZR Koppelanordnung mit quasisymmetrischer Wegezuteilung

Die Funktion der beiden Sprachspeicher ist so, daß der eine zyklisch geschrieben und wahlfrei gelesen wird, der andere dementsprechend wahlfrei geschrieben und zyklisch gelesen wird. Für das eingezeichnete Beispiel gilt:

Die Sprechrichtung von A nach B, auf Zeitlage 17 kommend und auf Zeitlage 19 gehend, führt über den oberen Sprachspeicher; die Sprechrichtung von B nach A, auf Zeitlage 19 kommend und auf Zeitlage 17 gehend führt über den unteren Sprachspeicher. Zur internen Zeit "17" wird der "kommende" Abtastwert zyklisch in den oberen Sprachspeicher eingeschrieben und der zum Senden benötigte Abtastwert zyklisch aus dem unteren Sprachspeicher ausgelesen.

Zur internen Zeit "19" wird der "unten" kommende Abtastwert wahlfrei in die Zelle 17 eingeschrieben, der zum Senden benötigte Abtastwert wahlfrei aus dem oberen Sprachspeicher ausgelesen. Dies kann somit gemeinsam, von nur einem Speicherspeicher gesteuert, erfolgen.

Notwendige Randbedingung ist, daß die Zahl der Sprachspeicher zwischen den beiden zugehörigen Matrizen geradzahlig ist. Dies bedeutet im Fall der Struktur RRZRR, vgl Kap. 7, daß die Zahl der Sprachspeicher in jedem Block, gebildet aus der zweiten, dritten und vierten Stufe, geradzahlig sein muß.

Wie Bild 6.10. zeigt, wird die Symmetrie der Wegeführung in der rechten Raumstufe aufgehoben. Es ist dennoch möglich, beide Raumstufen von einem gemeinsamen Speicherspeicher steuern zu lassen, da für die Steuerung der rechten Matrix nur eine entsprechende Spiegelung der Kreuzungspunkte erfolgen muß.

Bild 6.11. zeigt die korrespondierende Umkehrgruppierung.

Der einzige Unterschied zu Bild 6.9. besteht darin, daß die Verdrahtung hinter der letzten Stufe nun so geschieht, daß immer zwei Koppelvielfache fest miteinander verbunden sind. Dies spiegelt genau die Benutzung zweier Sprechspeicher während einer Verbindung wider.

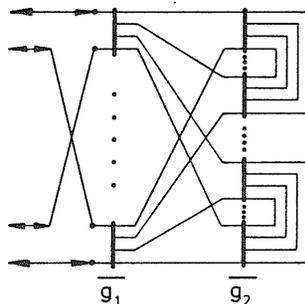


Bild 6.11: Umkehrgruppierung als Ersatz für quasisymmetrische Wegezuteilung

7. Untersuchte PCM-Koppelanordnungen

In Ortswählsystemen mit Raumvielfach-Durchschaltenetzen wird der relativ kleine Verkehrsanfall pro Teilnehmer (0.05- 0.15 Erl) entweder über sog. Vorwahl- bzw. Anrufsucherstufen oder auch in doppelt-gerichteten Endwahl-Stufen konzentriert /39/; anschließend folgt dann die ein- oder mehrstufige Koppelanordnung für Richtungswahl (Gruppenwahl).

In PCM-Wählsystemen wird diese Verkehrskonzentration in abgehender Verkehrsrichtung (bzw. Expansion in ankommender Richtung) vorverlegt in Konzentratorstufen, die im Vorfeld, d.h. in Teilnehmernähe aufgestellt werden. Dies gilt auch dann, wenn die Teilnehmeranschluß-Leitungen bis zum Konzentrator noch niederfrequent geführt werden.

Die nachstehend untersuchten PCM-Koppelanordnungen, wie sie in künftigen Orts- und Fernvermittlungsstellen verwendet werden, dienen deshalb ausschließlich der Verteilung des Verkehrs (Richtungswahl). Die Verkehrsbelastung der kommenden und gehenden Verkehrsrichtungen ist praktisch gleich groß und liegt je Sprechkreis, dank der Konzentration im Vorfeld, in der Regel zwischen 0.5 und 0.9 Erlang.

In diesem Kapitel wird zunächst der Sonderfall der einstufigen PCM-Koppelanordnung vom Typ Z betrachtet. In den nachfolgenden Abschnitten werden dann die untersuchten mehrstufigen PCM-Koppelanordnungen vorgestellt, die alle so realisiert sind, daß ausschließlich die in Kapitel 2. vorgestellten elementaren Baugruppen verwendet werden (Zeitlagenvielfach und Raumlagenvielfach).

Alle untersuchten Koppelanordnungen sind so strukturiert, daß sie im Endausbau einfache Zwischenleitungsverdrahtung haben, d.h. Koppelmatrizen aufeinanderfolgender Stufen in demselben Block oder zwischen einander entsprechenden Blöcken sind mit genau einer Zeitmultiplexleitung miteinander verbunden. Die hieraus resultierenden Raumvielfachstrukturen werden oft auch als "single linkage" Strukturen bezeichnet.

Näheres über einfache Zwischenleitungsverdrantung ist in Kap. 9. sowie in /39/ zu finden.

Alle wichtigen vorgestellten PCM-Koppelanordnungen sind symmetrisch aufgebaut.

Der Vollständigkeit halber werden jedoch bei den zwei- und dreistufigen Koppelanordnungen auch unsymmetrische Strukturen vorgestellt.

Die im Einsatz verwendete Betriebsart der betrachteten PCM-Koppelanordnungen, d.h. "gemeinsame" oder "getrennte" Durchschaltung, ist für die Strukturdarstellung unerheblich. Bei gemeinsamer Durchschaltung wird ein Koppelnetz benötigt, bei getrennter Durchschaltung benötigt man zwei.

7.1. Einstufige PCM-Koppelanordnungen

Prinzipiell denkbar ist als einstufige Koppelanordnung sowohl eine Raumstufe als auch eine Zeitstufe. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich jedoch, daß eine einstufige Raumkoppelanordnung denkbar ungünstig ist, da sie nur koinzidente Durchschaltung erlaubt.

Es verbleibt damit die Zeitstufe als Bauelement für einstufige Koppelanordnungen.

Eine einstufige Koppelanordnung in Form einer Zeitstufe bietet mehrere Möglichkeiten der Realisierung. Hier sei zunächst die prinzipielle Vorgehensweise beschrieben.

Diese einstufige Koppelanordnung besteht nicht aus einer Reihe von Zeitlagenkoppelvielfachen, weil dann ein Umstieg zwischen den verschiedenen Multiplexleitungen nicht möglich wäre. Um dies zu ermöglichen muß vor einer gemeinsamen Zeitstufe in irgendeiner Art eine Multiplexbildung so durchgeführt werden, daß die Zusammenfassung mehrerer "langsamer" Multiplexleitungen zu einer "schnellen" Multiplexleitung ermöglicht wird.

Alle Zeitlagen dieser "schnellen" Multiplexleitung können dann mit Hilfe eines einzigen "großen" Zeitlagenvielfachs untereinander vermittelt werden.

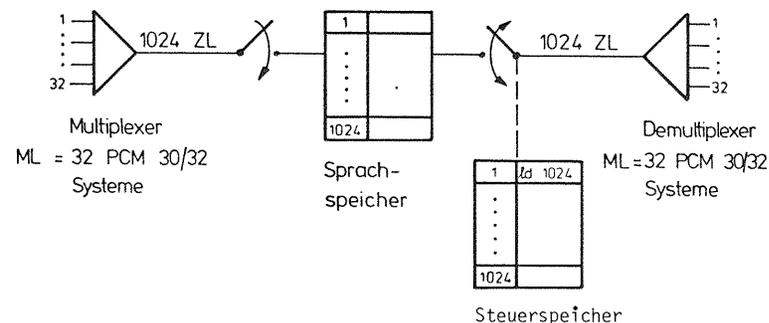


Bild 7.1: Einstufige Koppelanordnung des Typs Z

Bild 7.1. zeigt die prinzipielle Vorgehensweise. Eine bestimmte Anzahl von Multiplexleitungen, im Beispiel 32 PCM 30/32 Systeme werden auf eine "schnelle" Multiplexleitung mit 1024 Zeitlagen zusammengefaßt.

Diese Zeitlagen werden dann einem Sprachspeicher zugeführt, der in diesem Beispiel zyklisch beschrieben und wahlfrei ausgelesen wird, gesteuert von einem Steuerspeicher.

Die Vermittlungsfunktion erfolgt mit Hilfe des wahlfreien Auslesens, da der Augenblick des Auslesens eines PCM-Abtastwertes sowohl die weiterführende Multiplexleitung als auch die dort benutzte Zeitlage bestimmt.

Vom Steuerspeicher wird damit sowohl die "räumliche" Vermittlung zwischen den ("langsamen") Multiplexleitungen als auch die "zeitliche" Vermittlung zwischen den beteiligten Zeitlagen durchgeführt.

Aufgrund dieser Eigenschaft wird eine solche Anordnung oft auch als Z(R) Stufe bezeichnet.

Da die Multiplexbildung vor und nach der Koppelanordnung ein starr durchgeführter Vorgang ist, ist die Summe der Zeitlagen links und rechts des Multiplexers, bzw. Demultiplexers genau gleich (keine Aufweitung, keine Konzentration).

Die räumliche Abbildung des einen vorhandenen Sprachspeichers führt gemäß den Abbildungsregeln aus Kapitel 3. zu einem einzigen Koppelvielfach mit 1024 Eingängen und 1024 Ausgängen. Dies bedeutet, daß eine solche Koppelanordnung blockierungsfrei arbeitet.

Nicht ganz problemlos ist die Multiplexbildung vor der Vermittlung, da hier technologische Randbedingungen beachtet werden müssen. Ein PCM 30/32 System besitzt bei serieller Übertragung eine Taktfrequenz von rund 2 MHz. Faßt man 4 solcher Systeme in einen "schnellen" Highway zusammen, so benötigt man bereits eine Taktfrequenz von 8 MHz. Hier scheint beim augenblicklichen Stand der Technologie eine Grenze der leichten Handhabung erreicht zu sein, deren Überschreitung stark erhöhte Kosten verursachen kann.

Will man dennoch den Multiplexgrad weiter erhöhen, so bietet sich der Übergang von serieller auf parallele Durchschaltung an, was gleichbedeutend ist mit einer Reduzierung der Takt-Frequenz um den Faktor 8.

Verbleibt man bei 8 MHz als maximaler Taktfrequenz, so stellt die im Beispiel gezeigte Multiplexbildung von 32 PCM 30/32 Systemen die derzeitige obere Grenze dar.

Für Vermittlungszwecke ist nun aber keinesfalls garantiert, daß nie mehr als 32 PCM-Systeme an eine Koppelanordnung angeschlossen werden müssen. Hier bietet sich, will man bei dieser einstufigen Lösung bleiben, nur eine Realisierung durch Parallelschaltung mehrerer solcher Einheiten an, vgl. Bild 7.2.

Die Lösung besteht darin, daß alle Zeitlagen einer schnellen Multiplexleitung parallel in mehrere, hier zwei, verschiedene Sprachspeicher eingeschrieben werden und damit zur Vermittlung in beide weiterführende Gruppen von je 32 Multiplexleitungen zur Verfügung stehen. Das Einschreiben in die Sprachspeicher erfolgt zyklisch, das Auslesen wird wahlfrei vom Steuerspeicher jeder Gruppe gesteuert.

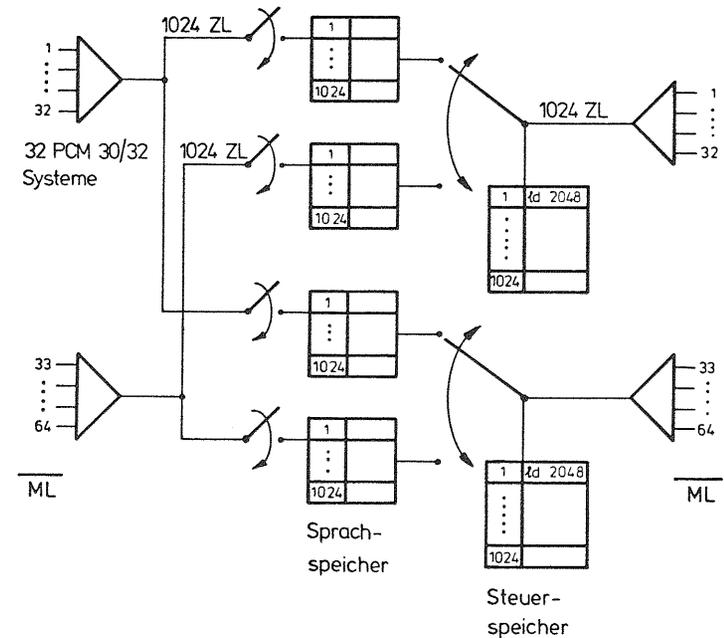


Bild 7.2: Einstufige Koppelanordnung des Typs Z für große Highwayzahlen

Zusätzlich zur Nummer der Zelle die auszulesen ist, muß noch der richtige Sprachspeicher adressiert werden. In diesem Beispiel werden 4 Sprachspeicher für 2·32 PCM 30/32 Systeme benötigt; der Aufwand an Sprachspeichern steigt also quadratisch an. Hieraus folgt, daß solche einstufigen Koppelanordnungen nur wirtschaftlich sein können, wenn zwischen relativ wenigen Highways vermittelt werden muß. Steigt die Zahl der Highways an, so entstehen hiervon quadratisch mit der Highwayzahl wachsende Kosten. Informationen über bereits realisierte einstufige Koppelanordnungen sind in /8,27,29,32/ zu finden.

7.2. Zweistufige Koppelanordnungen

Die beiden möglichen symmetrischen Strukturen RR und ZZ scheiden als verwendbare Koppelanordnungen aus folgenden Gründen aus:
 Die Struktur RR besitzt äußerst schlechte Verkehrseigenschaften, da sie weder aufgeweitet werden kann noch bei der Vermittlung eine Zeitlagenumsetzung erlaubt.
 Eine zweistufige PCM-Koppelanordnung vom Typ ZZ (mit konjugierter Durchschaltung) ist nicht realisierbar.

Damit verbleiben zwei unsymmetrische Strukturen, nämlich die Typen RZ und ZR. Bild 7.3. zeigt die PCM-Koppelanordnung RZ zusammen mit deren Abbildung auf ein äquivalentes Raumvielfachsystem.

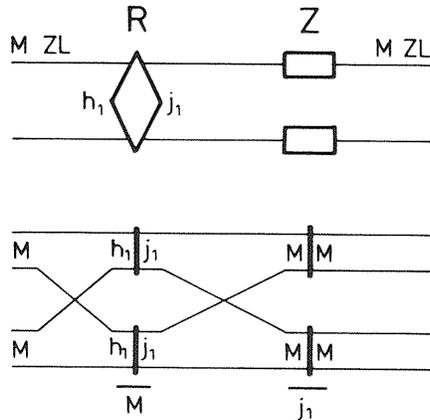


Bild 7.3: PCM-Koppelanordnung RZ mit Abbildung

Die Verkehrseigenschaften dieser Koppelanordnung sind schlecht, was leicht einzusehen ist. Soll ein Ruf von einer kommenden Multiplexleitung der linken Seite zu einer gehenden Multiplexleitung der rechten Seite durchgeschaltet werden, so steht für diese Verbindung nur genau ein einziger Weg, d.h. nur eine Zeitlage, nämlich die des ankommenden Rufes, zur Verfügung. Weiterhin erlaubt

diese Koppelanordnung keine Aufweitung.

Die Punkt-Punkt-Verlustwahrscheinlichkeit ist deshalb in guter Näherung gleich der Belegungswahrscheinlichkeit (mittlere Belastung) pro Zwischenleitung.

Bild 7.4 zeigt eine PCM-Koppelanordnung vom Typ ZR zusammen mit der Abbildung auf ihr äquivalentes Raumvielfachsystem.

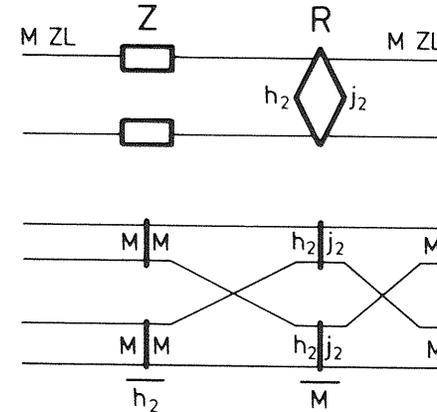


Bild 7.4: PCM-Koppelanordnung ZR mit Abbildung

Eine sinnvolle Verwendung dieser Koppelanordnung ist dann möglich, wenn sie mit Bündelwahl betrieben wird, d.h. wenn für eine gewünschte Durchschaltung alle Leitungen des Zielbündels abgesucht werden können.

Der zur Vermittlung notwendige Zeitlagenumstieg wird hierfür in der ersten Stufe durchgeführt.

Die Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit hat in diesem Fall mit dem Verfahren CLIGS, vgl./1/, zu erfolgen. Wird allerdings diese Anordnung ebenfalls mit Punktmarkierung betrieben, d.h. wird a priori eine freie Leitung im Zielbündel belegt und dann versucht zu dieser Leitung durchzuschalten, so treten dieselben hohen Blockierungswahrscheinlichkeiten auf wie beim Typ RZ.

Es steht dann auch hier für die gewünschte Verbindung nurmehr eine einzige geeignete Zwischenleitung zur Verfügung.

7.3. Dreistufige Koppelanordnungen

7.3.1. Symmetrische dreistufige Koppelanordnungen

Die beiden sinnvollen symmetrischen 3-stufigen PCM-Koppelanordnungen des Typs ZRZ und RZR wurden bereits in Kap. 2.3. und Kap. 3. zusammen mit ihrer Abbildung auf das äquivalente Raumvielfachsystem vorgestellt.

Die Punkt-Punkt-Verlustwahrscheinlichkeit beider Anordnungen läßt sich für eine vorgegebene Verkehrsbelastung durch Aufweitung einstellen, vgl. Kap. 4.9. Dabei wird interne Takterhöhung für das ZRZ System angewendet während eine Erhöhung der Zahl interner Multiplexleitung beim RZR System die passende Aufweitungsart ist.

Beide vorgestellten Koppelanordnungen können durch Aufweitung absolut blockierungsfrei gemacht werden, vgl./9/, wenn für das ZRZ System M^* zu $2M - 1$ gewählt wird und beim RZR System j_1 zu $2h_1 - 1$ gesetzt wird.

Ausbaufähigkeit:

In den folgenden Abschnitten wird bei allen wesentlichen PCM-Koppelanordnungen auf deren Ausbaueigenschaften hingewiesen. Es wird in diesem Zusammenhang diskutiert, wie die betreffende PCM-Koppelanordnung schrittweise von einer kleinen Anfangskonfiguration auf ihrem geplanten Endausbau hin erweitert werden kann. Von der Durchführbarkeit her birgt das schrittweise Hinzufügen von Sprachspeichern zusammen mit deren Steuerung normalerweise keine unüberwindlichen Schwierigkeiten.

Die Ergänzung, bzw. die Vergrößerung der Raumlagenvielfache hingegen bedeutet oftmals einen sehr großen technischen Aufwand. So ist zum einen die Vergrößerung eines Raumlagenvielfachs für den Anschluß einer größeren Anzahl von Multiplexleitungen nicht

ganz einfach zu bewerkstelligen, zum anderen kann eine solche Vergrößerung u.U. eine vollständige Umverdrahtung aller internen Multiplexleitungen erfordern, was natürlich vermieden werden sollte.

Für den stufenweisen Ausbau der beiden PCM-Koppelanordnungen ZRZ und RZR gilt damit:

Um Folgekosten zu vermeiden sollten die beiden RLVf der Struktur RZR, bzw. das eine RLVf der Struktur ZRZ von Anfang an in ihrer endgültigen Größe geplant und realisiert werden. Dies sind zwar Vorleistungen, die zu erbringen sind, bleiben wohl aber im Vergleich zu den Gesamtkosten des Systems niedrig.

Die notwendige Anzahl an Sprachspeichern und deren Anschluß-Multiplexleitungen zum Raumlagenvielfach samt den zugehörigen Steuerelementen kann von Fall zu Fall einfach ergänzt werden.

7.3.2. Unsymmetrische dreistufige PCM-Koppelanordnungen

Unsymmetrische dreistufige PCM-Koppelanordnungen sind die Typen RRZ, ZZR, RZZ und ZRR.

Der Typ RRZ hat die gleichen ungünstigen Verkehrseigenschaften wie der Typ RZ.

Der Typ ZZR besitzt zwei Zeitstufen in Serie. Ein Zeitlagenumstieg zwischen diesen beiden Stufen bringt keine Verbesserung der Verkehrseigenschaften im Vergleich zum Typ ZR.

Für den Typ RZZ gilt entsprechend wie beim Typ RZ, daß die Verkehrseigenschaften schlecht sind.

Somit muß nur noch die Struktur ZRR diskutiert werden.

Bild 7.5. zeigt sie zusammen mit der Abbildung auf ihr äquivalentes Raumvielfachsystem.

Diese Struktur erlaubt ebenfalls, wie die beiden zweistufigen Systeme, keine Aufweitung. Wird sie mit Punktmarkierung betrieben, so stellt sie ein reines Fächersystem dar, d.h. für eine gewünschte aufzubauende Verbindung, bei der Start- und Zielleitung bereits festgelegt sind, steht nur ein einziger Weg zur Durchschaltung zur Verfügung. Hieraus resultiert eine sehr hohe Verlustwahrscheinlichkeit.

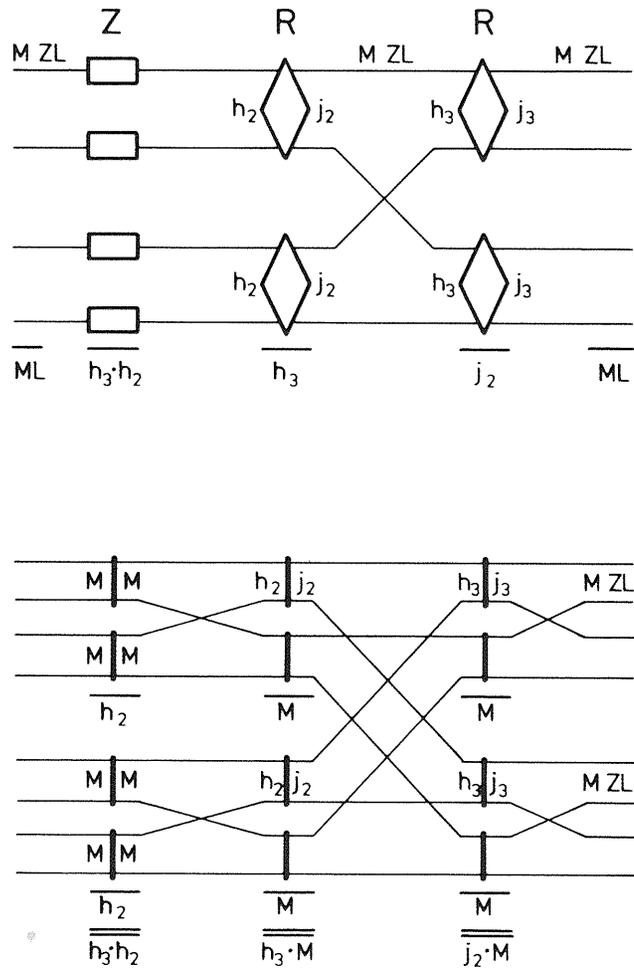


Bild 7.5: PCM-Koppelanordnung ZRR mit Abbildung

Wird diese Koppelanordnung mit Bündelmarkierung betrieben, so kann bei relativ kleiner Verkehrsbelastung eine zufriedenstellende Verkehrsgüte erreicht werden. Eine Verlustreduzierung durch Aufweitung ist jedoch nicht möglich, vgl. Bild 7.7.

Bild 7.6. zeigt zum Abschluß dieses Abschnittes einen Strukturvergleich der betrachteten dreistufigen PCM-KAn RZR, ZRZ und ZRR.

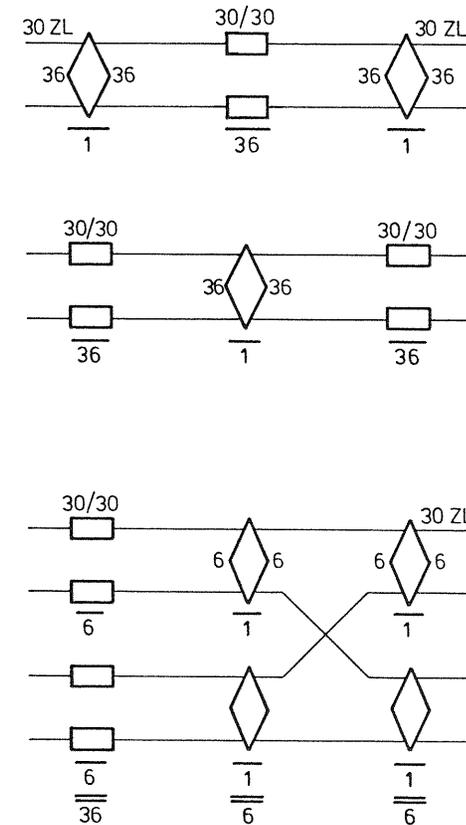


Bild 7.6: Strukturvergleich der PCM-Koppelanordnungen ZRZ, RZR und ZRR

An alle Strukturen sind 36 Multiplexleitungen mit je 30 Zeitlagen angeschlossen.

Da die Struktur ZRR keine Aufweitung erlaubt, wurde in diesem Vergleich keine der Strukturen aufgeweitet, was zu relativ hohen Verlustwahrscheinlichkeiten führt.

Bild 7.7. zeigt die resultierenden Verlustwahrscheinlichkeiten aller drei Systeme.

Es ist zu beachten, daß die Koppelanordnungen ZRZ und RZR mit Punktmarkierung betrieben werden, der aufgezeichnete Verlust damit den Punktverlust darstellt. Die Koppelanordnung ZRR wird wegen der äußerst schlechten Verkehrsgüte bei Punktmarkierung mit Bündelmarkierung betrieben, der aufgezeichnete Verlust ist damit der Internverlust B_{int} mit $n = 30$.

Trotz der Anwendung dieses verlustmindernden aber aufwendigeren Markierverfahrens, liegt die Kurve des Internverlustes für die Struktur ZRR über den beiden anderen Kurven.

Die Strukturen ZRZ und RZR würden weiterhin eine Aufweitung in der ersten Stufe erlauben, mit der ein beliebig kleiner Punktverlust für eine gegebene Belastung eingestellt werden könnte; bei der Struktur ZRR ließe sich die Intern-Verlustwahrscheinlichkeit dagegen nicht durch interne Takterhöhung reduzieren.

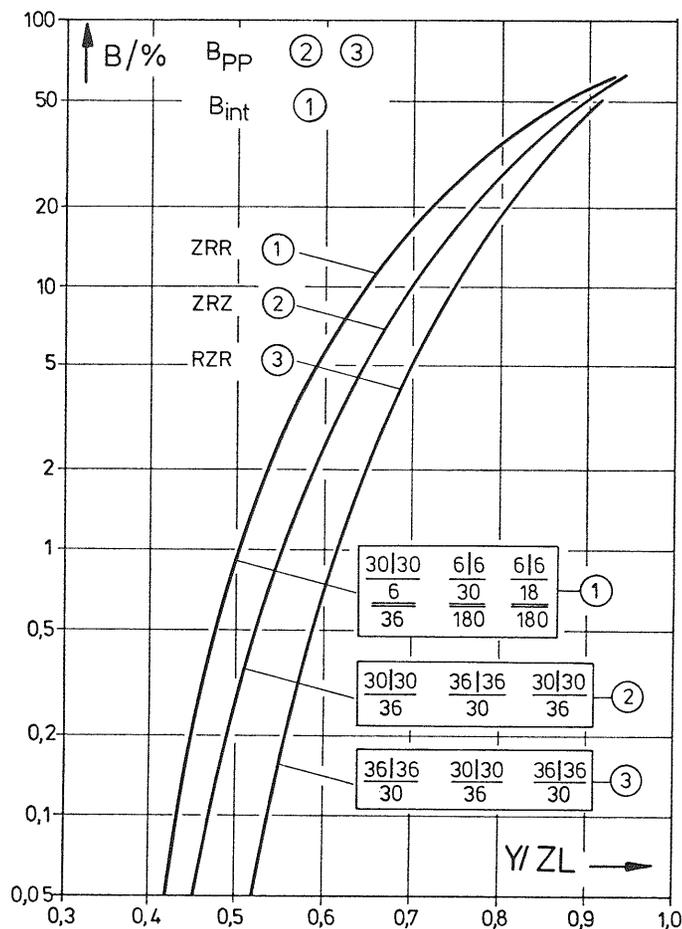


Bild 7.7: Verlustwahrscheinlichkeit von PCM-Koppelanordnungen ZRZ, RZR, ZRR mit $N = 1080$ Eingängen bzw. Ausgängen

7.4. Die vierstufige Koppelanordnung ZRRZ

Unter allen denkbaren symmetrischen vierstufigen Koppelanordnungen ist die Struktur ZRRZ die einzig sinnvolle.

Die anderen Strukturen, RRZZ, ZZRR, RZZR, RZRZ und ZRZR scheiden aus folgenden Gründen aus:

Entweder sind zwei Zeit-Stufen in Serie geschaltet, was keine Verbesserung der Verkehrsleistung bringt, oder die unsymmetrische Struktur, vor allem der beiden letztgenannten Koppelanordnungen erlaubt es nicht, die in Kap.6. hergeleiteten kostensparenden Steuerungsprinzipien anzuwenden.

Außerdem erlauben alle fünf Strukturen keine wirtschaftliche Aufweitung zur Verlustreduzierung.

Bild 7.8. zeigt die Struktur ZRRZ zusammen mit der Abbildung auf ihr äquivalentes Raumvielfachsystem.

Diese vierstufige Anordnung erlaubt das Bilden von sog. Blöcken. In der Zeitvielfachdarstellung, Bild 7.8 oben, erkennt man, daß nunmehr innerhalb einer Raumstufe statt einem "großen" Raumlagenvielfach mehrere "kleinere" Raumlagenvielfache gebildet werden können. Dies reduziert die Kosten und erleichtert den modularen Ausbau (vgl. Kap 10).

Ein Raumlagenvielfach mit seinen zugehörigen Zeitlagenvielfachen bezeichnet man als "Block".

Die räumliche Abbildung (Bild 7.8.unten) zeigt die entsprechenden "Linkblöcke" mit je h_2 Koppelvielfachen in Stufe 1 und M^* Koppelvielfachen in Stufe 2.

Für die im nächsten Kapitel zu berechnenden Kosten dieser Koppelanordnung ist die Größe der Blöcke, d.h. die Anzahl h_1 der Multiplexleitungen, die in eine Koppelmatrix der Raumstufe münden, entscheidend.

Hier läßt sich die Größe h_1 leicht bestimmen, da bei gleicher Anzahl von kommenden und gehenden Multiplexleitungen und bei vorgeschriebener einfacher Zwischenleitungsverdrantung (vgl. Kap.10) die Blockgröße h_2 bzw. j_2 für den symmetrischen Endausbau nur zu \sqrt{ML} gewählt werden kann.

Entwurfs - Regeln (vgl. Kap. 10)

$$h_2 = j_2 = h_3 = j_3 = \sqrt{ML}$$

$$M^* = \beta \cdot M$$

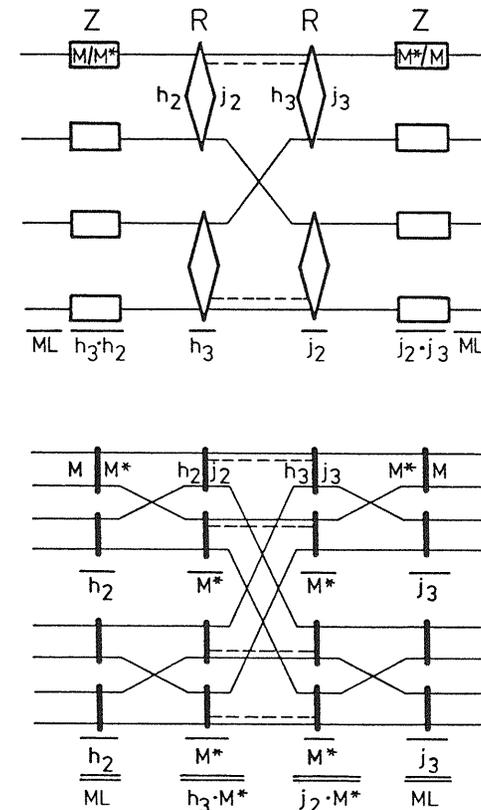


Bild 7.8: PCM-Koppelanordnung ZRRZ mit Abbildung

Diese Entwurfsregel ist in Bild 7.8. angegeben.

Ein Sonderfall, der bei gemeinsamer Durchschaltung auftritt, ist allerdings zu beachten. Bei dieser Durchschalteart werden pro Verbindung zwei Sprechwege durch dasselbe Koppelnetz geschaltet; vgl. Kap.6.

Um die Wegevielfalt für alle Verbindungswünsche gleich groß zu halten, ist es notwendig, die "horizontalen" Multiplexleitungen zwischen Stufe 2 und 3 zu verdoppeln; im Bild 7.8. ist dies gestrichelt angedeutet.

Verbindungen, die in jenen Highway zurückführen auf dem sie ankommen, können bei diesem Koppelanordnungstyp nur mit Hilfe der quasisymmetrischen Durchschaltung aufgebaut werden, vgl. Kap.6. Sie werden außerdem eine etwas größere Verlustwahrscheinlichkeit als alle anderen Verbindungen in Kauf nehmen müssen, weil die effektive Erreichbarkeit solcher Internverbindungen schlechter ist.

Diese vierstufige ZRRZ Koppelanordnung ist sehr leicht ausbaufähig wenn die Koppelmatrizen der Raumstufen von Anfang an für den Endausbau dimensioniert werden; dies entspricht dem Ausbauprinzip der konstanten Blockgröße, vgl. /22/.

Der Übergang von kleinen Ausbaustufen zum Endausbau vollzieht sich durch Hinzufügen weiterer Koppelmatrizen in den Raumstufen.

7.5. Fünfstufige PCM-Koppelanordnungen

Es gibt vier fünfstufige Koppelanordnungen, welche die Bedingung der Symmetrie erfüllen: ZRRRZ, RRZRR, RZRZR und ZRZRZ.

Bei allen diesen fünfstufigen Koppelanordnungen werden Blöcke aus zwei bzw. drei Stufen gebildet, vgl. Bild 7.9. - 7.12.

Die günstigste Blockgröße für minimale Kosten läßt sich allerdings jetzt nicht mehr so einfach bestimmen wie bei vierstufigen ZRRZ Anordnungen.

Für diese Strukturen sind jetzt Optimierungsrechnungen durchzuführen mit vorgegebenen Randbedingungen. Die Vorgehensweise wird in Kapitel 10. behandelt.

Die Bilder 7.9. bis 7.14. enthalten deshalb die Entwurfsregeln nur insoweit, als sie sich aus dem Aufweitungsfaktor β und der Bedingung eines symmetrischen Aufbaus ergeben.

Die Größe der Raumlagenvielfache als Funktion der Anzahl angeschlossener externer Multiplexleitungen ergibt sich erst aus den Randbedingungen der in Kap.10. durchgeführten Optimierungsrechnungen.

Bei fünf- und sechststufigen Raumvielfachsystemen hat es sich zur Reduzierung der Verlustwahrscheinlichkeit als günstig erwiesen, die Zwischenleitungen in den letzten Stufen nochmals auszukreuzen. Diese Unsymmetrie der Zwischenleitungsverdrahtung ergibt eine optimale effektive Erreichbarkeit.

Dies ist bei PCM-Koppelanordnungen mit wirtschaftlichem Aufwand nicht möglich, da es einer Umverteilung der Zeitlagen verschiedener Multiplexleitungen entspräche. Bei der Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit wurde dies entsprechend berücksichtigt, indem die effektive Erreichbarkeit an die symmetrische Verdrahtung angepaßt wurde, vgl./39/.

7.5.1. Die Koppelanordnung ZRRRZ

Bild 7.9. zeigt die Koppelanordnung ZRRRZ zusammen mit der Abbildung auf ihr äquivalentes Raumvielfachsystem.

Blöcke werden bei dieser Koppelanordnung aus der ersten und der zweiten Stufe, sowie aus der vierten und der fünften Stufe gebildet. Diese Blockbildung zeigt sich in entsprechender Weise im äquivalenten Raumvielfachsystem. Dieses Raumvielfachsystem ist so dargestellt, daß alle Koppelvielfache der mittleren Stufe, die derselben Zeitlage entsprechen, benachbart sind. Mit dieser Darstellung erreicht man, daß die räumlichen Abbildungen der Systeme ZRRRZ, RRZRR und RZRZR genau gleich aussehen.

Entwurfs - Regeln (vgl. Kap. 10)

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

$$M^* = \beta \cdot M$$

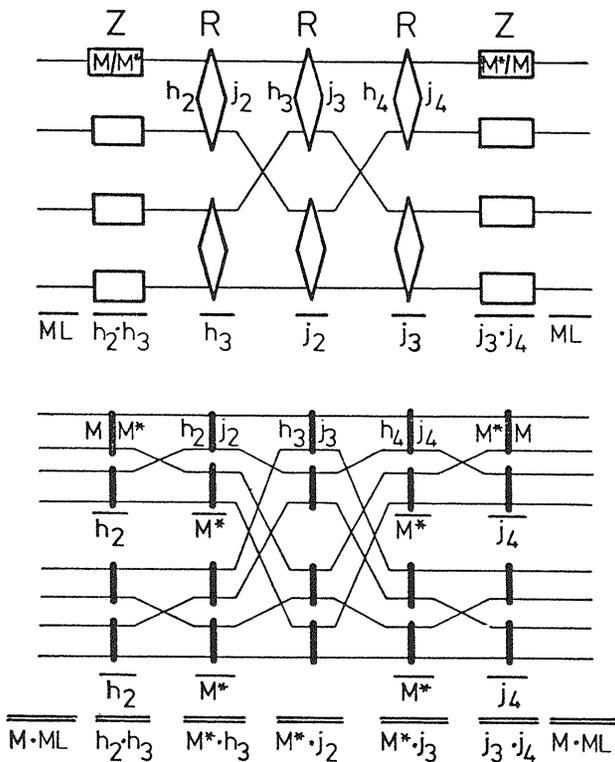


Bild 7.9: PCM-Koppelanordnung ZRRRZ mit Abbildung

Unterschiedlich ist lediglich jeweils die Größe der Koppelvielfache.

Die Koppelanordnung ZRRRZ ist leicht ausbaufähig wenn auch hier von Anfang an die Koppelmatrizen für den Endausbau dimensioniert werden.

7.5.2. Die Koppelanordnung RRZRR

Bild 7.10. zeigt die PCM-Koppelanordnung RRZRR zusammen mit ihrer Abbildung auf das äquivalente Raumvielfachsystem.

Blöcke werden bei dieser Koppelanordnung aus der zweiten, dritten und vierten Stufe gebildet; die Aufweitung erfolgt in der ersten Stufe durch Erhöhung der Zahl j_1 weiterführender interner Multiplexleitungen.

Gute Erweiterbarkeit ist bei dieser Anordnung gegeben, wenn wie zuvor schon, die Koppelmatrizen für den geplanten Endausbau dimensioniert werden.

Hier ist es dann möglich, komplette Blöcke, bestehend aus der 2., 3. und 4. Stufe hinzuzufügen.

Eine Einschränkung muß bei diesem Typ von Koppelanordnung beachtet werden. Bei gemeinsamer symmetrischer und quasisymmetrischer Durchschaltung ist es nicht möglich, unter Benutzung derselben Zeitlage für gehende und kommende Sprechrichtung, Verbindungen zwischen einander gegenüberliegenden Raumlagenvielfachen der ersten und fünften Stufe zu schalten.

Der Einfluß dieser Beschränkung auf die Verkehrsgüte kann vernachlässigt werden, wenn der Markierer dies entsprechend berücksichtigt.

Es sei darauf hingewiesen, daß diese Koppelanordnung u.U. eine starke Steuerungsvereinfachung bei der Wegesuche erlaubt: Verzichtet man auf die bisher vorausgesetzte 1:1 Durchschaltung in allen Koppelvielfachen der mittleren Stufen (2,3 und 4) und weitet in Stufe 2 im Verhältnis 2:1 auf (entsprechend konzentriert man 2:1 in den Koppelvielfachen der Stufe 4), so wird

Entwurfs - Regeln (vgl. Kap. 10)

$$h_2 = j_2 = h_4 = j_4$$

$$j_1 = h_5 = \beta \cdot h_1, h_1 = j_5$$

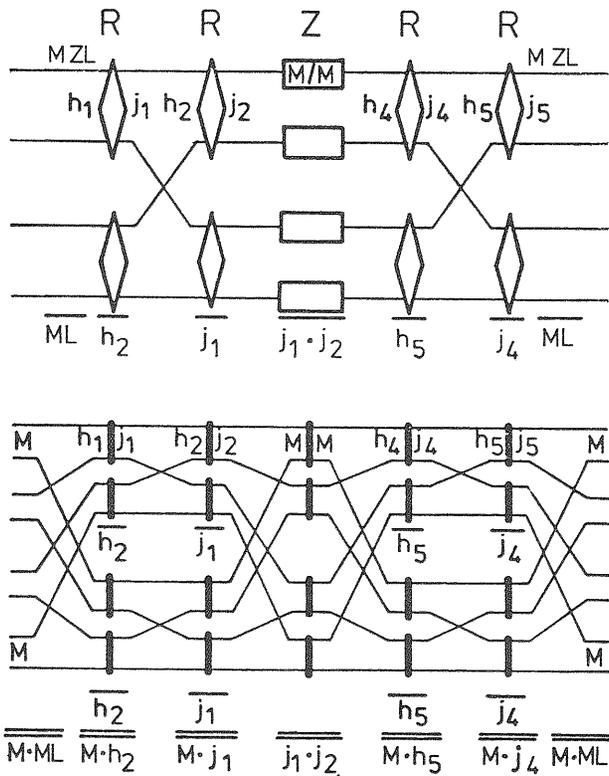


Bild 7.10: PCM-Koppelanordnung RRZRR mit Abbildung

jeder "Mittelblock" der Stufen 2,3 und 4 damit streng blockierungsfrei, vgl./9/.

Jeder Block kann dann einen selbständigen Wegesuchprozessor erhalten, der die blockierungsfreie Durchschaltung einer Verbindung von der zweiten zur vierten Stufe ausführt.

Die gesamte Wegesuche entspräche somit der einer dreistufigen Koppelanordnung.

Das Beispiel einer realisierten Koppelanordnung des Typs RRZRR ist in /13/ zu finden.

7.5.3. Die Koppelanordnung RZRZR

Bild 7.11. zeigt die Koppelanordnung RZRZR zusammen mit ihrer Abbildung auf das äquivalente Raumvielfachsystem.

Bei dieser Koppelanordnung werden Blöcke aus den beiden ersten und den beiden letzten Stufen gebildet.

Da die beiden vorhandenen Zeitstufen nicht die erste und die letzte Stufe repräsentieren, muß die Durchschalteart bei gemeinsamer Durchschaltung leicht modifiziert werden, vgl. Kap.6. In diesem Fall verbleibt man aus Gründen der Steuerungsvereinfachung bei der internen Wegeführung über symmetrische Multiplexleitungen. Für die drei inneren Stufen Z-R-Z muß jedoch analog zu dreistufigen ZRZ Systemen eine quasisymmetrische Zeitlagenzuteilung durchgeführt werden.

Allerdings sei angemerkt, daß auch bei dieser ZL- Zuteilung Verbindungen innerhalb des eigenen Blockes unter Benutzung derselben Zeitlage nicht möglich sind. Dieser Einfluß kann, wie zuvor, vernachlässigt werden, wenn der Markierer dies bei der Wegesuche berücksichtigt.

Bezüglich der Erweiterbarkeit bietet diese Anordnung keine sehr günstigen Bedingungen, da unter Verwendung des Prinzips der konstanten Blockgröße größere Umverdrahtungen zwischen Stufe 2,3 und 4 für jede hinzukommende Koppelmatrix notwendig sind.

Entwurfs - Regeln (vgl. Kap. 10)

$$h_3 = j_3, h_1 = j_5$$

$$j_1 = h_5 = \beta \cdot h_1$$

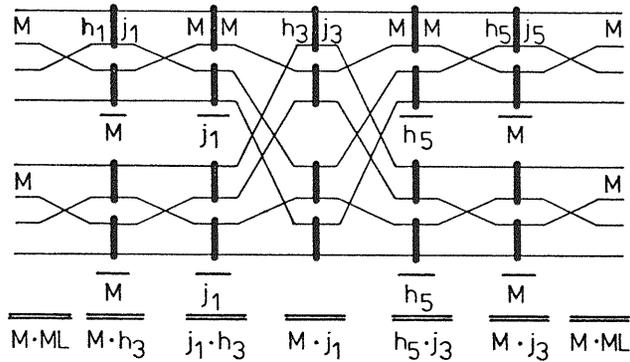
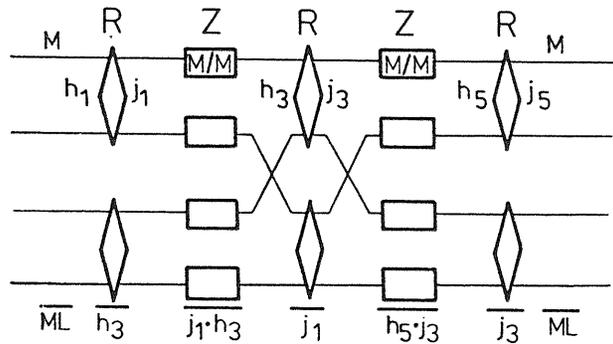


Bild 7.11: PCM-Koppelanordnung RZRZR mit Abbildung

7.5.4. Die Koppelanordnung ZRZRZ

Bild 7.12. zeigt die PCM-Koppelanordnung ZRZRZ zusammen mit der Abbildung auf ihr äquivalentes Raumvielfachsystem.

Diese Koppelanordnung kann man sich entstanden denken aus der Anordnung ZRRZ und hinzugefügten Sprachspeichern in den Zwischenverbindungsleitungen zwischen Stufe 2 und 3. Sie erscheint günstig, da diese Sprachspeicher es erlauben, innerhalb der Koppelanordnung nochmals einen Zeitlagenumstieg durchzuführen. Betrachtet man das äquivalente Raumvielfachsystem, so zeigt sich, daß diese hinzugefügte dritte Stufe keinen so günstigen We-graphen mit sich bringt, wie ihn die anderen 5- stufigen PCM-Koppelanordnungen besitzen (keine Auffächerung von Stufe 2 nach Stufe 3).

Die Kosten dieses Typs von Koppelanordnung für eine bestimmte Größe und vorgegebene Verkehrsleistung liegen stets über jenen der anderen 5-stufigen Systeme.

Aus diesem Grund wird dieser Typ nicht weiter betrachtet.

Entwurfs - Regeln (vgl. Kap. 10)

$$h_2 = j_2 = h_4 = j_4$$

$$M^* = \beta \cdot M$$

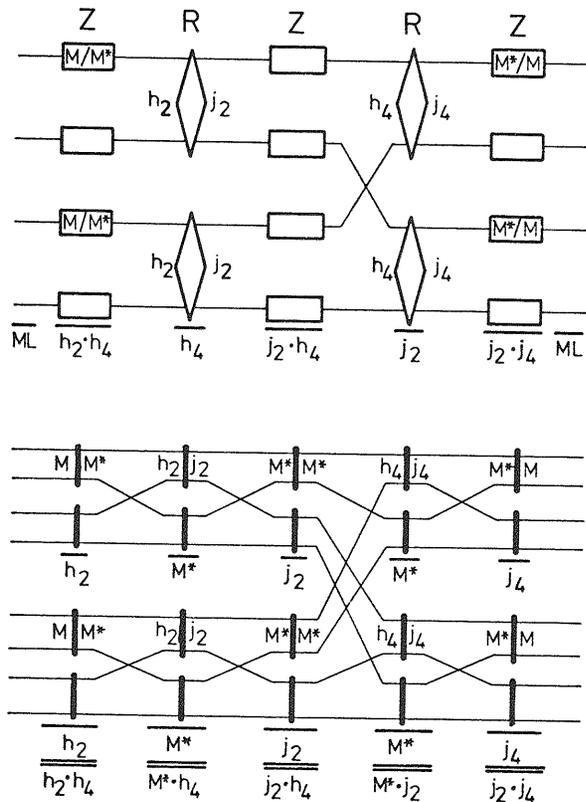


Bild 7.12: PCM-Koppelanordnung ZRRZRZ mit Abbildung

7.6. Sechsstufige PCM-Koppelanordnungen

Es gibt zwei sechsstufige Koppelanordnungen, welche die Symmetrieeigenschaft erfüllen, ZRRRRZ und RZRRZR.

Wie schon bei den fünfstufigen Anordnungen ergibt die Abbildung beider Strukturen auf ihr jeweils äquivalentes Raumvielfachsystem gleich aussehende Koppelanordnungen, die sich lediglich in der Größe der Koppelvielfache voneinander unterscheiden.

7.6.1. Die Koppelanordnung ZRRRRZ

Bild 7.13. zeigt die Koppelanordnung ZRRRRZ zusammen mit ihrer Abbildung auf ein äquivalentes Raumvielfachsystem.

Bei der Struktur ZRRRRZ können Blöcke zwischen der ersten und der zweiten Stufe gebildet werden, desgleichen zwischen der dritten und der vierten sowie zwischen der fünften und der sechsten Stufe. Hieraus resultieren sehr günstige Ausbaustrategien bei Anwendung des Prinzips der konstanten Blockgröße.

Die Blockbildung in der PCM Struktur erscheint allerdings in geänderter Darstellung im äquivalenten Raumvielfachsystem.

Hier ergeben sich Link-Blöcke zwischen der ersten und der zweiten Stufe, entsprechend zwischen der fünften und der sechsten Stufe, sowie Gruppen von Blöcken zwischen den ersten drei und den letzten drei Stufen.

Die im Bild 7.13. gestrichelt eingezeichneten Leitungen sind in gleicher Weise wie bei der Anordnung ZRRZ notwendig für den Fall "gemeinsamer" Durchschaltung.

Das bekannteste Beispiel einer sechsstufigen ZRRRRZ Koppelanordnung ist in /7/ beschrieben. Allerdings wurde die dort gezeigte Struktur heuristisch entworfen und mit Hilfe von Verkehrssimulationen dimensioniert. Sie ist nicht optimal gemäß Kap.10.

Entwurfs - Regeln (vgl. Kap. 10)

$$h_2 = j_2 = h_5 = j_5$$

$$h_3 = j_3 = h_4 = j_4$$

$$M^* = \beta \cdot M$$

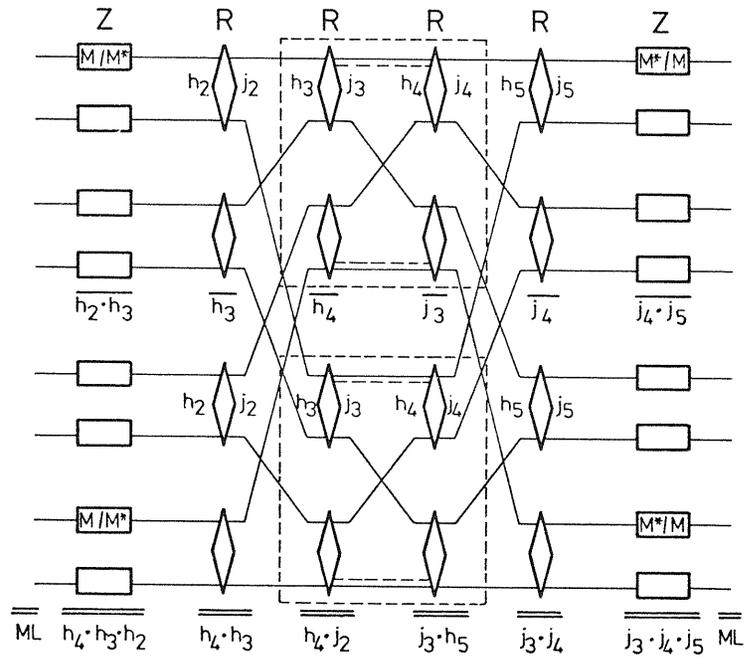


Bild 7.13 a: PCM-Kopplianordnung ZRRRZ

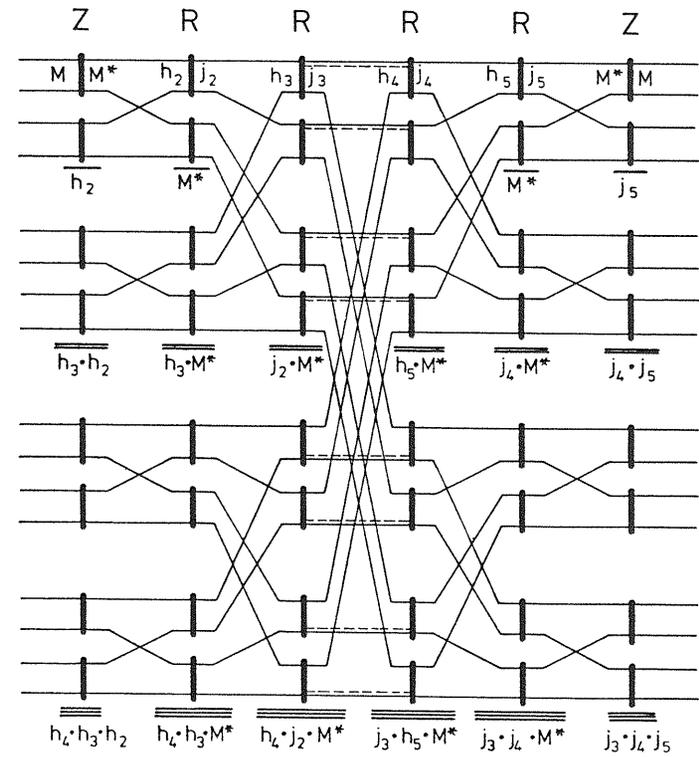


Bild 7.13 b: Abbildung der Kopplianordnung ZRRRZ

7.6.2. Die Koppelanordnung RZRRZR

Bild 7.14. zeigt die Koppelanordnung RZRRZR und deren Abbildung auf ihr äquivalentes Raumvielfachsystem.

Die Blockbildung innerhalb der PCM Struktur geschieht hier zwischen den ersten drei und den letzten drei Stufen. PCM Struktur und äquivalente Raumvielfachstruktur entsprechen sich in der Darstellung.

Für die gestrichelt eingezeichneten horizontalen Verbindungsleitungen gilt dieselbe Begründung wie in Abschnitt 7.6.1. Da diese Koppelanordnung zwei Zeitstufen besitzt, welche jedoch nicht die erste und die letzte Stufe repräsentieren, muß dies bei gemeinsamer Durchschaltung entsprechend berücksichtigt werden. Hier ist die beste Lösung, zwischen den beiden Zeitstufen quasi-symmetrisch durchzuschalten (Steuerspeicherersparnis, vgl. Kap.6).

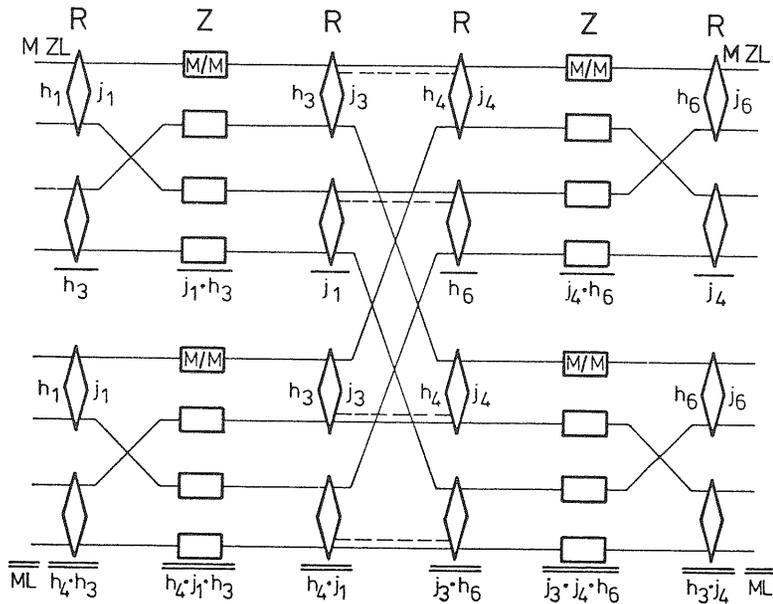


Bild 7.14 a: PCM-Koppelanordnung RZRRZR

Entwurfs - Regeln (vgl. Kap. 10)

$$h_1 = j_6, h_3 = j_3 = h_4 = j_4$$

$$j_1 = h_6 = \beta \cdot h_1$$

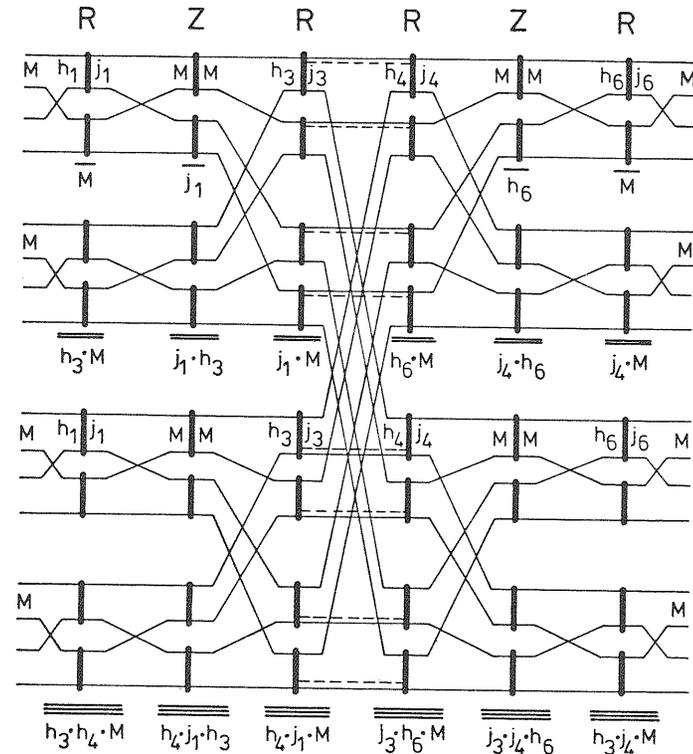


Bild 7.14 b: Abbildung der Koppelanordnung RZRRZR

8. Kostenberechnung von PCM-Koppelanordnungen

Die resultierenden Kosten einer PCM-Koppelanordnung ergeben sich als Summe der Kosten aller Torschaltungen und der hierfür notwendigen Steuerspeicherbits, ferner der Sprachspeicher und der dafür ebenfalls notwendigen Steuerspeicherbits, sowie schließlich aus evtl. zusätzlich notwendigen Hardware-Bauelementen für Ansteuerungsfunktionen.

Der Bedarf an Bauelementen eines PCM-Raumlagenvielfachs sowie jener eines PCM-Zeitlagenvielfachs wurde bereits in Kap. 2. hergeleitet. Die in diesem Kapitel enthaltene Tabelle 8.1. gibt die Formeln zur Berechnung der Anzahl notwendiger Bauelemente für alle wichtigen PCM-Koppelanordnungen aus Kap. 7. an.

Die Formeln sind so aufgebaut, daß sie anhand der Strukturbilder leicht nachvollzogen werden können.

Diese Formeln berücksichtigen die Eigenschaften der in Kap.7. behandelten Strukturen, nämlich:

- symmetrischer Aufbau
- gleiche Anzahl von kommenden und gehenden Multiplexleitungen
- quasisymmetrische Wegezuteilung bei gemeinsamer Durchschaltung

Die für die verkehrsgerechte Dimensionierung evtl. notwendige Aufweitung erscheint als Strukturparameter bei R- Stufen an erster und letzter Stelle, als Aufweitungsfaktor β bei Z- Stufen an erster und letzter Stelle.

Die Durchschalteart der Verbindungen, d.h. "getrennte" oder "gemeinsame" Durchschaltung, beeinflußt die Kosten.

Hierfür wurde der Steuerparameter E eingeführt, der bei getrennter Durchschaltung zu 2 gesetzt werden muß, bei gemeinsamer Durchschaltung entsprechend zu 1.

Bei getrennter Durchschaltung wird der Aufwand zunächst für eines der beiden gleichen Koppelnetze berechnet. Die Anzahl an Sprachspeichern und Torschaltungen für die gesamte Koppelanordnung ergibt sich hieraus durch Multiplikation mit dem Faktor 2. Für den Bedarf an Steuerspeichern ist zu beachten:

Ist die Stufenzahl geradzahlig, so ergibt sich auch hier eine Verdoppelung aller Steuerspeicherbits.

Ist die Stufenzahl ungeradzahlig, so gilt die Verdopplung nicht für die mittlere Stufe, da diese dann normalerweise immer voll bestückt wird.

Dementsprechend ist der Aufwand an Bauelementen bei gemeinsamer Durchschaltung etwas größer als die Hälfte der notwendigen Bauelemente bei getrennter Durchschaltung.

Eine Ausnahme gilt für die Strukturen RZR und RRZRR. Aufgrund der quasisymmetrischen Wegezuteilung benötigt man hier bei gemeinsamer Durchschaltung in der mittleren Stufe nur die Hälfte der Steuerspeicher verglichen mit der getrennten Durchschaltung. Dies wird mittels des Steuerparameters Q berücksichtigt.

Der Einfluß einer bitseriellen oder bitparallelen Durchschaltung der 8- Bit PCM-Worte wird durch den Parameter P berücksichtigt, der bei paralleler Durchschaltung zu einer Verachtfachung des Torschaltungsbedarfs führt, $P = 8$.

Bei der Berechnung des Zweierlogarithmus in den Formeln der Tabelle 8.1. muß in jedem Fall geprüft werden, ob das Ergebnis ganzzahlig ist. Ist dies nicht gegeben, so muß für die Kostenberechnung die nächst größere ganze Zahl an Steuerspeicherbits je Speicherzelle berücksichtigt werden.

Tabelle 8.1. erlaubt die Berechnung des notwendigen Bedarfs an Bauelementen. Um mit Hilfe dieser Formeln einen Vergleich verschiedener PCM Strukturen zu ermöglichen, ist es vorteilhaft, die Kosten für die Torschaltungen auf die Kosten pro Speicherbit zu beziehen.

Hierfür wird ein Kostenverhältnis CR eingeführt:

$$CR = \text{Kosten pro TS} / \text{Kosten pro Speicherbit} \quad (9.1)$$

Die Einführung dieses Kostenverhältnisses hat zur Folge, daß die Kosten der Torschaltungen nun ebenfalls in der Kosteneinheit

<p><u>einfache Z-Stufe</u></p> <p>SSP = $ML \cdot M \cdot 8 \cdot E$</p> <p>St SSP = $ML \cdot M \cdot 1d (ML \cdot M)$</p>	<p><u>ZRRRZ:</u></p> <p>TS = $(ML \cdot j_2 \cdot 2 + h_3 \cdot j_3 \cdot j_2) \cdot E \cdot P$</p> <p>St TS = $ML \cdot \beta \cdot M \cdot E \cdot 1d j_2 + j_2 \cdot h_3 \cdot \beta \cdot M \cdot 1d h_3$</p> <p>SSP = $ML \cdot M \cdot 2 \cdot 8 \cdot E$</p> <p>St SSP = $ML \cdot \beta \cdot M \cdot E \cdot 1d M$</p>
<p><u>ZR:</u></p> <p>TS = $h_2 \cdot j_2 \cdot E \cdot P$</p> <p>St TS = $h_2 \cdot M \cdot 1d j_2$</p> <p>SSP = $h_2 \cdot M \cdot 8 \cdot E$</p> <p>St SSP = $h_2 \cdot M \cdot 1d M$</p>	<p><u>RRZRR:</u></p> <p>TS = $(ML \cdot j_1 \cdot 2 + h_2 \cdot j_2 \cdot j_1 \cdot 2) \cdot E \cdot P$</p> <p>St TS = $(1d j_1 + \beta \cdot 1d j_2) \cdot ML \cdot M \cdot E$</p> <p>SSP = $j_1 \cdot j_2 \cdot M \cdot 8 \cdot E$</p> <p>St SSP = $j_1 \cdot j_2 \cdot M \cdot Q \cdot 1d M$</p>
<p><u>ZRZ:</u></p> <p>TS = $h_2 \cdot j_2 \cdot E \cdot P$</p> <p>St TS = $h_2 \cdot \beta \cdot M \cdot 1d j_2$</p> <p>SSP = $h_2 \cdot M \cdot 2 \cdot 8 \cdot E$</p> <p>St SSP = $h_2 \cdot \beta \cdot M \cdot E \cdot 1d M$</p>	<p><u>RZRZR:</u></p> <p>TS = $(ML \cdot j_1 \cdot 2 + h_3 \cdot j_3 \cdot j_1) \cdot E \cdot P$</p> <p>St TS = $(ML \cdot E \cdot 1d j_1 + j_1 \cdot h_3 \cdot 1d j_3) \cdot M$</p> <p>SSP = $ML \cdot \beta \cdot M \cdot 2 \cdot 8 \cdot E$</p> <p>St SSP = $ML \cdot \beta \cdot M \cdot E \cdot 1d M$</p>
<p><u>RZR:</u></p> <p>TS = $h_1 \cdot j_1 \cdot 2 \cdot E \cdot P$</p> <p>St TS = $h_1 \cdot M \cdot E \cdot 1d j_1$</p> <p>SSP = $j_1 \cdot M \cdot 8 \cdot E$</p> <p>St SSP = $j_1 \cdot M \cdot Q \cdot 1d M$</p>	<p><u>ZRRRRZ:</u></p> <p>TS = $(ML \cdot j_2 \cdot 2 + 2 \cdot h_3 \cdot j_3 \cdot j_2) \cdot E \cdot P$</p> <p>St TS = $(ML \cdot \beta \cdot M \cdot 1d j_2 + j_2 \cdot h_3 \cdot \beta \cdot M \cdot 1d j_3) \cdot E$</p> <p>SSP = $ML \cdot M \cdot 2 \cdot 8 \cdot E$</p> <p>St SSP = $ML \cdot \beta \cdot M \cdot E \cdot 1d M$</p>
<p><u>ZRRZ:</u></p> <p>TS = $ML \cdot j_2 \cdot 2 \cdot E \cdot P$</p> <p>St TS = $ML \cdot \beta \cdot M \cdot E \cdot 1d j_2$</p> <p>SSP = $ML \cdot M \cdot 2 \cdot 8 \cdot E$</p> <p>St SSP = $ML \cdot \beta \cdot M \cdot E \cdot 1d M$</p>	<p><u>RZRRZR:</u></p> <p>TS = $(ML \cdot j_1 \cdot 2 + ML \cdot \beta \cdot j_3 \cdot 2) \cdot E \cdot P$</p> <p>St TS = $(ML \cdot 1d j_1 + ML \cdot \beta \cdot 1d j_3) \cdot M \cdot E$</p> <p>SSP = $ML \cdot \beta \cdot M \cdot 2 \cdot 8 \cdot E$</p> <p>St SSP = $ML \cdot \beta \cdot M \cdot E \cdot 1d M$</p>

Tabelle 8.1.

Legende:

- TS: Anzahl an Torschaltungen
- St TS: Anzahl der Speicherspeicherbits für die Torschaltungen
- SSP: Anzahl der Sprachspeicherbits
- St SSP: Anzahl der Speicherspeicherbits 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
Q = 1: symmetrische Wegezuteilung
Q = 0,5: quasisymmetrische Wegezuteilung
- P: Steuerparameter für die Durchschaltung
P = 1: serielle Durchschaltung
P = 8: parallele Durchschaltung
- 1d a: Logarithmus dualis $\log_2 a$ (ganzzahlig nach oben runden)

Speicherbit ausgedrückt werden können. Damit ergeben sich die relativen Kosten einer PCM-Koppelanordnung zu

$$\text{rel. Kosten} = (\text{CR} \cdot \text{TS} + \text{StTS} + \text{SSP} + \text{StSSP}) \text{ Bit} \quad (9.2)$$

Es ist zu beachten, daß die Einheit der rel. Kosten das Speicherbit ist.

Änderungen in der Technologie, vor allem die zur Zeit stark fallenden Preise für Bauelemente, wirken sich auf die relativen Kosten nur in einer evtl. notwendigen Anpassung des Kostenverhältnisses CR aus.

In der passenden Wahl des Kostenverhältnisses liegt auch die Möglichkeit, zusätzliche Hardwareelemente zu berücksichtigen. Grundsätzlich müssen die zur Ansteuerung der Speicher und Torschaltungen notwendigen Baugruppen in jedem Fall in die Bit- und Torschaltungspreise anteilmäßig hinzugerechnet werden.

Für die im folgenden durchgeführten Kostenvergleiche wird eine Normierung der resultierenden Kosten auf die Anzahl der insgesamt ankommenden Zeitlagen aller ans Koppelnetz angeschlossener Highways durchgeführt.

Hieraus folgen die normierten Kosten je Zeitlage in der Einheit Speicher-Bit.

$$\text{Kosten je ZL / Bit} \quad (9.3)$$

Als Beispiel für die Kostenberechnung zeigt Bild 8.1. die Kosten einer ZRRRZ Koppelanordnung mit 144 Highways und gemeinsamer Durchschaltung. Die Zahl der Zeitlagen pro Multiplexleitung ist hier 30, in die Koppelnmatrizen der zweiten Stufen führen je 12 ML.

Die Kosten je Zeitlage in der Einheit Bit (Abszisse) ergeben sich als Funktion des Aufweitungsfaktors β , aufgetragen auf der Ordinate und des Kurvenparameters CR für das Kostenverhältnis. Die Steilheit der Kurven zeigt, wie stark die Aufweitung in die Kosten eingeht. Man sieht, daß die hier angewandte Aufweitung durch Erhöhung der Zahl interner Zeitlagen eine verhältnismäßig günstige Aufweigungsart ist (große Steigung).

Der Einfluß steigender Torschaltungspreise (größere CR- Werte) auf die normierten Kosten ist deutlich.

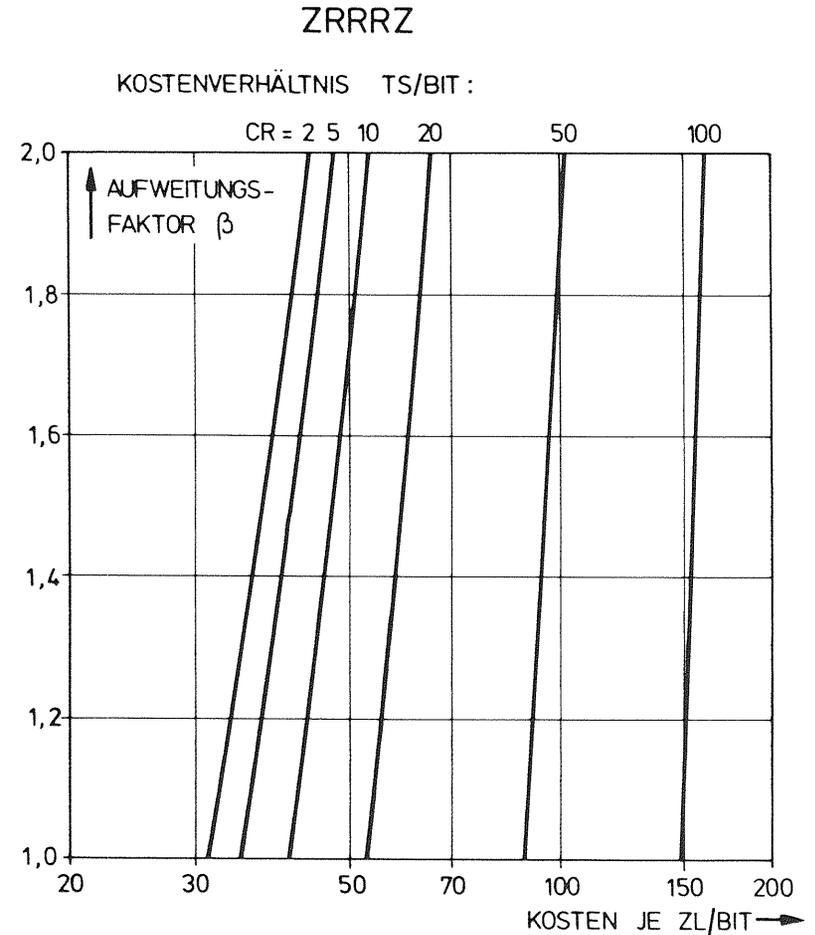


Bild 8.1: Normierte Kosten je Zeitlage der KAN ZRRRZ
ML = 144, M = 30, h₂ = 12

9. Ergebnisse

In diesem Kapitel werden typische Kostenvergleiche sowie Vergleiche der Verkehrsleistung verschiedener Typen von PCM-Koppelanordnungen vorgestellt.

Die Struktur aller vorgestellten Systeme fußt auf den in den vorangehenden Kapiteln erarbeiteten Grundlagen. Ferner sind die im folgenden Kapitel 10. hergeleiteten Optimierungsverfahren bereits berücksichtigt (Verfahren PCM 1, PCM 2 und PCM 3).

In allen Fällen wird hier das Verfahren PCM 1 benutzt, das folgende Regeln für die kostengünstigste Größe h_i bzw. j_i der Koppelmatrizen liefert:

Bei allen sechsstufigen Strukturen ergibt sich die Zahl der Multiplexleitungen h_i bzw. j_i je Raumlagenvielfach aus der 3. Wurzel der Zahl der an einer Seite an die Koppelanordnung angeschlossenen Multiplexleitungen ($\sqrt[3]{ML}$).

Bei allen fünf- und vierstufigen Strukturen ergibt sich die Zahl der ML je RLVf aus der 2. Wurzel der Zahl angeschlossener Multiplexleitungen.

Bei dreistufigen Koppelanordnungen ist keine Optimierung möglich, da hier stets h_i bzw. j_i gleich der Zahl angeschlossener Multiplexleitungen ist.

Wenn in den folgenden Vergleichen die Zahl der Zeitlagen pro Multiplexleitung oft zu 30 angenommen wird, so liegen dennoch PCM 30/32 Systeme gedanklich zugrunde. Die in solchen PCM 30/32 vorhandenen Zeitlagen 0 bzw. 16 stehen für Sprachzwecke nicht zur Verfügung, da sie für Synchronisation und Signalisierung verwendet werden. Deshalb muß die gesamte Zahl von 32 Zeitlagen um diese beiden Zeitlagen verringert werden.

Alle im folgenden vorgestellten Vergleiche und Ergebnisse wurden mit einem in mehrjähriger Arbeit erstellten Programmsystem berechnet. Das Programmsystem besteht aus ca. 25 Arbeitsprogrammen, die unter Kontrolle eines Steuerprogramms entsprechend der jeweiligen Aufgabe selbständig aufgerufen und gestartet werden.

Der Datenaustausch zwischen den einzelnen Programmen erfolgt über eine aufwendige Dateiorganisation auf einem externen magnetischen Plattenspeicher.

Diese Programmstruktur erlaubt eine saubere Trennung der Arbeitsprogramme untereinander und deren leichte Erweiterbarkeit im Falle neuer Aufgabenstellungen.

Alle Programme sind in Anlehnung an die Richtlinien der strukturierten Programmierung erstellt und verkehren untereinander nur auf der Basis exakter Schnittstellen. Die Kommunikation zwischen den Programmen geschieht über Meldungen, die mittels des externen Plattenspeichers ausgetauscht werden.

Eine genaue Beschreibung des Programmsystems ist in /34/ zu finden.

9.1. Typische Diagramme für den Zusammenhang zwischen Verkehrsbelastung und Verlustwahrscheinlichkeit

In diesem Abschnitt werden anhand der Diagramme 9.2- 9.5 der Punkt-Punkt Verlustwahrscheinlichkeit als Funktion der Verkehrsbelastung die Verkehrseigenschaften einiger PCM-Koppelanordnungen diskutiert. Die betrachteten Koppelanordnungen sind vom Typ ZRZ, RZR, RRZRR und ZRRRZ. An jede Koppelanordnung sind an jeder Seite 64 Multiplexleitungen mit je 30 Zeitlagen angeschlossen. Die Bilder 9.1.a - 9.1.d zeigen diese PCM-Koppelanordnungen zusammen mit ihrer jeweiligen Abbildung auf ihr äquivalentes Raumvielfachsystem.

Wie in Kap.5. erläutert, gelten diese Kurven der Verlustwahrscheinlichkeit sowohl für Koppelanordnungen mit gemeinsamer Durchschaltung und insgesamt 64 angeschlossenen Highways, als auch für Koppelanordnungen mit getrennter Durchschaltung und insgesamt 128 angeschlossenen Highways.

Aufgrund der Optimierungsart PCM 1 erhalten die fünfstufigen Anordnungen einheitliche Koppelmatrizen mit je 8 Multiplexleitungen auf beiden Seiten.

Bei allen Koppelanordnungen mit Raumlagenvielfachen in Stufe 1

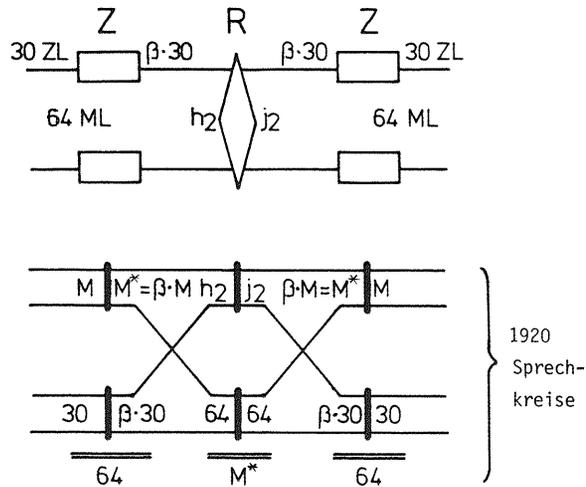


Bild 9.1.a: Koppelanordnung ZRZ mit äquivalentem Raumvielfachsystem

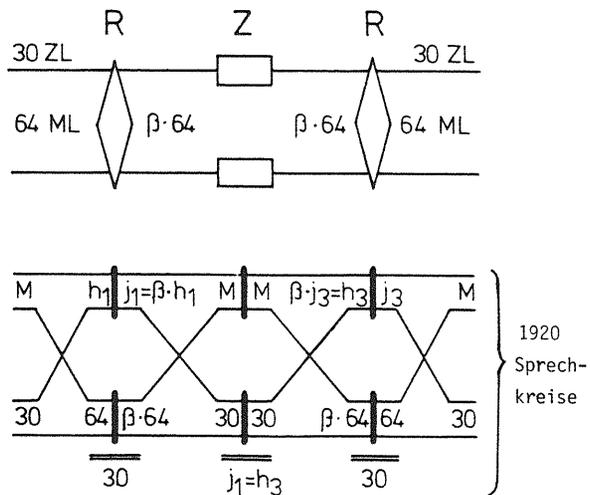


Bild 9.1.b: Koppelanordnung RZR mit äquivalentem Raumvielfachsystem

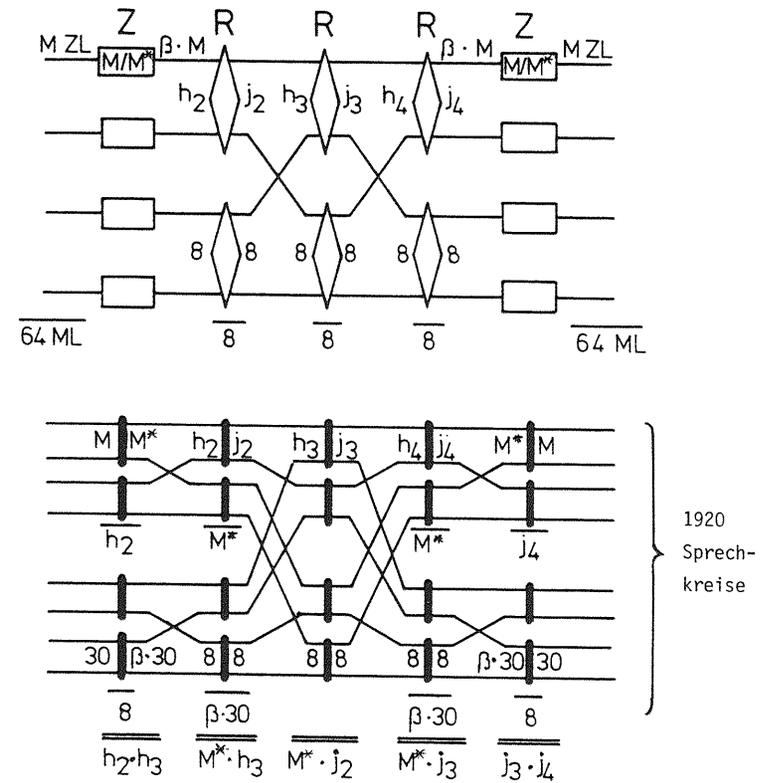


Bild 9.1.c: Koppelanordnung ZRRRZ mit äquivalentem Raumvielfachsystem

und Stufe S, hier RZR und RRZRR, kann jedoch eine Aufweitung dieser Raumlagenvielfache auf $j_1 = \beta h_1$ und $h_5 = \beta j_5$ notwendig werden, um den vorgeschriebenen Punktverlust einzuhalten, vgl. Kap.4.9.5.

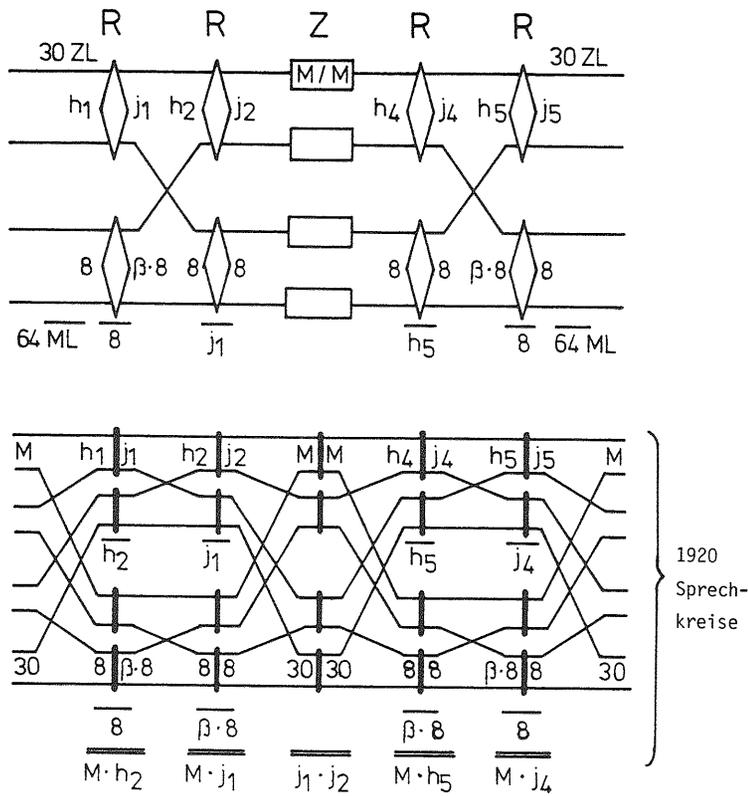


Bild 9.1.d: Koppelanordnung RRZRR mit äquivalentem Raumvielfachsystem

Zunächst seien die beiden dreistufigen Systeme ZRZ und RZR miteinander verglichen. Die Bilder 9.2 und 9.3 zeigen deren Punktverlust B_{pp} aufgetragen über der Verkehrsbelastung je Zeitlage Y/ZL . Kurvenparameter ist der Aufweitungsfaktor β . Deutlich ist zu erkennen, daß für eine vorgeschriebene Verlustwahrscheinlichkeit B_{pp} die zulässige Verkehrsbelastung je Zeitlage Y/ZL mit wachsender Aufweitung β die Verlustwahrscheinlichkeit bei festgehaltener Belastung Y/ZL .

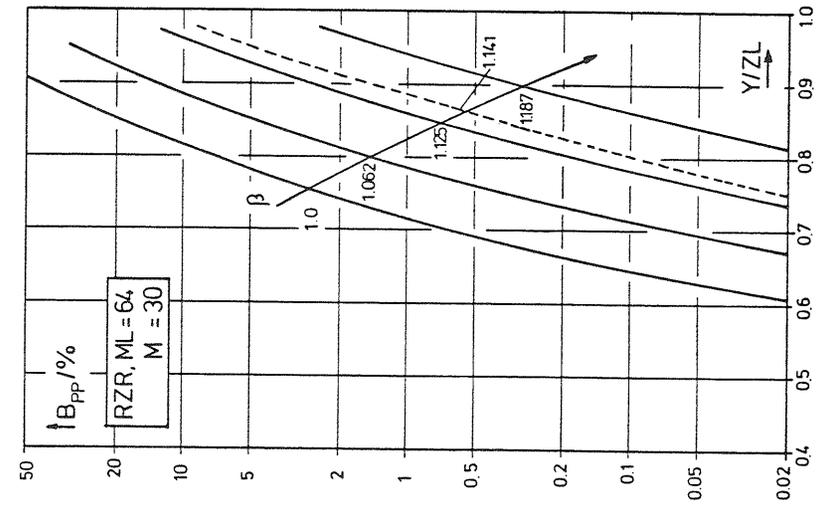


Bild 9.3: Punktverlust der RZR Kan
vgl. Struktur Bild 9.1.b

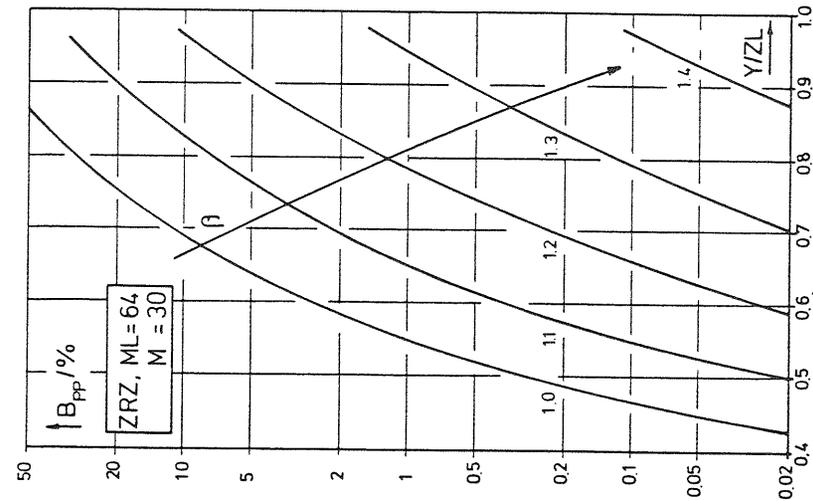


Bild 9.2: Punktverlust der ZRZ Kan
vgl. Struktur Bild 9.1.a

Stark unterschiedlich ist allerdings bei den beiden Strukturen die notwendige Aufweitung, die eingestellt werden muß, um einen gewünschten "Arbeitspunkt" der Koppelanordnung, z.B. 0.1% Verlust bei $Y/ZL = 0.8$ Erl. zu erreichen. Die ZRZ Koppelanordnung erfordert hierfür eine Aufweitung β von ca. 1.3, die RZR Struktur muß um ca. den Faktor 1.19 aufgeweitet werden. Diese notwendige geringere Aufweitung der Struktur RZR gilt im Vergleich dieser beiden Koppelanordnungen grundsätzlich für alle Belastungs- und Verlustwerte. Dies sollte aber nicht zu dem Schluß führen, die RZR Struktur sei die "bessere", denn betrachtet man die Kosten der beiden Lösungen, so gilt für den als Beispiel angegebenen Arbeitspunkt bei einem Kostenverhältnis $CR = 10$:

- die RZR Struktur erfordert Kosten von 66.8 Bit/ZL
- die ZRZ Struktur erfordert Kosten von 51.6 Bit/ZL.

Dieses Ergebnis zeigt, daß trotz größerer notwendiger Aufweitung die ZRZ Koppelanordnung wirtschaftlicher realisiert werden kann.

Als nächstes seien die Kurven der Verlustwahrscheinlichkeit der dreistufigen ZRZ- und der fünfstufigen ZRRRZ Struktur betrachtet, Bild 9.2. und 9.4. Der Vergleich zeigt, daß zum Erreichen einer bestimmten Verlustwahrscheinlichkeit für eine vorgegebene Belastung, die ZRRRZ Struktur stärker aufgeweitet werden muß als die ZRZ Struktur. Dies läßt sich folgendermaßen erklären:

Betrachtet man die äquivalente Raumvielfachdarstellung der ZRRRZ Koppelanordnung, Bild 9.1.c, so können die mittleren drei Stufen als "Kernlinksystem" aufgefaßt werden. Zum Herstellen einer Verbindung stehen dann im Verbindungsgraphen M^* verschiedene dreistufige "Kernlinksysteme" zur Verfügung. Wären diese "Kernlinksysteme" blockierungsfrei, so könnten sie durch M^* Koppelvielfache ersetzt werden. Dies hätte zur Folge, daß die gesamte Anordnung dann dieselbe Verkehrsgüte wie die ZRZ Struktur hätte. Da aber die "Kernlinksysteme" nicht blockierungsfrei sind, muß die Verlustwahrscheinlichkeit für einen bestimmten Belastungswert ansteigen.

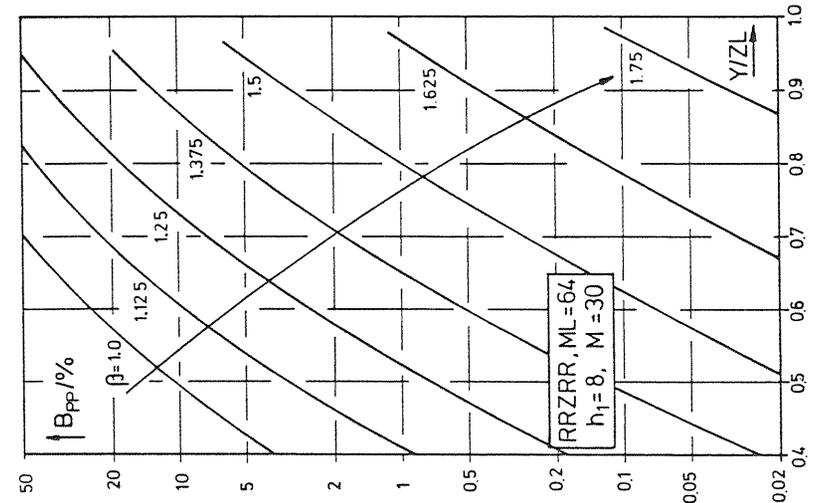


Bild 9.5.: Punkterverlust der RRZRR KAn
vgl. Struktur Bild 9.1.d

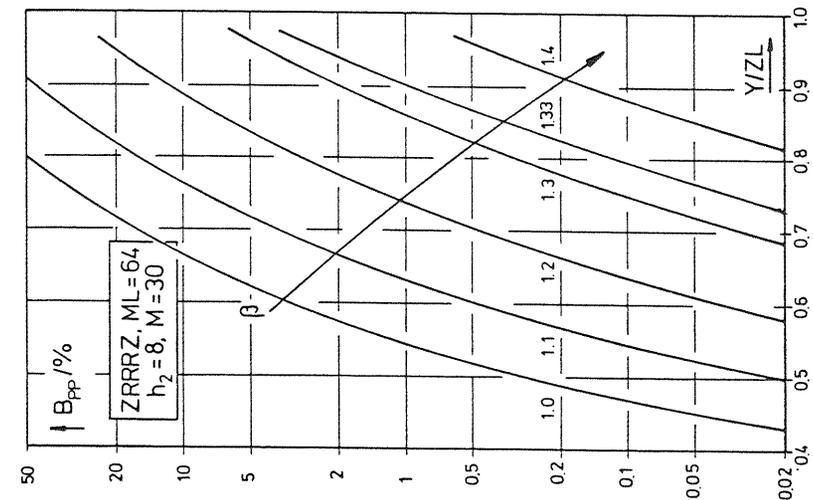


Bild 9.4.: Punkterverlust der ZRRRZ KAn
vgl. Struktur Bild 9.1.c

Ein Kostenvergleich mit den beiden dreistufigen Systemen zeigt, daß die Struktur ZRRRZ bei gleichem Arbeitspunkt wirtschaftlicher ist:

- die ZRRRZ Struktur erfordert Kosten von 38.7 Bit/ZL.

Damit gilt, daß die fünfstufige Struktur mit der kleineren Aufweitung die billigere ist.

Nun zum Vergleich der beiden fünfstufigen Systeme untereinander. Zur Einstellung einer Verlustwahrscheinlichkeit von 0.1% bei einer vorgegebenen Verkehrsbelastung von 0.8 Erl/ZL muß die Struktur ZRRRZ mit dem Faktor 1.33 aufgeweitet werden, die Struktur RRZRR mit dem Faktor 1.625. Hier verhält sich die notwendige Aufweitung also genau umgekehrt wie bei den dreistufigen Systemen. Vergleicht man die Kosten der RRZRR Struktur in diesem Arbeitspunkt mit denen der ZRRRZ Koppelanordnung so gilt:

- die RRZRR Struktur erfordert Kosten von 43.3 Bit/ZL.

Der Vergleich aller vier Systeme zeigt, daß die fünfstufigen Anordnungen von der Realisierung des Koppelnetzes her die wirtschaftlichere Lösung darstellen, obwohl sie in allen Fällen stärker aufgeweitet werden müssen. Allerdings sollte bedacht werden, daß die Steuerung einer fünfstufigen Koppelanordnung einen größeren Aufwand erfordert als er für eine dreistufige Anordnung zu erbringen ist.

Bei dem Entwurf von Koppelanordnungen erweist sich oft eine andere Darstellung der Verlustkurven als günstig, die eine einfache Ermittlung der notwendigen Aufweitung für eine vorgegebene Verkehrsgüte erlaubt.

Bild 9.6. zeigt eine solche Darstellung für die Koppelanordnung ZRZ. Der Aufweitungsfaktor β ist jetzt über der Verkehrsbelastung je Zeitlage aufgetragen, wobei die Verlustwahrscheinlichkeit der Kurvenparameter ist.

Errichtet man eine Senkrechte auf dem Abszissenwert der gewünschten Verkehrsbelastung, so liefert der Schnittpunkt dieser Geraden mit der betrachteten Kurve konstanten Verlustes den notwendigen Aufweitungsfaktor β auf der Ordinate. Es ist in der Praxis zu prüfen, ob dieser Faktor eine ganzzahlige Realisierung erlaubt; ansonsten muß zur nächst größeren ganzzahligen Lösung gerundet werden.

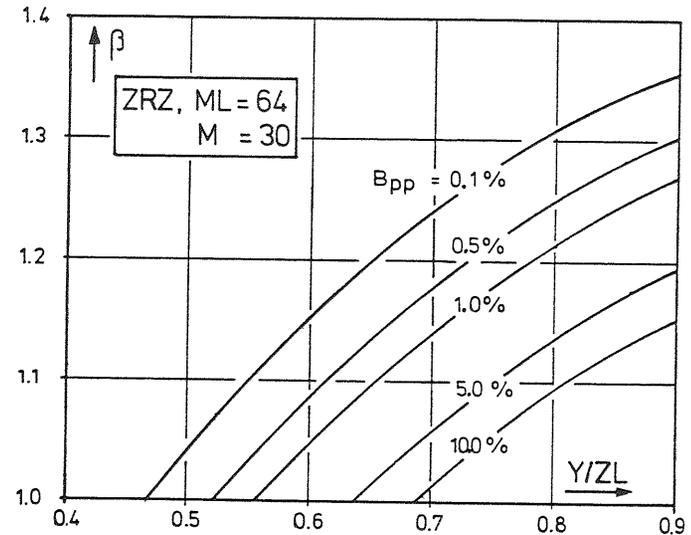


Bild 9.6: Verlustwahrscheinlichkeit als Kurvenparameter zur Bestimmung der Aufweitung β

9.2. Normierte Kosten als Funktion des Strukturtyps und der Zahl angeschlossener Highways

Bild 9.7. zeigt einen Kostenvergleich aller untersuchten PCM-Koppelanordnungen, aufgetragen über der Anzahl angeschlossener Highways. Parameter dieses Vergleiches sind gemeinsame Durchschaltung für beide Sprechrichtungen, 30 Zeitlagen je Multiplexleitung, ein Kostenverhältnis CR = 5 und eine Verkehrsgüte mit 0.1% Verlustwahrscheinlichkeit für eine Verkehrsbelastung von 0.8 Erl je Zeitlage.

Die Berechnung dieses Diagramms ist sehr zeitaufwendig, da die notwendige Aufweitung für die vorgeschriebene Verkehrsgüte nur iterativ bestimmt werden kann. Diese iterative Berechnung muß für alle Koppelanordnungen und sehr viele Highwayzahlen je Koppelanordnung durchgeführt werden.

Nicht eingeschlossen in das Diagramm ist die einstufige Anordnung Z. Ein Kostenvergleich gestaltet sich hier schwierig, da diese Koppelanordnung zum einen blockierungsfrei arbeitet, andererseits aber nur Speicherbits in die Kostenberechnung einbringt. Ein fairer Vergleich mit den anderen Strukturen erscheint deshalb nur für ein konkretes Realisierungsbeispiel möglich, bei dem auch die Zusatzkosten, insbesondere für Multiplexer und Demultiplexer, vgl. Kap.7, berücksichtigt werden.

Bild 9.7. zeigt die folgenden Tendenzen:

Die beiden dreistufigen Koppelanordnungen weisen einen starken Kostenanstieg mit ansteigender Highwayzahl auf, der sie schon bei etwa 100 angeschlossenen Highways zu den teuersten Strukturen werden läßt.

Die Koppelanordnungen RZRZR und RZRRZR sind über den gesamten betrachteten Bereich relativ teuer, was im wesentlichen von den Raumstufen als erster und letzter Stufe herrührt, die zur Einstellung einer gewünschten Verkehrsgüte stark aufgeweitet

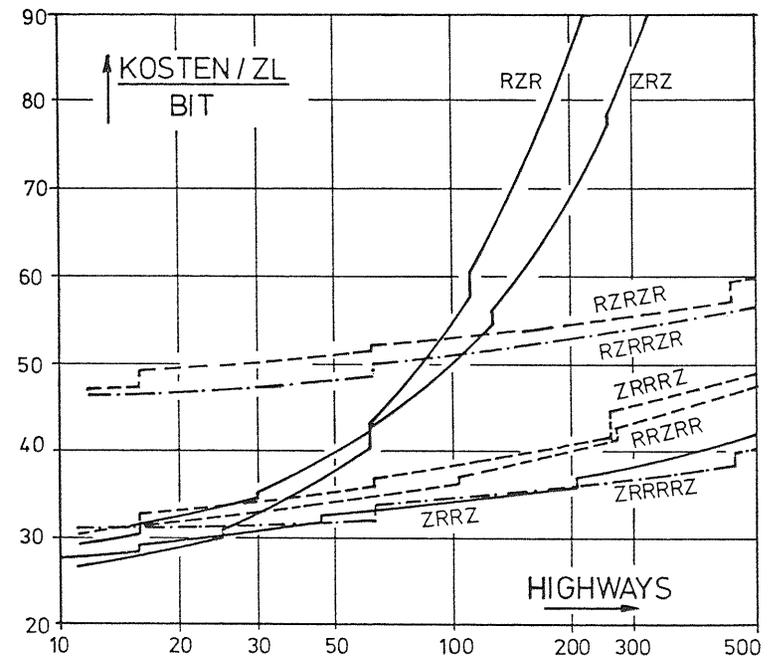


Bild 9.7: Kostenvergleich aller untersuchten PCM-Koppelanordnungen
Y/ZL = 0.8 Erl, Bpp = 0.1%, M = 30 ZL/ML, CR = 5

werden müssen.

Im Gegensatz hierzu ist die Koppelanordnung RRZRR trotz der Raumstufe als erster und letzter Stufe entscheidend billiger. Der Grund liegt in der quasisymmetrischen Durchschalteart, die es erlaubt, zusätzlich die Hälfte der Speicherspeicher der mittleren Stufe einzusparen.

Die Struktur ZRRRRZ liegt mit ihren Kosten an der Grenze zwischen den R..R Strukturen und den Z..Z Strukturen, mit Ausnahme der dreistufigen Systeme.

Die verbleibenden Strukturen ZRRZ und ZRRRRZ sind über fast den gesamten Bereich die günstigsten. Es darf allerdings nicht außer acht gelassen werden, daß der Steuerungsaufwand für die Wegesuche im Vermittlungsrechner mit wachsender Stufenzahl zunimmt.

Die Sprünge in den Kurven resultieren hauptsächlich aus einem Anwachsen der Adressierungsbreite der Speicherspeicher für die Torschaltungen.

Immer wenn die Zahl der zu adressierenden Torschaltungen eine Zweierpotenz überschreitet, muß ein weiteres Bit in den entsprechenden Speichern hinzugefügt werden. Typisch sind die Sprünge der Struktur ZRZ bei 16, 32, 64, 128 und 256 Highways.

Als Ergebnis bleibt festzuhalten:

Die Strukturen RZRZR und RZRZR sind verhältnismäßig teuer und aufwendig in ihrer Steuerung.

Die Strukturen ZRZ und RZR werden zwar für größere Highwayzahlen unwirtschaftlich, sind aber im unteren Bereich sehr kostengünstig. Bedenkt man, daß hier die Steuerung einfach zu realisieren ist, so verdienen diese Strukturen besondere Beachtung (im nächsten Abschnitt wird hierzu ein Beispiel gezeigt).

Die Strukturen ZRRZ und ZRRRRZ sind wirtschaftliche Lösungen, insbesondere für große Highway-Zahlen.

Die Strukturen ZRRRZ und RRZRR liegen kostenmäßig in der Mitte. Beachtet man die in Kap. 7. vorgestellte Möglichkeit der Steuerungsvereinfachung bei der Struktur RRZRR, sowie deren Möglichkeit für Bündelmarkierung, so erscheint diese PCM-Koppelanordnung ebenfalls eine wirtschaftliche Lösung zu sein.

9.3. Einfluß der Zeitlagenzahl je Multiplexleitung auf die Verkehrsleistung und die normierten Kosten

In diesem Abschnitt wird gezeigt, wie sich die Zahl der Zeitlagen je Multiplexleitung auf die Verkehrsleistung und die Kosten der PCM-Koppelanordnungen auswirkt.

Grundgedanke ist, die Koppelanordnung zu verkleinern, indem vor der Koppelanordnung eine Multiplexbildung durchgeführt wird, z.B. die Zusammenfassung von 4 PCM 30 Systemen in ein PCM 120 System. Dadurch benötigt man kleinere Koppelmatrizen

und damit weniger Torschaltungen. Die verbleibenden Torschaltungen werden jedoch nicht teurer, da deren Grenzfrequenz bei der heute gängigen Technologie ohnehin über 2 MHz liegt. Die Zahl der Sprachspeicherbits wird ungefähr konstant bleiben, lediglich die Anzahl notwendiger Speicherspeicherbits für Sprachspeicher und Torschaltungen kann evtl. anwachsen. Dies bleibt im Einzelfall zu prüfen.

Bild 9.8. zeigt die prinzipielle Vorgehensweise am Beispiel der beiden dreistufigen Koppelanordnungen ZRZ und RZR.

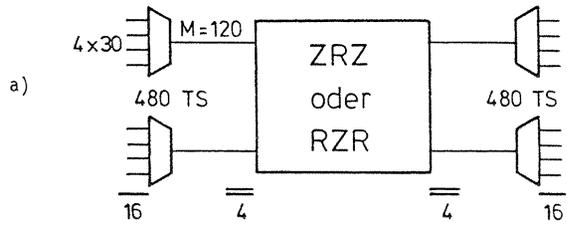
An beide Koppelanordnungen sind an jeder Seite 480 Zeitlagen angeschlossen (16 PCM 30/32 Systeme). Durch Multiplexbildung vor der Vermittlung wird die Zahl der zur Koppelanordnung führenden Multiplexleitungen von 16 auf 4 gesenkt. Jede dieser 4 ML führt dafür 120 Zeitlagen, vgl. Bild 9.8.

Im Bild 9.8.b und 9.8.c sind die sich so ergebenden äquivalenten Raumvielfachsysteme dargestellt.

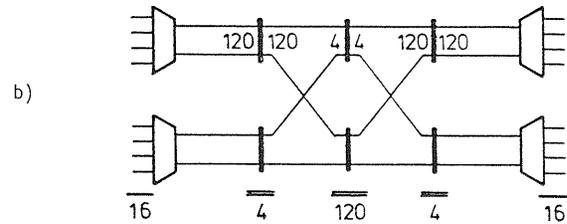
Die Realisierung mit Multiplexleitungen zu je 30 Zeitlagen hätte im Fall der Koppelanordnung ZRZ Koppelvielfache mit 30 Eingängen, bzw. Ausgängen in der ersten und letzten Stufe zur Folge; mit 120 Zeitlagen je Multiplexleitung steigt deren Größe auf 120 Eingänge bzw. Ausgänge an, vgl. Bild 9.8.b. PCM 30-Systeme hätten bei der Koppelanordnung RZR Koppelvielfache mit je 16 Eingängen bzw. Ausgängen in der ersten und letzten Stufe zur Folge, mit 120 Zeitlagen je ML sinkt die Größe der Koppelvielfache auf 4 Eingänge bzw. Ausgänge ab, vgl. Bild 9.8.c.

Wie in Kap.9.1. gezeigt, beeinflußt die Größe der Koppelvielfache sehr stark die notwendige Aufweitung in Stufe 1 zum Erreichen einer vorgeschriebenen Verkehrsleistung.

Bild 9.9. zeigt die sich ergebenden Verlustkurven beider Koppelanordnungen. Das linke Diagramm gilt für das ZRZ System und zeigt die Verlustwahrscheinlichkeit Bpp für 3 unterschiedliche Lösungen mit $M = 30$, $M = 60$ und $M = 120$ Zeitlagen je Multiplexleitung. Alle drei vorgestellten Systeme sind nicht aufgeweitet, um



äquivalentes RVf-System zur ZRZ-Struktur



äquivalentes RVf-System zur RZR-Struktur

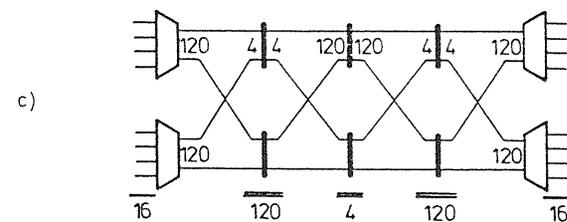
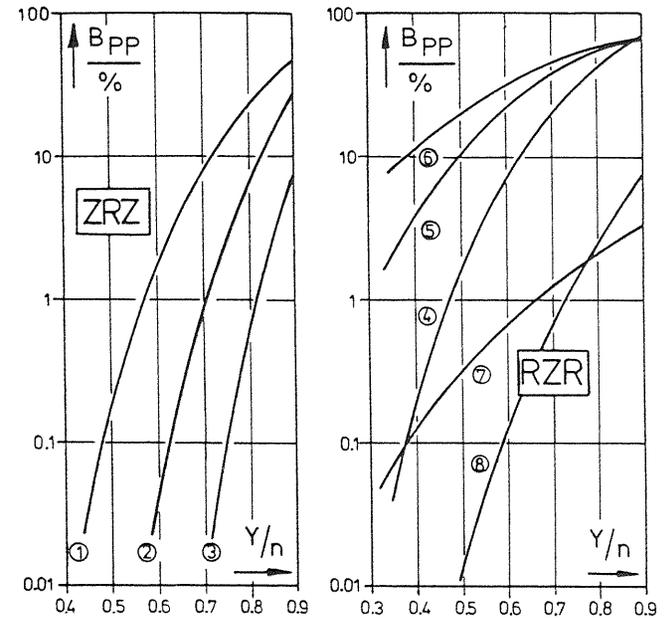


Bild 9.8: Multiplexbildung vor der Vermittlung
Beispiel ZRZ- und RZR-Koppelanordnung



①	$\frac{30 30}{16}$	$\frac{16 16}{30}$	$\frac{30 30}{16}$	M = 30	④	$\frac{16 16}{30}$	$\frac{30 30}{16}$	$\frac{16 16}{30}$
②	$\frac{60 60}{8}$	$\frac{8 8}{60}$	$\frac{60 60}{8}$	M = 60	⑤	$\frac{8 8}{60}$	$\frac{60 60}{8}$	$\frac{8 8}{60}$
③	$\frac{120 120}{4}$	$\frac{4 4}{120}$	$\frac{120 120}{4}$	M = 120	⑥	$\frac{4 4}{120}$	$\frac{120 120}{4}$	$\frac{4 4}{120}$
				M = 120	⑦	$\frac{4 6}{120}$	$\frac{120 120}{6}$	$\frac{6 4}{120}$
				M = 30	⑧	$\frac{16 20}{30}$	$\frac{30 30}{20}$	$\frac{20 16}{30}$

Bild 9.9: Einfluß der Multiplexbildung auf die Verlustwahrscheinlichkeit

den Einfluß der größer werdenden Koppelvielfache deutlich zu zeigen. Betrachtet man z. B. die Verlustkurven für eine Verkehrsbelastung je Leitung von 0.8 Erl, so sinkt der Verlust zwischen Kurve 1 und 3, also mit wachsender Koppelvielfachgröße, um mehr als den Faktor 10.

Berechnet man die resultierenden Kosten je ZL so gilt für

- M = 30 ZL/ML, Kosten je Zeitlage 28 Bit (CR = 5)
- M = 120 ZL/ML, Kosten je Zeitlage 25 Bit (CR = 5).

Die tatsächliche Kostenersparnis bei M = 120 ist allerdings noch größer, weil die Struktur mit 30 ZL/ML noch aufgeweitet werden müßte, um dieselbe Verkehrsleistung zu erreichen wie jene mit 120 ZL/ML.

Zusätzlich sind dann allerdings die Kosten für die Multiplex- und Demultiplexbildung zu berücksichtigen.

Das rechte Diagramm zeigt mit den Kurven 4,5 und 6 die Verhältnisse bei der RZR-Koppelanordnung. Hier führt, bei gleicher Belastung Y/n , die steigende Anzahl der Zeitlagen je Multiplexleitung zu einer starken Erhöhung der Verlustwahrscheinlichkeit als Folge der kleiner werdenden Koppelvielfache (Stufe 1 und 3 in der Raumvielfach- Kurznotation). Zunächst erscheint damit die Multiplexbildung in diesem Fall nicht von Vorteil zu sein, doch seien auch hier die resultierenden Kosten je Zeitlage berechnet:

- M = 30 ZL/ML, Kosten je Zeitlage 22 Bit (CR = 5)
- M = 120 ZL/ML, Kosten je Zeitlage 17 Bit (CR = 5).

Eine deutliche Reduzierung der Kosten bei M = 120 tritt auch hier auf, allerdings verbunden mit einer höheren Verlustwahrscheinlichkeit (vgl. Kurve 4 mit Kurve 6).

Die Strukturen der Kurven 4 und 6 werden nunmehr so aufgeweitet, daß die Verlustwahrscheinlichkeit bei einer Verkehrsbelastung von 0.8 Erl nur etwa 2% beträgt. Dies ist mit einer Aufweitung 4/6

für M = 120, bzw 16/20 für M = 30 möglich (Kurve 7,8). Berechnet man die resultierenden Kosten dieser verkehrsmäßig angepaßten Systeme so erhält man

- M = 30 ZL/ML, Kosten je Zeitlage 28 Bit (CR = 5)
- M = 120 ZL/ML, Kosten je Zeitlage 26 Bit (CR = 5).

Der Vergleich mit der ZRZ Koppelanordnung zeigt, daß die RZR Strukturen nicht entscheidend teurer sind. Deshalb ist diese Möglichkeit der Multiplexbildung vor der Vermittlung auch für R..R Strukturen ein gangbarer Weg.

Der nächste Abschnitt vergleicht alle behandelten PCM-Koppelanordnungen bezüglich der Möglichkeit der Multiplexbildung (M = 30, 60 oder 120) und den entstehenden Kosten je Zeitlage.

9.4. Kostenvergleich unter Berücksichtigung der Durchschalteart und der Zahl der Zeitlagen je Multiplexleitung

Dieser Abschnitt zeigt einen Kostenvergleich aller PCM Koppelanordnungen bei einer vorgegebenen gleichbleibenden Verkehrsgüte und gleicher Größe aller Strukturen. Veränderlich ist die Zahl der Zeitlagen je Multiplexleitung und die Durchschalteart. Bild 9.10. zeigt die Resultate.

Die konstante Zahl der angeschlossenen kommenden Zeitlagen, gleich Zahl der Sprechkreise, liegt bei 4320. Entsprechend der Zeitlagenzahl je Multiplexleitung, M = 30, 60 oder 120, ergibt sich die Zahl angeschlossener Highways zu 144, 72 oder 36.

Abhängig von der Durchschalteart ändert sich die Größe der Koppelanordnungen zusätzlich.

Bei gemeinsamer Durchschaltung und M =30 sind alle 144 Highways an dasselbe Koppelnetz angeschlossen;

bei getrennter Durchschaltung und gleicher Highwayzahl ergeben sich zwei Koppelnetze mit je 72 angeschlossenen Highways.

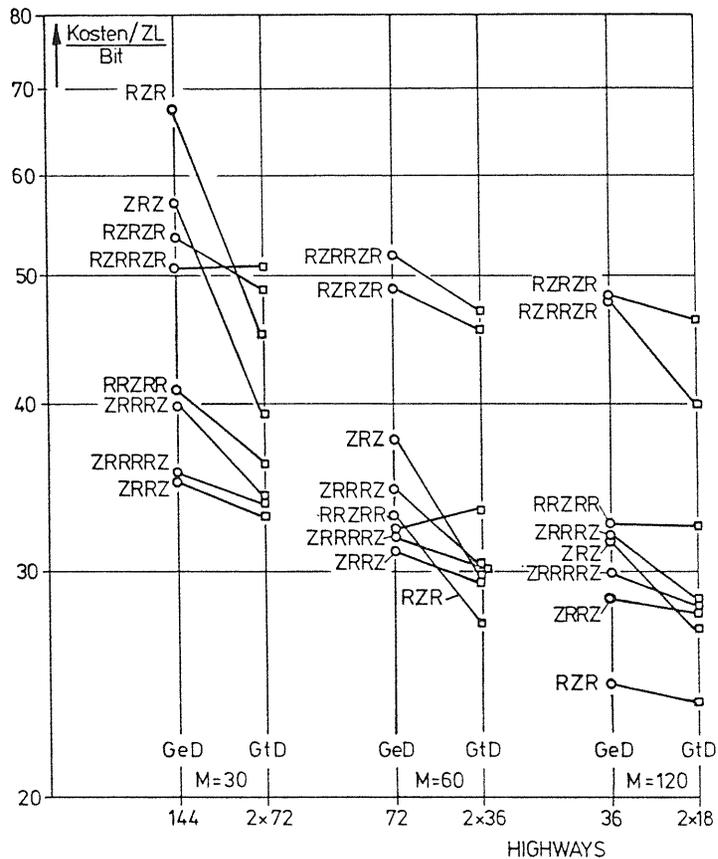


Bild 9.10: Kostenvergleich für unterschiedliche Durchschaltearten und unterschiedliche Zeitlagenzahl je Multiplexleitung, sowie 4320 angeschlossenen Sprachkreisen (2160 "Durchgänge")
 $Y/ZL = 0.8 \text{ Erl}$, $Bpp = 0.1\%$, $CR = 5$

Wie in Kap.5. gezeigt, bedeutet die getrennte Durchschaltung eine gewisse Einschränkung, da nicht mehr jeder Teilnehmer mit jedem anderen verkehren kann, sondern nur noch Verbindungen von kommenden zu gehenden Highways möglich sind.

Für $M = 60 \text{ ZL/ML}$ besitzt das einzige Koppelnetz bei GeD 72 angeschlossene Highways; jedes der beiden Koppelnetze hat bei GtD je 36 Highways.

Für $M = 120 \text{ ZL/ML}$ gilt das Entsprechende mit 36 Highways oder zweimal je 18 HW.

Alle Koppelanordnungen sind so aufgeweitet, daß sich ein Punktverlust von 0.1% für die vorgegebene Verkehrsbelastung von 0.8 Erl einstellt. Die Optimierungsart der fünf- und sechsstufigen Strukturen ist PCM 1.

Das Diagramm zeigt drei wesentliche Tendenzen:

Erstens:

Die relativen Kosten je Zeitlage sinken, wenn die Anzahl der Zeitlagen je Multiplexleitung (bei konstanter Sprechkreiszahl) steigt. Dies gilt sowohl für den Vergleich bei gemeinsamer Durchschaltung (Kreise) als auch bei getrennter Durchschaltung (Quadrate).

Das Sinken der Kosten beruht im Wesentlichen auf der Reduzierung der Zahl benötigter Torschaltungen.

In dieser Annahme ist eingeschlossen, daß die heute gängige Technologie eine Vervierfachung der Taktfrequenz, 8 statt 2 MHz, ohne Mehrkosten erlaubt. Die Zahl der Steuerspeicherbits für die Torschaltungen sinkt mit wachsendem M. Die Zahl der Steuerspeicher für die Sprachspeicher steigt jedoch, da mehr Zeitlagen pro ML adressiert werden müssen. Deshalb kann es geschehen, daß die Einsparungen an Toren und deren Steuerspeichern kompensiert werden durch den Mehraufwand an Steuerspeicher-Bits für die Sprachspeicher. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Koppelmatrizen von Anfang an schon klein sind (z.B. Übergang RZRZR von $M = 60$ zu $M = 120$).

Zweitens:

In fast allen Fällen ist "getrennte" Durchschaltung billiger als "gemeinsame" Durchschaltung, angezeigt durch die negative Steigung der Geradenstücke. Es muß also beim Entwurf einer Koppelanordnung bedacht werden, ob die heute oft angewendete gemeinsame Durchschaltung überhaupt notwendig ist, vgl. 9.3. Abs.3.

Auch hier ist die Kostenreduzierung hauptsächlich auf die kleiner werdenden Koppelmatrizen zurückzuführen.

Bild 9.10. zeigt eine Ausnahme bei $M = 60$ ZL/ML und der RRZRR Struktur. Die Kosten für die Torschaltungen und deren Steuer-speicher sinken beim Übergang von GeD zu GtD; da aber die kleineren Koppelmatrizen stärker aufgeweitet werden müssen, steigen die Kosten wegen zusätzlicher Sprachspeicher und deren Steuer-speicher an. In diesem Fall ist der Anstieg höher als die möglichen Ersparnisse.

Drittens:

Das Kostenverhältnis der Strukturen untereinander ist abhängig von der Anzahl der Zeitlagen je Multiplexleitung.

Die dreistufigen Anordnungen sind für $M = 30$ ZL/ML die teuersten, die vierstufige und die sechsstufige ZRRRRZ Struktur sind die billigsten.

Für $M = 60$ Zeitlagen je Multiplexleitung rücken die Kosten -geraden näher zusammen. Eine Ausnahme bilden die Strukturen RZRRZR und RZRZR, die weiterhin relativ teuer bleiben.

Bei gemeinsamer Durchschaltung sind die beiden dreistufigen Anordnungen verhältnismäßig teuer, jedoch zählen sie bei getrennter Durchschaltung zu den billigen Strukturen.

Dieses Verhalten setzt sich für $M = 120$ fort; dort zählt die Struktur RZR zu den billigsten und bestätigt damit das Ergebnis aus 9.3. Allerdings gilt hier insgesamt, daß die Kostenunterschiede zwischen den Koppelanordnungen stark zurückgegangen sind.

Fazit: Die Multiplexbildung vor der Vermittlung sollte zur Reduzierung der Größe einer Koppelanordnung, wenn möglich, angewendet werden. Der für die Multiplexer zusätzlich notwendige Aufwand ist üblicherweise nicht sehr hoch.

9.5. Einfluß des Kostenverhältnisses

Das zur Berechnung der Kosten einer Koppelanordnung gewählte Kostenverhältnis CR hat wesentlichen Einfluß auf die resultierenden Kosten. Stets werden Koppelanordnungen mit einer großen Zahl an Torschaltungen eine starke Verteuerung mit ansteigendem CR erfahren.

Bild 9.11. zeigt diesen Anstieg der Kosten pro Zeitlage über dem Kostenverhältnis. Als Beispiel dienen die in Bild 9.10 vorgestellten Koppelanordnungen mit $M = 30$ ZL/ML, 144 angeschlossenen Highways, gemeinsamer Durchschaltung und einer Verlustwahrscheinlichkeit von 0.1% für 0.8 Erl Verkehrsbelastung je Zeitlage.

Der Anstieg ist bei den dreistufigen Anordnungen am größten, sie besitzen die meisten Torschaltungen, für die ZRRZ- und ZRRRRZ-Strukturen am geringsten. Die Möglichkeit, daß sich die Geraden schneiden, daß also eine bestimmte Anordnung bei kleinem CR günstig ist und bei großem CR teuer wird, oder entsprechend umgekehrt, tritt in diesem Beispiel nur für die Struktur RRZRR auf. Bei einem Kostenverhältnis von 2 zählt sie zu den billigsten, bei einem Kostenverhältnis von 30 wird sie nur noch von den dreistufigen Anordnungen übertroffen.

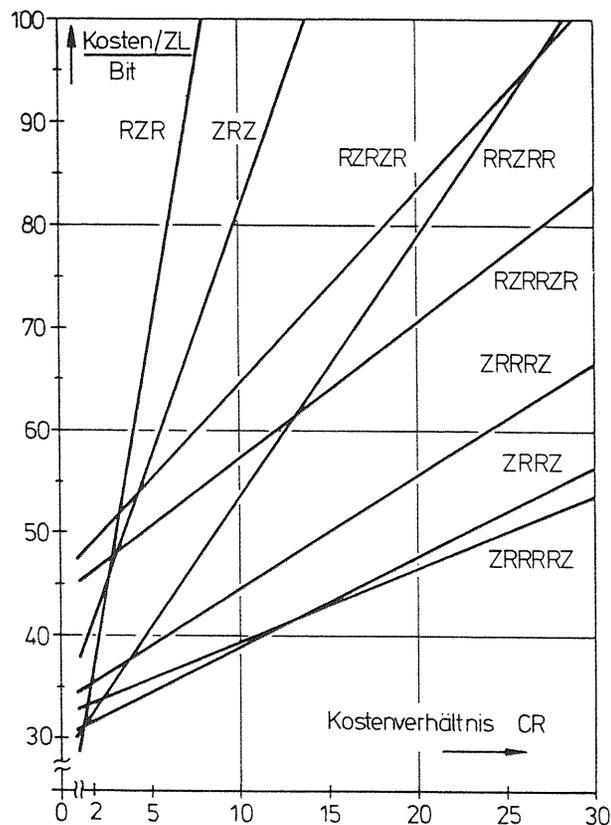


Bild 9.11: Einfluß des Kostenverhältnisses auf die Kosten
 ML = 144, M = 30, Y/ZL = 0.8 Erl, Bpp = 0.1%, GeD

9.6. Spezielles Entwurfsdiagramm für PCM-Koppelanordnungen

Für den Entwurf von PCM-Koppelanordnungen erscheint eine Kombination der Diagramme aus Bild 8.1. und Bild 9.6. als zweckmäßig. Bild 9.12. zeigt ein solches kombiniertes Diagramm für die Koppelanordnung ZRRZ mit 196/392 HW und 30 ZL/ML. Das linke Diagramm beinhaltet die Verlustkurven, wobei der Aufweitungsfaktor β über der Verkehrsbelastung aufgetragen ist; Kurvenparameter ist der Punktverlust.

Das rechte Diagramm erlaubt die Bestimmung der Kosten je Zeilage für die betrachtete Koppelanordnung in Abhängigkeit von der gewählten Aufweitung; das Kostenverhältnis CR ist Kurvenparameter.

Die durchgezogenen Linien gelten für gemeinsame Durchschaltung, die gestrichelten Linien für getrennte Durchschaltung. Wie aus Kap.5. bekannt, gelten die Kurven der Verlustwahrscheinlichkeit einer bestimmten äquivalenten Raumvielfachkoppelanordnung für eine PCM-Koppelanordnung mit gemeinsamer Durchschaltung und HW angeschlossenen Highways, sowie für die entsprechende PCM-Koppelanordnung doppelter Größe mit getrennter Durchschaltung und 2x HW angeschlossenen Highways.

In dieser Weise sind die angegebenen Highwayzahlen zu verstehen. Bei gemeinsamer Durchschaltung hat das eine Koppelnetz insgesamt 196 angeschlossene Highways; es werden beide Sprechrichtungen gemeinsam durchgeschaltet. Bei getrennter Durchschaltung sind 2 Koppelnetze vorhanden mit insgesamt 2 x 196 angeschlossenen Highways. In diesem Fall vermittelt das eine Koppelnetz die gehende Sprechrichtung, das andere Koppelnetz die kommende Sprechrichtung.

Die besondere Eignung dieses Diagramms für den Entwurf von PCM-Koppelnetzen sei an einem Beispiel gezeigt, vgl. Bild 9.12. Gewählt wird als Vorgabeparameter die Verkehrsbelastung je Zeilage und die gewünschte Verlustwahrscheinlichkeit, z.B. 0.8 Erl Verkehrsbelastung und 0.1% Punktverlust.

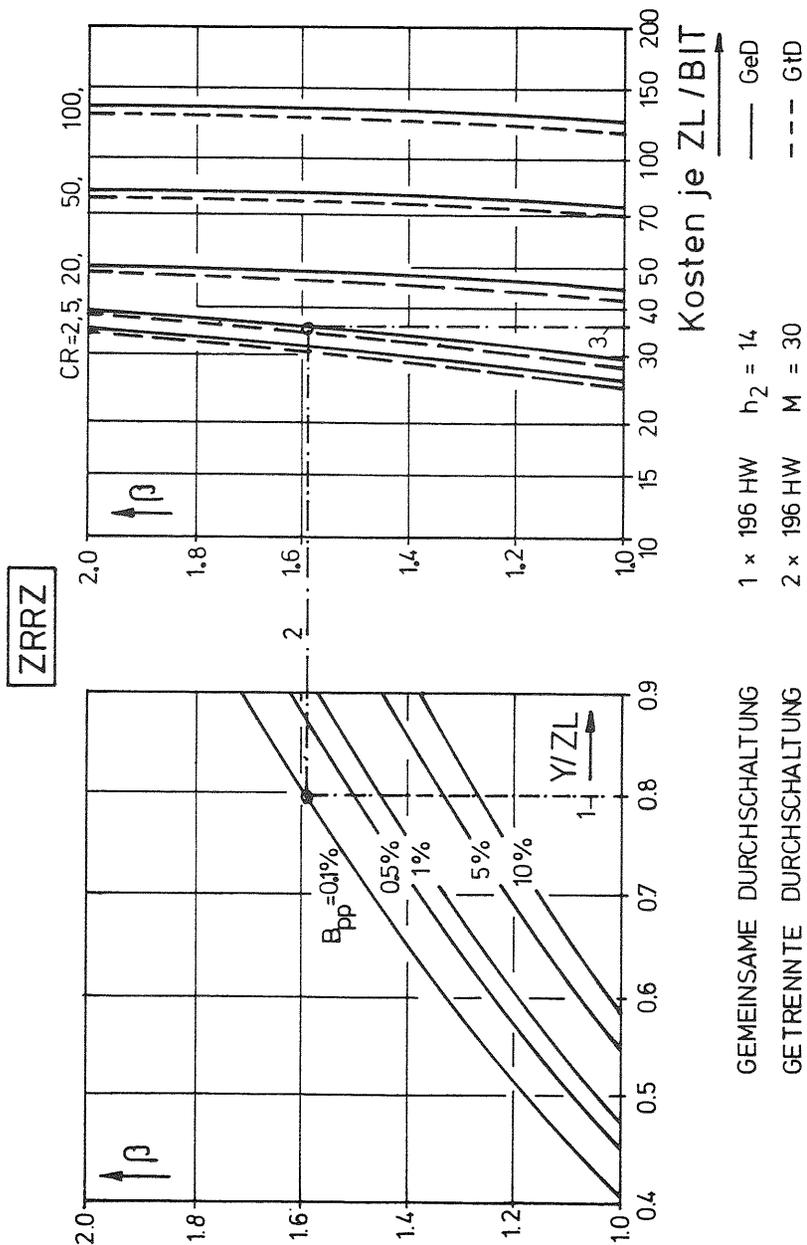


Bild 9.12: Spezielles Entwurfsdiagramm für PCM-Koppelanordnungen

Diese beiden Größen gestatten die Bestimmung der notwendigen Aufweitung im linken Diagramm (Gerade 1); im Beispiel ist β ungefähr 1,6.

Diese Aufweitung dient als Eingangsgröße ins rechte Diagramm (Gerade 2). Nach freier Wahl des gewünschten Kostenverhältnisses können auf der Abszisse des rechten Diagramms die resultierenden Kosten je Zeitlage für gemeinsame oder getrennte Durchschaltung abgelesen werden; im Beispiel (CR = 5) ungefähr 36 Bits je Zeitlage (Gerade 3).

Das entwickelte Programmsystem, vgl. Kap.9., Einleitung, erlaubt die Erstellung solcher Diagramme für alle vorgestellten PCM-Koppelanordnungen, beliebige Highwayzahlen je Koppelanordnung und eine beliebige Zahl von Zeitlagen je Multiplexleitung. Es ist möglich, die errechneten Ergebnisse direkt graphisch auszugeben.

9.7. Beispiele für Problemstellungen beim Entwurf von PCM-Koppelanordnungen

Beispiel 1:

Es wird eine kostengünstige Koppelanordnung für ungefähr 64 anschließbare Highways gesucht.

Parameter sind 30 Zeitlagen je Multiplexleitung und ein Kostenverhältnis von 5. Die Wahl der Durchschalteart ist frei, d.h. "gemeinsame" oder "getrennte" Durchschaltung.

Bild 9.13. zeigt einen Kostenvergleich der möglichen Lösungen.

Die gewünschte Highwayzahl wird bei den Koppelanordnungen mit gemeinsamer Durchschaltung genau erreicht, bei getrennter Durchschaltung sind nur Koppelnetze mit je 36 anschließbaren Highways realisierbar (Optimierung PCM 1).

Die Kurven zeigen, daß sowohl bei getrennter als auch bei gemeinsamer Durchschaltung die Koppelanordnung ZRRZ die günstigste ist. Die dreistufige Anordnung RZR und die fünfstufige RRZR

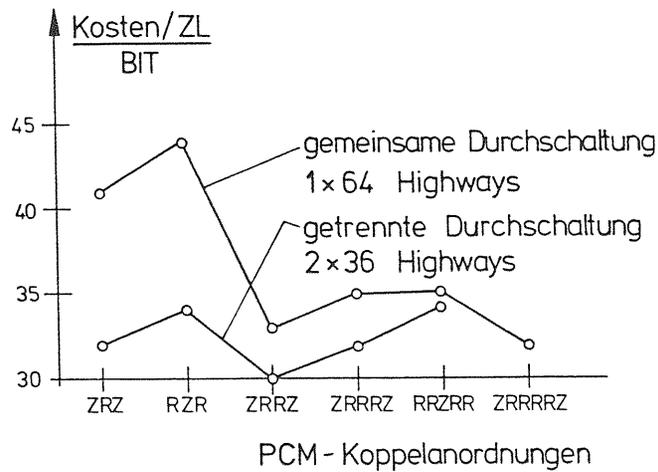


Bild 9.13: Kostenvergleich 1

sind bei getrennter und gemeinsamer Durchschaltung die teuersten. In diesem Fall sollte bei getrennter Durchschaltung die Entscheidung zugunsten der ZRRZ- Struktur fallen. Bei gemeinsamer Durchschaltung sind die Kosten je Sprechkreis der sechsstufigen Anordnung ZRRRZ etwas geringer als bei ZRRZ. Dieser Vorteil kann aber durch die aufwendigere Steuerung zur Wegesuche kompensiert werden.

Beispiel 2:

Es ist ein Kostenvergleich durchzuführen bei konstanter Größe der Koppelanordnung, der den Einfluß einer größeren Zeitlagenzahl je Multiplexleitung auf die Kosten zeigt. Anzuschließen sind insgesamt 1920 Sprechkreise, bzw. Zeitlagen. Das vorgegebene Kostenverhältnis ist 5; die Koppelanordnungen sollen mit gemeinsamer Durchschaltung betrieben werden.

Bild 9.14. zeigt die sich ergebenden Kosten für die beiden Fälle M = 30 ZL/ML und M = 120 ZL/ML; entsprechend sind im

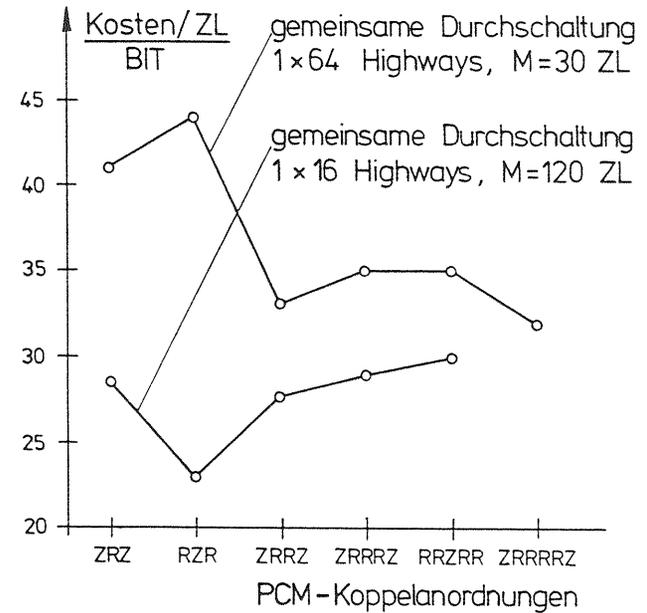


Bild 9.14: Kostenvergleich 2

ersten Fall 64 Highways angeschlossen und im zweiten Fall 16. Das Ergebnis zeigt, daß die RZR Struktur für 30 ZL/ML die teuerste Lösung darstellt und für M = 120 zur billigsten wird! Insgesamt zeigt sich die schon bekannte Tendenz, daß die Erhöhung der Zeitlagenzahl die Kosten reduziert.

10. Strukturoptimierungsverfahren

Die in diesem Kapitel vorgestellten drei Optimierungsverfahren, PCM 1, PCM 2 und PCM 3, sollen die Kosten der PCM-Koppelanordnungen aus Kap. 7, zu einem relativen Minimum führen. Drei Verfahren werden hergeleitet, wobei verschiedene Zielfunktionen mit unterschiedlichen Randbedingungen betrachtet werden. Die Verfahren PCM 1 und PCM 2 minimieren den Aufwand an Torschaltungen, während das Verfahren PCM 3 die gesamten Kosten berücksichtigt (Torschaltungen und Speicherbit). Allen Verfahren gemeinsam sind die folgenden Voraussetzungen, die auch bisher allen Überlegungen zugrundeliegen.

- Alle betrachteten PCM-Koppelanordnungen sind symmetrisch aufgebaut. (I)
- Die zur Einstellung einer vorgegebenen Verkehrsgüte notwendige Aufweitung und die entsprechende Konzentration erfolgen in der ersten, bzw. letzten Stufe der Koppelanordnung. (II)
- Raumlagenvielfache und Zeitlagenvielfache der Zwischenstufen vermitteln immer 1:1. (III)
- Alle Koppelanordnungen besitzen einfache Zwischenleitungs-führung, was beispielhaft für die PCM-Koppelanordnung ZRRRZ erklärt werden soll. (IV)

Einfache Zwischenleitungs-führung

"Einfache Zwischenleitungs-führung" hat bei Raumvielfachsystemen die Bedeutung, daß einander sich entsprechende Koppelvielfache zwischen verschiedenen Linkblöcken oder Gruppen von Linkblöcken in aufeinanderfolgenden Stufen mit genau einer Zwischenleitung verbunden sind, vgl. /39/.

Überträgt man diese Struktureigenschaft analog auf PCM-Koppelanordnungen, so läßt sich in ähnlicher Weise definieren, daß zwei Raumlagenvielfache in aufeinanderfolgenden Stufen innerhalb desselben Blockes oder zwischen sich entsprechenden Blöcken durch

genau eine Zeitmultiplexleitung verbunden sind.

Bildet man solche Strukturen ab, so ergeben sich Raumvielfach-koppelanordnungen, die der ersten Definition genügen. Bild 10.1. zeigt die schon bekannte Koppelanordnung ZRRRZ mit einfacher Zwischenleitungs-führung (dieses Bild entspricht Bild 7.9 aus Kap. 7.).

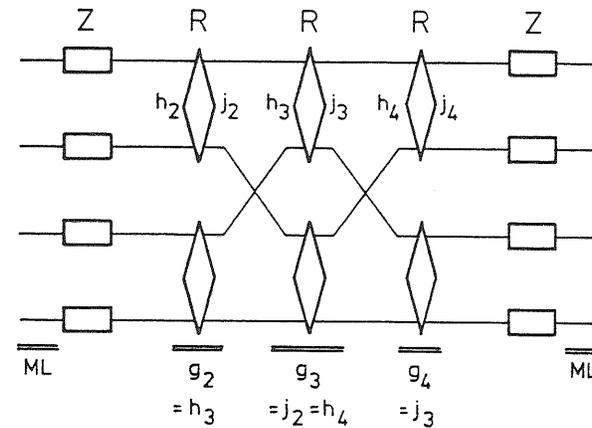


Bild 10.1: Koppelanordnung ZRRRZ mit einfacher Zwischenleitungs-führung

Die einfache Zwischenleitungs-führung ergibt die folgenden Struktureigenschaften:

$$j_2 = g_3 = h_4 ; g_2 = h_3 ; j_3 = g_4 ;$$

Eine so strukturierte Koppelanordnung erlaubt es, die Zahl der angeschlossenen Multiplexleitungen leicht aus den Strukturparametern zu berechnen. Im Beispiel gilt die Gleichung:

$$ML = h_3 \cdot h_2$$

Verallgemeinert man diese Gleichung, so gilt für alle PCM-Koppelanordnungen, die der Bedingung (IV) genügen:

$$ML = \prod_{j=1}^{\lceil s/2+1 \rceil} h_j \quad (10.1)$$

Merke: In diesem Produkt dürfen nur die Raumstufen berücksichtigt werden.

[] bedeutet, daß die nächstkleinere ganze Zahl die obere Grenze darstellt.

Es bleibt anzumerken, daß die Voraussetzungen (I - IV) schon bisher bei allen Strukturen zugrundegelegt waren. Dies bedeutet, daß die in Kap.7. vorgestellten Strukturbilder ihre volle Gültigkeit auch für die Optimierung behalten.

Die Voraussetzung (I) über symmetrische Strukturierung führt dazu, daß Systeme mit weniger als 5 Stufen nicht mehr optimiert werden können, da deren Symmetrie die Strukturparameter bereits festlegt. Demzufolge werden in den folgenden Abschnitten nur Strukturoptimierungsverfahren für fünf- und sechsstufige PCM-Koppelanordnungen betrachtet.

10.1. Torschaltungsminimierung

Die in diesem Kapitel hergeleiteten beiden Verfahren PCM 1 und PCM 2 für die Torschaltungsminimierung führen die Anzahl an Torschaltungen in einer PCM-Struktur zu einem relativen Minimum. Da die Torschaltungen die teuersten Elemente einer PCM-Koppelanordnung sind, läßt eine in dieser Hinsicht optimale Struktur günstige Kosteneigenschaften erwarten.

Aufgrund der Voraussetzungen (I) - (IV) verbleibt als freie Variable bei der Dimensionierung einer Koppelanordnung nur die Anzahl der an die Raumlagenvielfache der verschiedenen Raumstufen angeschlossenen Multiplexleitungen.

Die Größe dieser Koppelmatrizen ist der entscheidende Strukturparameter der u.a. auch die Blockstruktur bestimmt.

Aufgrund der Voraussetzungen und der nachfolgenden Randbedingungen für die Optimierung ist es möglich, alle diese Strukturgrößen in Abhängigkeit von der Größe der Koppelmatrizen der ersten Raumstufe darzustellen.

Die Zielfunktion Z muß deshalb nur bezüglich dieser einen Variablen optimiert werden.

10.1.1. Torschaltungsminimierung PCM 1

Wie bei den Raumvielfachsystemen läßt sich auch bei PCM-Koppelanordnungen eine einfache Gleichung für die Anzahl der Torschaltungen pro kommende Multiplexleitung (TSPML) der Koppelanordnung angeben.

Diese Größe stellt die Zielfunktion der Optimierung dar.

$$TSPML = j_1 + \beta (j_2 + j_3 + \dots + j_s) \quad (10.2)$$

Merke: Auch hier dürfen wieder nur die Raumstufen berücksichtigt werden.

Ist die erste und die letzte Stufe eine Zeitstufe so gilt in Gl. (10.2), $\beta = 1$; sonst wird β durch die vorgeschriebene Verlustwahrscheinlichkeit bestimmt.

In /1/ ist eine Größe T, die Transparenz, für Raumvielfachsysteme definiert. Die Transparenz ist eine Funktion der Strukturparameter und der Belastung. Sie stellt ein Maß dar für die mittlere Zahl an Ausgangsleitungen hinter der letzten Stufe, die bei einer bekannten Belastung von einem bestimmten freien Eingang der ersten Stufe aus auf frei oder besetzt geprüft werden können. Die Transparenz ist damit bei Raumvielfach-Koppelanordnungen eine Schätzgröße für die zu erwartende effektive Erreichbarkeit und damit für die Verlustwahrscheinlichkeit bei vorgegebener Gesamtbelastung.

Für PCM-Koppelanordnungen läßt sich ein entsprechendes Produkt P^* bilden, das hier aussagt, wieviele Multiplexleitungen hinter der letzten Stufe von einer Multiplexleitung am Eingang erreicht werden (unabhängig von der Verkehrsbelastung).

$$P^* = \prod_{i=1}^s j_i \quad (10.3)$$

Merke: Nur die Raumstufen sind zu berücksichtigen

P^* ist das Produkt aus der Anzahl der gehenden Multiplexleitungen je Raumlagenvielfach und Stufe. Es entspricht (für die Raumstufen) dem Begriff der Leerlauftransparenz ($Y = 0$) bei räumlichen Koppelanordnungen, vgl./1,2/.

Auch hier werden die Verkehrseigenschaften der betrachteten PCM-Koppelanordnungen (bei konstant gehaltenen äußeren Parametern) mit wachsendem P^* besser werden.

Ein solches Produkt wird bei konstant gehaltener Summe der Koeffizienten dann ein Maximum erreichen, wenn alle Koeffizienten gleich groß sind.

Dieses Produkt wird als Randbedingung in die Optimierung eingeführt, Gl. (10.3) wird in (10.2) eingesetzt.

Leitet man die sich so ergebende Gleichung partiell nach allen j_i ab, so ergibt sich eine konstante Matrixgröße als Ergebnis.

$$h_i = j_i \quad (10.4)$$

Allerdings beinhaltet das Ergebnis noch keine Aussage über die absolute Größe der Raumlagenvielfache in Abhängigkeit von der Gesamtzahl aller an der PCM-KAn angeschlossenen Multiplexleitungen. Dies ist über eine Umformung der Gleichung (10.1) mit (10.4) möglich. Man erhält:

$$h_i = \frac{[s/2+1]}{\sqrt{ML}} \quad (10.5)$$

Anhand der Koppelanordnung ZRRRZ sei die prinzipielle Vorgehensweise beispielhaft erläutert.

$$TSPML = j_2 + j_3 + j_4 \quad (10.6)$$

$$P^* = j_2 \cdot j_3 \cdot j_4 \quad (10.7)$$

Aus (10.6):

$$\frac{\partial TSPML}{\partial j_3} = \frac{-P^*}{j_3^2 j_4} + 1 = 0 \Rightarrow j_3 = \frac{P^*}{j_3 j_4} \quad (10.8)$$

$$\frac{\partial TSPML}{\partial j_4} = \frac{-P^*}{j_3 j_4^2} + 1 = 0 \Rightarrow j_4 = \frac{P^*}{j_3 j_4} \quad (10.9)$$

$$\Rightarrow j_2 = j_3 = j_4 \quad (10.10)$$

Mit (I), (III)

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

Hieraus folgt mit (10.5)

$$h_2 = h_3 = h_4 = \sqrt{ML} \quad (10.11)$$

Führt man diese Ableitung für alle zur Diskussion stehenden fünf- und sechsstufigen PCM-Koppelanordnungen durch, so erhält man die in Tabelle 10.1. gezeigten Ergebnisse. Sie ergänzen die Entwurfsregeln aus Kapitel 7.

10.1.2. Torschaltungsminimierung PCM 2

Auch hier ist die zu minimierende Zielfunktion die Anzahl der Torschaltungen pro Multiplexleitung.

$$\text{TSPML} = j_1 + \beta (j_2 + j_3 + \dots + j_S) \quad (10.2)$$

In diese Gleichung wird nun statt dem zur Transparenz analogen Produkt P^* die Symmetriebedingung (I) sowie die Bedingung der einfachen Zwischenleitungsführung (IV) als Randbedingung eingeführt.

$$\text{ML} = \prod_{j=1}^{\lfloor s/2+1 \rfloor} h_j \quad (10.1)$$

Die partielle Ableitung der aus (10.2) mit (10.1) resultierenden Gleichung führt nun zu unterschiedlichen Zahlenwerten für die Größen der Koppelmatrizen in den einzelnen Raumstufen.

Auch dies sei am Beispiel der Koppelanordnung ZRRRZ vorgeführt.

$$\text{TSPML} = j_2 + j_3 + j_4 \quad (10.6)$$

$$\text{ML} = j_2 \cdot j_3 \quad (10.12)$$

$$j_2 = j_4 \quad (10.13)$$

Die partielle Ableitung von (10.6) mit (10.12, 10.13) ergibt

$$\frac{\partial \text{TSPML}}{\partial j_3} = -2 \frac{\text{ML}}{j_3^2} + 1 = 0 \Rightarrow j_3 = \sqrt{2 \cdot \text{ML}} \quad (10.14)$$

und mit (10.12)

$$j_2 = \frac{\text{ML}}{j_3} = \sqrt{\text{ML}/2}$$

Die endgültige Matrixgröße ergibt sich mit (I) und (III)

$$h_3 = j_3 = 2h_2 = 2j_2 = 2h_4 = 2j_4 \quad (10.16)$$

Es ist zu beachten, daß hier das Ergebnis der Differentiation unmittelbar zu absoluten Zahlenwerten für die Größe der Koppelvielfache führt.

Tabelle 10.1 zeigt auch für diese Ableitungen die Ergebnisse aller betrachteten PCM-Koppelanordnungen. In gleicher Weise wie bei PCM 1 gelten auch sie in Zusammenhang mit den in Kap. 7. angegebenen Gleichungen als Entwurfsregeln für die einzelnen PCM-Strukturen.

Führt man die bei den Beispielstrukturen gefundenen Ergebnisse in Gl. (10.2) ein und berechnet die Größe TSPML in allgemeiner Form, so ergibt sich für die Struktur ZRRRZ:

PCM 1: Struktur ZRRRZ

$$\text{TSPML} = j_2 + j_3 + j_4 = 3\sqrt{\text{ML}}$$

PCM 2: Struktur ZRRRZ

$$\text{TSPML} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{\text{ML}}$$

Die Optimierungsart PCM 2 erfordert damit etwas weniger Torschaltungen. Ähnliche Ergebnisse stellen sich beim Vergleich aller betrachteten PCM-Koppelanordnungen ein.

Allerdings sollte dies nicht zu der Aussage verführen, die Optimierungsart PCM 2 sei in jedem Fall die günstigere, denn sie ist mit anderen Randbedingungen entstanden. Als wesentlichen Unterschied zu PCM 1 beinhaltet sie keine Randbedingung, die (über die maximale Leerlauftransparenz) Rücksicht auf die zu erwartende Verkehrsleistung nimmt.

PCM 2 führt im Vergleich zu PCM 1 immer zu kleineren Koppelmatrizen außen und größeren Koppelmatrizen in der Mitte der Koppelanordnung.

Aufgrund der Analyse einer großen Anzahl von Raumvielfach- und PCM-Strukturen ist bekannt, daß kleinere Koppelmatrizen in den

PCM 1	PCM 2
$S = 3: \underline{ZRZ}$ $h_2 = j_2 = ML$ $M^* = \beta \cdot M$	$S = 3: \underline{ZRZ, RZR}$ $S = 4: \underline{ZRRZ}$ wie PCM 1
$S = 3: \underline{RZR}$ $h_1 = j_3 = ML$ $j_1 = h_3 = \beta \cdot h_1$	$S = 5: \underline{ZRRRZ}$ $h_2 = j_2 = h_4 = j_4 = \sqrt[2]{ML/2}$ $h_3 = j_3 = 2 \cdot h_2$ $M^* = \beta \cdot M$
$S = 4: \underline{ZRRZ}$ $h_2 = j_2 = h_3 = j_3 = \sqrt[2]{ML}$ $M^* = \beta \cdot M$	$S = 5: \underline{RRZRR}$ wie PCM 1 (nur 2 Raumstufen tragen zur HW-Erreichbarkeit bei)
$S = 5: \underline{ZRRRZ}$ $h_2 = j_2 = h_3 = j_3 = h_4 = j_4 = \sqrt[2]{ML}$ $M^* = \beta \cdot M$	$S = 5: \underline{RZRZR}$ $h_1 = j_5 = \sqrt[2]{ML/2}$ $h_3 = j_3 = 2 \cdot h_1$ $j_1 = h_5 = \beta \cdot h_1$
$S = 5: \underline{RRZRR}$ $h_1 = h_2 = j_2 = h_4 = j_4 = j_5 = \sqrt[2]{ML}$ $j_1 = h_5 = \beta \cdot h_1$	$S = 6: \underline{ZRRRRZ}$ $h_2 = j_2 = h_5 = j_5 = \sqrt[3]{ML/4}$ $h_3 = j_3 = h_4 = j_4 = 2 \cdot h_2$ $M^* = \beta \cdot M$
$S = 5: \underline{RZRZR}$ $h_1 = h_3 = j_3 = j_5 = \sqrt[2]{ML}$ $j_1 = h_5 = \beta \cdot h_1$	$S = 6: \underline{RZRZRZ}$ $h_1 = j_6 = \sqrt[3]{ML/4}$ $h_3 = j_3 = h_4 = j_4 = 2 \cdot h_1$ $j_1 = h_6 = \beta \cdot h_1$
$S = 6: \underline{ZRRRRZ}$ $h_2 = j_2 = h_3 = j_3 = h_4 = j_4 = h_5 = j_5 = \sqrt[3]{ML}$ $M^* = \beta \cdot M$	$S = 6: \underline{RZRZRZ}$ $h_1 = j_6 = \sqrt[3]{ML/4}$ $h_3 = j_3 = h_4 = j_4 = 2 \cdot h_1$ $j_1 = h_6 = \beta \cdot h_1$
$S = 6: \underline{RZRZRZ}$ $h_1 = h_3 = j_3 = h_4 = j_4 = j_6 = \sqrt[3]{ML}$ $j_1 = h_6 = \beta \cdot h_1$	

Tabelle 10.1.

äußeren Stufen immer eine größere Aufweitung zur Einstellung einer vorgegebenen Verlustwahrscheinlichkeit erfordern. Dies wirkt sich in jedem Fall in einer Kostensteigerung aus.

Im nächsten Abschnitt werden beispielhaft je eine fünf- und eine sechsstufige Koppelanordnung verglichen, wobei jede sowohl mit dem Verfahren PCM 1 als auch mit PCM 2 entworfen wurde.

10.1.3. Vergleich der Verfahren PCM 1 und PCM 2

Bild 10.2. zeigt zwei Beispiele von ZRRRZ Strukturen.

Bild 10.2.a. zeigt eine Struktur mit 49 angeschlossenen Multiplexleitungen, entworfen nach dem Verfahren PCM 1, was sich in der konstanten Größe aller Koppelmatrizen äußert.

Bild 10.2.b zeigt eine Struktur mit 50 angeschlossenen Multiplexleitungen, entworfen nach dem Verfahren PCM 2. Die Koppelmatrizen der mittleren Stufe sind doppelt so groß wie die der äußeren Stufen.

Der minimale Unterschied in der Zahl angeschlossener Multiplexleitungen beruht auf notwendigen Ganzzahligkeitsbedingungen für die Raumlagenvielfache.

Die Aufweitung zur Einstellung der Verkehrsgüte geschieht bei beiden Strukturen durch Erhöhung der Anzahl interner Zeitlagen und hat damit keinen Einfluß auf die Anzahl der Torschaltungen.

Bild 10.3. zeigt die zugehörigen Kurven der Verlustwahrscheinlichkeit, sowie die Kurven der resultierenden Kosten je Zeitlage.

Betrachtet sei zunächst der linke Teil des Bildes, die Kurven der Verlustwahrscheinlichkeit.

Der Kurvenverlauf bestätigt den oben erwähnten Sachverhalt, daß die PCM-Struktur, die gemäß dem Verfahren PCM 2 entworfen wurde, zur Einstellung einer bestimmten Verlustwahrscheinlichkeit stärker aufgeweitet werden muß als die Struktur gemäß PCM 1.

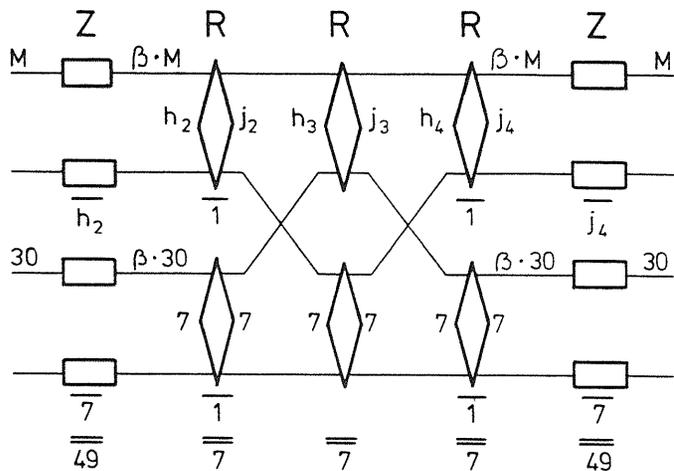


Bild 10.2.a: Struktur ZRRRZ, Optimierung PCM 1

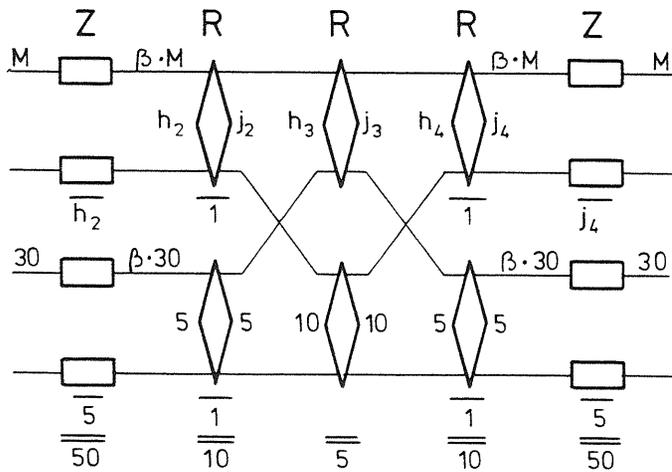


Bild 10.2.b: Struktur ZRRRZ, Optimierung PCM 2

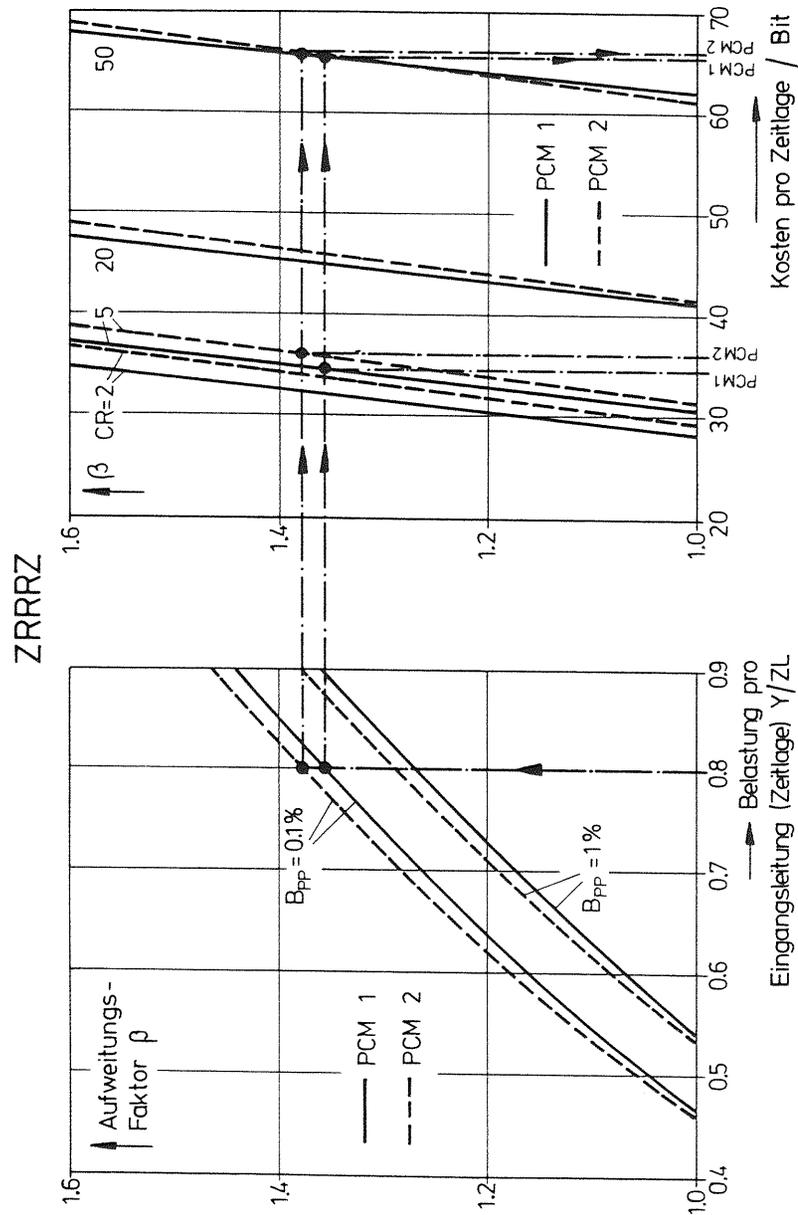


Bild 10.3: Optimierungsvergleich Struktur ZRRRZ

Diese Tatsache gilt für alle Belastungen und beide eingezeichneten Verlustwerte.

Betrachtet man die Kostenkurven je Zeitlage mit dem Kostenverhältnis CR als Parameter, so ergibt sich in diesem Fall, daß die Struktur gemäß PCM 2 etwas höhere Kosten auch bei gleicher Aufweitung verursacht. Die Zahl der Torschaltungen ist zwar geringer, 1000 zu 1029, jedoch wird dieser kleine Unterschied in diesem Fall durch die größere Anzahl notwendiger Speicherbits kompensiert, welche bei der Kostenminimierung nicht berücksichtigt wurden.

Hier zeigt sich ein prinzipielles Problem der Kostenminimierung solcher PCM-Koppelanordnungen.

Die zur Realisierung notwendigen Ganzzahligkeitsbedingungen, z.B. für die Größe der Koppelmatrizen oder die Anzahl von notwendigen Steuerspeicherbits, können erst nach dem Optimierungsprozeß berücksichtigt werden. So kann es geschehen, daß sich günstige Strukturen bei ihrer Realisierung vom theoretischen Optimum entfernen.

Die Größe der Koppelmatrizen bei PCM 2, nämlich 5/5 und 10/10, bewirkte einen sprunghaften Anstieg der Steuerspeicherbits, da die für den Aufwand günstige Dualzahl in beiden Fällen gerade überschritten ist.

Anders bei PCM 1, hier führte die Größe 7/7 zu einer optimalen Ausnutzung der eingesetzten Steuerspeicherbits.

Dies sind die Gründe, die in diesem Beispiel die torschaltungsminimale Struktur PCM 2 in ihren Gesamtkosten teurer werden läßt.

Das eingezeichnete Beispiel für 0.1% Verlust bei einer Belastung von 0.8 Erl. zeigt, daß bei allen Kostenverhältnissen die Optimierungsart PCM 1 die billigere Struktur liefert.

Natürlich verringert sich die Differenz mit ansteigendem CR, da hiermit der Kostenanteil der Torschaltungen gesteigert wird.

Bild 10.4. zeigt zwei entsprechende Strukturen des Typs ZRRRRZ. Auch hier ist die obere Struktur gemäß PCM 1 entworfen und weist Koppelvielfache einheitlicher Größe auf. Die untere Struktur ist mit der Optimierungsart PCM 2 entworfen, sie besitzt deshalb Koppelvielfache unterschiedlicher Größe.

Der Unterschied in der Zahl angeschlossener Multiplexleitungen ist wieder auf Ganzzahligkeitsbedingungen zurückzuführen. Die Aufweitung geschieht in beiden Fällen durch Erhöhung der Zahl interner Zeitlagen.

Bild 10.5. zeigt die zugehörigen Verlust- und Kostenkurven.

Die Verlustkurven im linken Diagramm zeigen dasselbe Verhalten wie zuvor. Die gemäß PCM 1 konstruierte Struktur ist verkehrsmäßig besser, sie muß zur Einstellung einer bestimmten Verkehrsgüte nicht so stark aufgeweitet werden wie die andere.

Betrachtet man das rechte Diagramm der resultierenden Kosten je Zeitlage in Abhängigkeit von der Aufweitung, so ergibt sich hier, daß die Struktur gemäß PCM 2 für alle Aufweitungen und alle Kostenfaktoren billiger ist.

Das eingezeichnete Beispiel zeigt, daß in diesem Fall trotz notwendiger größerer Aufweitung, die Koppelanordnung gemäß PCM 1 letztlich günstiger zu realisieren ist.

Der Vergleich dieser beiden Strukturen, der sowohl Vorteile für die eine wie auch die andere Lösung ergab, erlaubt es nicht, eine allgemeingültige Aussage zu fällen.

Diese Fragestellung wird in den nächsten Abschnitten, zusammen mit der Optimierungsart PCM 3, nochmals zur Diskussion stehen.

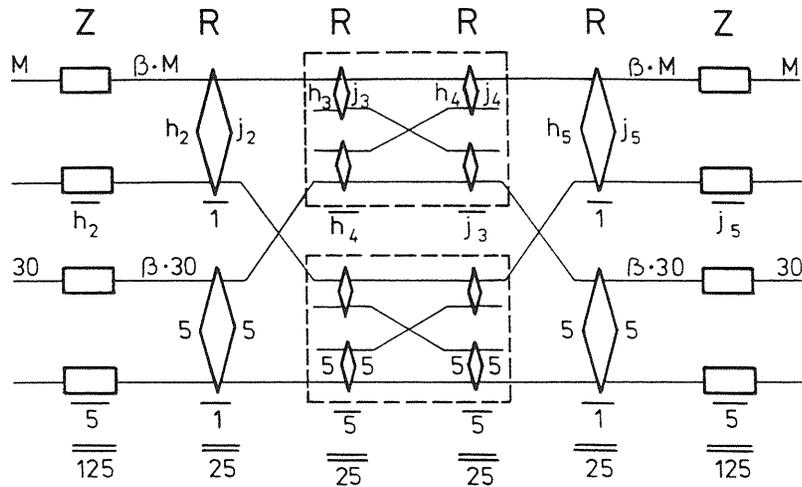


Bild 10.4.a: Struktur ZRRRRZ, Optimierung PCM 1

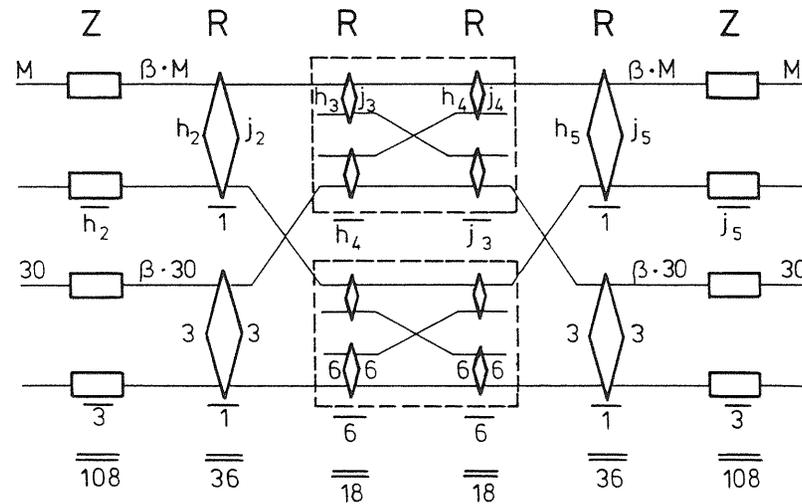


Bild 10.4.b: Struktur ZRRRRZ, Optimierung PCM 2

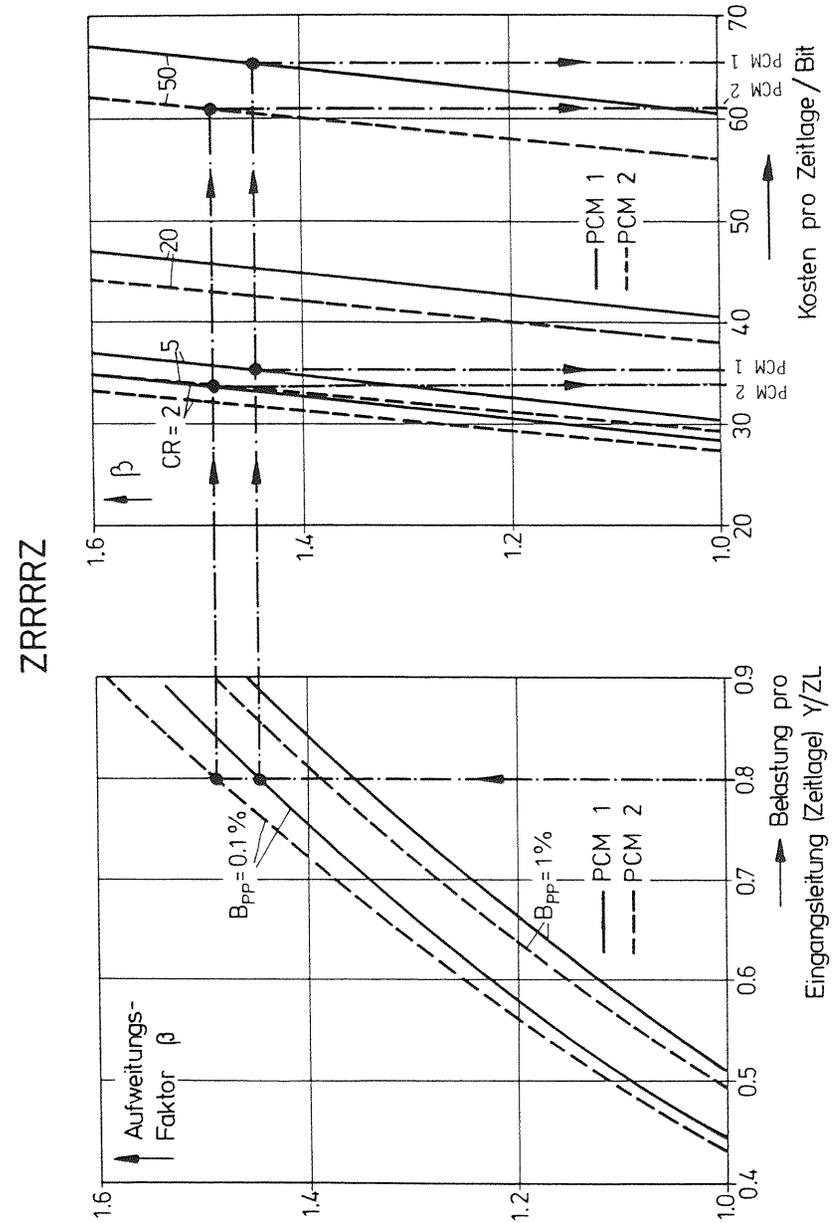


Bild 10.5: Optimierungsvergleich Struktur ZRRRRZ

10.2. Minimierung der Gesamtkosten (PCM 3)

Die Optimierungsart PCM 3 berücksichtigt die gesamten Kosten einer PCM-Koppelanordnung (d.h. Torschaltungen und Speicherbits) und versucht hierfür ein relatives Minimum zu finden.

Startbedingung dieser Optimierung sind die Gleichungen aus Tabelle 8.1, vgl. Seite 104, mit deren Hilfe die Anzahl notwendiger Funktions- Elemente der verschiedenen Koppelanordnungen berechnet werden kann.

Die zu optimierende Zielfunktion besteht in diesem Fall aus den Kosten der gesamten Koppelanordnung, vgl. Kap.8, wobei die Größe der Raumlagenvielfache auch hier die Optimierungsvariable darstellt.

Die Tabelle zeigt, daß bei keiner der Strukturen ZRRRZ, RZRZR, RRZRR, ZRRRRZ und RZRRZR die Anzahl an Sprachspeichern und deren Speicherspeichern eine Funktion der Größe der Raumlagenvielfache ist (bei der Struktur RRZRR ist j_2 durch $ML/(\beta h_1)$ ersetzbar).

Da die Anzahl der Sprachspeicher und deren Speicherspeicher keine Funktion dieser Größe ist, bei der Differentiation diese Gleichungen deshalb zu Null würden, können sie schon beim Ansatz der Optimierung vernachlässigt werden.

Führt man die Voraussetzungen (I) - (IV) in die verbleibenden Gleichungen für die Torschaltungen und deren Speicherspeicher ein, so ergeben sich Gleichungen in der Form, wie sie Tabelle 10.2. zeigt.

Es ist bei allen Gleichungen möglich, sie mit Hilfe der Voraussetzungen so darzustellen, daß die einzig freie Variable die Zahl der in die Raumlagenvielfache der ersten Raumstufe führenden Multiplexleitungen ist.

Aus diesen Gleichungen wird die zu optimierende Zielfunktion Z gebildet, indem die Zahl der Torschaltungen mit CR multipliziert wird und die Speicherbits der Speicherspeicher addiert werden (vgl.Tab.10.2).

Optimierungsart PCM 3, Startgleichungen

ZRRRZ:

$$TS = (2 \cdot ML \cdot h_2 + ML^2/h_2) \cdot E \cdot P$$

$$StTS = ML \cdot \beta \cdot M \cdot E \cdot \text{Id } h_2 + ML \cdot \beta \cdot M \cdot \text{Id}(ML/h_2)$$

RZRZR:

$$TS = (2 \cdot ML \cdot \beta \cdot h_1 + \beta \cdot ML^2/h_1) \cdot E \cdot P$$

$$StTS = (ML \cdot E \cdot \text{Id}(\beta \cdot h_1) + \beta \cdot ML \cdot \text{Id}(ML/h_1)) \cdot M$$

RRZRR:

$$TS = (2 \cdot ML \cdot \beta \cdot h_1 + 2 \cdot \beta \cdot ML^2/h_1) \cdot E \cdot P$$

$$StTS = (\text{Id}(\beta \cdot h_1) + \beta \cdot \text{Id}(ML/h_1)) \cdot ML \cdot M \cdot E$$

ZRRRRZ:

$$TS = (2 \cdot ML \cdot h_2 + 2 \cdot ML \cdot \sqrt{ML/h_2}) \cdot E \cdot P$$

$$StTS = (ML \cdot \beta \cdot M \cdot \text{Id } h_2 + \beta \cdot M \cdot ML \cdot \text{Id} \sqrt{ML/h_2}) \cdot E$$

RZRRZR:

$$TS = (2 \cdot ML \cdot \beta \cdot h_1 + 2 \cdot ML \cdot \beta \cdot \sqrt{ML/h_1}) \cdot E \cdot P$$

$$StTS = (ML \cdot \text{Id}(\beta \cdot h_1) + ML \cdot \beta \cdot \sqrt{ML/h_1}) \cdot M \cdot E$$

Zielfunktion:

$$Z = CR \cdot TS + StTS = f (h_{1,2})$$

Tabelle 10.2.

Stellt man diese Zielfunktion für alle Strukturen auf und führt die Ableitung nach der Größe der Raumlagenvielfache der ersten Raumstufe durch, so ergeben sich für die fünfstufigen Anordnungen die Ergebnisse gemäß Tabelle 10.3 und für die sechsstufigen Anordnungen gemäß Tabelle 10.4.

10.2.1. Ergebnisse der fünfstufigen Koppelanordnungen

Tabelle 10.3 zeigt die Optimierungsergebnisse für die fünfstufigen PCM-Koppelanordnungen. Die rechte Hälfte der Tabelle zeigt die Ergebnisgleichungen, die linke Hälfte beinhaltet jeweils ein Beispiel für h_1 in Abhängigkeit von der Aufweitung β , CR ist Kurvenparameter.

In allen Fällen ergibt sich die Lösung für die günstigste Größe h_1 aus einer quadratischen Gleichung. Der Unterschied zwischen den Systemen besteht im Unterschied der Koeffizienten a und der Größe des Terms, der die Anzahl der angeschlossenen Multiplexleitungen berücksichtigt. Der Koeffizient a besteht in allen Fällen aus einem Faktor M/CR , einem Faktor der die Art der Durchschaltung berücksichtigt und einem letzten Glied mit der Aufweitung β . Für den Fall, in dem a zu Null wird, geht die Optimierung PCM 3 in PCM 2 über. Deshalb ist zusätzlich bei allen Strukturen die mit PCM 2 errechnete Lösung angegeben.

Struktur ZRRRZ:
Gezeigt ist ein Beispiel mit getrennter Durchschaltung ($E=2$), da bei gemeinsamer Durchschaltung PCM 3 in PCM 2 übergeht; die Lösung für PCM 2 ist punkt-strichliert eingetragen. Mit kleiner werdendem a (d.h. mit wachsendem CR oder kleiner werdendem M) rückt PCM 3 zu PCM 2 hin. Beim Kostenverhältnis 5 weicht h_2 (PCM 3) um ungefähr den Wert 1 - 2 von h_2 (PCM 2) ab, für $CR = 50$ ist die Abweichung vernachlässigbar. Der Quotient M/CR ist der Parameter, der am stärksten auf a einwirken kann.

<p style="text-align: center;">ZRRRZ, $ML=2 \times 72, E=2$</p>	<p>PCM 2: $h_2 = \sqrt{ML/2^1}, h_3 = 2h_2$</p> <p>PCM 3:</p> $h_2 = -\frac{a}{2} + \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 + ML/2}$ $a = \frac{M}{CR} \cdot \frac{(E-1)}{E \cdot P \cdot 2 \cdot \ln 2} \cdot \beta$ $h_3 = ML/h_2$
<p style="text-align: center;">RZRZR, $ML=50$</p>	<p>PCM 2: $h_1 = \sqrt{ML/2^1}, h_3 = 2h_1$</p> <p>PCM 3:</p> $h_1 = -\frac{a}{2} + \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 + ML/2^1}$ $a = \frac{M}{CR} \cdot \frac{1}{E \cdot P \cdot 2 \cdot \ln 2} \cdot \frac{E-\beta}{\beta}$ $h_3 = ML/h_1$
<p style="text-align: center;">RRZRR, $ML=144, E=1$</p>	<p>PCM 2: $h_1 = \sqrt{ML^1} = h_2$</p> <p>PCM 3:</p> $h_1 = -\frac{a}{2} + \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 + ML}$ $a = \frac{M}{CR} \cdot \frac{1}{P \cdot 2 \cdot \ln 2} \cdot \frac{1-\beta}{\beta}$ $h_2 = ML/h_1$

Tabelle 10.3: Optimierung PCM 3, $M = 30$ ZL/ML
 $P = 1$ bzw. 8 : serielle bzw. parallele Durchschaltung

Im Vergleich mit PCM 1 und PCM 2 liefert PCM 3 noch kleinere Matrixgrößen, was eine noch stärkere Aufweitung für vorgegebene Verkehrsleistung erfordert.

Struktur RZRZR:

Hier geht die Art der Durchschaltung direkt in die Optimierung ein, da die Größe E direkt mit β verknüpft wird. Gezeigt ist je ein Beispiel für gemeinsame Durchschaltung (E=1) sowie für getrennte Durchschaltung (E=2). Bei gemeinsamer Durchschaltung liegt h_1 (PCM 3) vernachlässigbar über h_1 (PCM 2), bei getrennter Durchschaltung entsprechend darunter. Auch hier geht PCM 3 mit steigendem CR in PCM 2 über.

Struktur RRZR:

Die Art der Durchschaltung geht nicht mehr in die Optimierung ein, was in der Geradzahligkeit der Raumstufen begründet liegt. In Abhängigkeit von CR liegt h_1 mehr oder weniger über dem Ergebnis von h_1 (PCM 2).

Allen Systemen gemeinsam ist die Bestimmung von h_1 für die zweite Raumstufe. Diese Größe ist direkt abhängig von der Zahl angeschlossener Multiplexleitungen und der Matrixgröße der ersten Raumstufe. Denkt man an die Realisierung solchermaßen optimierter Systeme, so wird sich aufgrund der u.U. sehr unterschiedlichen Matrixgrößen der verschiedenen Raumstufen keine Vereinfachung durch PCM 3 ergeben.

10.2.2. Ergebnisse der sechsstufigen Koppelanordnungen

Tabelle 10.4 zeigt die Ergebnisse bei den sechsstufigen Koppelanordnungen. In beiden Fällen ergibt sich die Lösung aus einer kubischen Gleichung, deren gemeinsamer Lösungsansatz im oberen Teil der Tabelle dargestellt ist.

Auch hier liegt der Unterschied zwischen den beiden PCM-KAn wieder

<u>Gemeinsame Lösung von PCM 3 für S = 6</u>	
$h_i = (u + v)^2, \quad i = 1 \text{ oder } 2$ $u = \sqrt[3]{\frac{e}{2} + \sqrt{\left(\frac{e}{2}\right)^2 + \left(\frac{a}{3}\right)^3}}$ $v = \sqrt[3]{\frac{e}{2} - \sqrt{\left(\frac{e}{2}\right)^2 + \left(\frac{a}{3}\right)^3}}$ $e = 1/2 \sqrt{ML}$	
<p>ZRRRRZ, ML = 256</p>	<p>PCM 2: $h_2 = \sqrt[3]{ML/4}, h_3 = 2h_2$</p> <p>PCM 3:</p> $a = \frac{M}{CR} \cdot \frac{1}{P \cdot 4 \cdot 1n 2} \cdot \beta$ $h_3 = \sqrt{ML/h_2}$
<p>RZRRZR, ML = 108</p>	<p>PCM 2: $h_1 = \sqrt[3]{ML/4}, h_3 = 2h_1$</p> <p>PCM 3:</p> $a = \frac{M}{CR} \cdot \frac{1}{P \cdot 4 \cdot 1n 2} \cdot \frac{2 - \beta}{\beta}$ $h_3 = \sqrt{ML/h_1}$

Tabelle 10.4: Optimierung PCM 3, M = 30 ZL/ML, P = 1 bzw. 8: serielle bzw. parallele Durchschaltung

im Koeffizienten a.

In beiden Fällen ist a keine Funktion mehr von der Durchschalteart, da die Anzahl der Raumstufen jeweils gerade ist.

In beiden Fällen geht auch die Lösung für h_2 (PCM 3) bzw. h_3 (PCM 3) in jene für h_1 (PCM 2) über, wenn a zu Null wird.

Struktur ZRRRRZ:

a ist direkt abhängig vom Aufweitungsfaktor β . Beim Kostenverhältnis $CR = 5$ weicht h_2 bis zum Wert 2 von h_2 (PCM 2) ab, für $CR = 50$ wird die Abweichung vernachlässigbar.

Die Koppelvielfache der mittleren Stufen werden entsprechend größer, was für die Realisierung nicht von Vorteil ist.

Struktur RZRRZR:

Beim Wert $\beta = 2$ wird a zu 0, für die kleineren Werte von β ist selbst bei einem Kostenverhältnis von 5 die Abweichung von PCM 2 nicht entscheidend.

Auch hier bewirkt die zusätzliche Verkleinerung der äußeren Raumlagenvielfache eine weitere Vergrößerung der Aufweitung.

Um nun eine Aussage über die Güte der verschiedenen Optimierungsarten zu ermöglichen, zeigt der nächste Abschnitt abschließend zwei typische Vergleichskurven.

10.3. Vergleich der Optimierungsarten

Die beiden fünfstufigen Systeme ZRRRZ und RRZRR werden als typische Vertreter für den Vergleich der drei Optimierungsarten vorgestellt.

Bild 10.6. zeigt den Vergleich für die Struktur ZRRRZ.

Folgende Randbedingungen liegen diesem Vergleich zugrunde:

- eine Verkehrsbelastung von 0.8 Erl pro Sprechkreis am Eingang bzw. am Ausgang
- eine iterativ ermittelte Aufweitung, die die üblicherweise vorgeschriebene Verlustwahrscheinlichkeit $B_{pp} = 0.1\%$ garantiert.

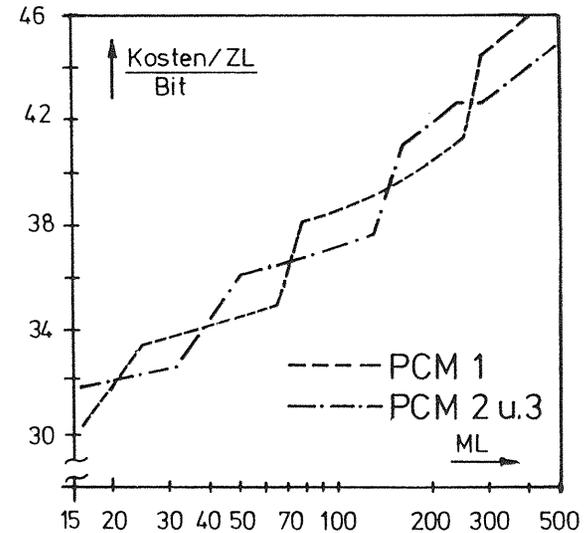


Bild 10.6: Optimierungsvergleich Struktur ZRRRZ
M = 30, Y/ZL = 0.8 Erl, Bpp = 0.1%, CR = 5, Ged

- ein Kostenverhältnis von $CR = 5$, was zu relativ großen Kostenunterschieden führen sollte.

Wie die Tabelle 10.3 zeigt fallen hier bei gemeinsamer Durchschaltung die Optimierungen PCM 2 und PCM 3 zusammen.

Aufgetragen sind die resultierenden Kosten je Zeitlage über der Zahl angeschlossener Multiplexleitungen.

Das zunächst nicht erwartete Ergebnis zeigt, daß einmal die eine Optimierungsart zu günstigeren Ergebnissen führt und einmal die andere.

Sucht man den Grund, so ist er in den Ganzzahligkeitsbedingungen für die Realisierung zu finden:

Die theoretisch gefundenen Lösungen sind oft nicht realisierbar; aufgrund der notwendigen Ganzzahligkeit für Speicherspeicherbits und Eingangsmultiplexleitungen der Raumlagenvielfache ergeben

sich Kosten, die nicht exakt im Minimum liegen. Die starken Sprünge im Kurvenverlauf resultieren auch hier davon, daß bei Überschreiten einer Dualzahl für die Größe der Raumlagenvielfache sprunghaft ein weiteres Bit für deren Adressierung notwendig wird.

Bild 10.7. zeigt einen Vergleich für die Struktur RRZRR.

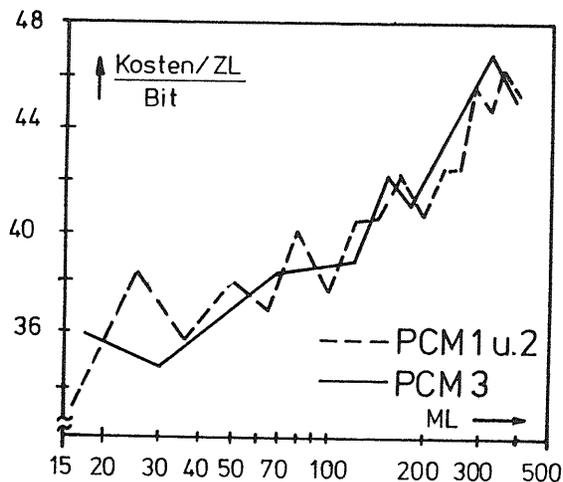


Bild 10.7: Optimierungsvergleich Struktur RRZRR

M = 30, Y/ZL = 0.8 Erl, Bpp = 0.1%, CR = 5, GeD

Hier gilt, daß die Optimierungen PCM 1 und PCM 2 zusammenfallen, vgl. Tab.10.1. Doch führt auch dieser Vergleich zu keiner deutlichen Aussage darüber, ob eine der Optimierungsarten grundsätzlich bessere Ergebnisse liefert.

Die starken Sprünge im Kurvenverlauf rühren von den stark unterschiedlichen Aufweitungen als Funktion der sich dauernd ändernden Größe der Raumlagenvielfache her.

Die hier nicht gezeigten Vergleiche der anderen Strukturen zeigen dasselbe Verhalten.

Fazit:

Die Diskussion der 3 verschiedenen möglichen Optimierungsarten erlaubt keine allgemein gültige Aussage über eine beste Lösung. In jedem Einzelfall ändert sich das Verhältnis der Ergebnisse untereinander und muß erneut berechnet werden.

Bedenkt man die möglichen Lösungen in Hinsicht auf ihre Realisierbarkeit, so ist der Optimierungsart PCM 1 der Vorzug zu geben, da sie immer zu einer einheitlichen und damit technisch vorteilhaften Größe der Raumlagenvielfache führt. Dies ist der Grund, warum alle Ergebnisse und Vergleiche des Kapitels 9 auf der Optimierungsart PCM 1 beruhen.

11. Zusammenfassung

In der vorgelegten Arbeit werden die Funktion, die Betriebsweise, die Verkehrseigenschaften und die Kosten von mehrstufigen PCM-Koppelanordnungen untersucht.

Nach einer einführenden Erklärung der beiden wesentlichen Baugruppen von PCM-Koppelanordnungen, des Raumlagenvielfachs und des Zeitlagenvielfachs, wird gezeigt, daß PCM-Strukturen auf ihre äquivalenten Raumvielfachsysteme abgebildet werden können. Dies wird anhand von Beispielen hergeleitet und erklärt. Die Verlustwahrscheinlichkeit von PCM-Koppelanordnungen als Funktion von deren Struktur und Verkehrsbelastung kann nunmehr mit Hilfe ihrer äquivalenten Raumvielfachstruktur berechnet werden.

Die für Raumvielfachsysteme bekannten Verlustberechnungsverfahren, PPL für den Punkt-Punkt Verlust und CLIGS für den Bündelverlust, werden in ihren Grundgedanken vorgestellt und ihre Anwendungsmöglichkeiten für PCM-Koppelanordnungen erläutert.

Es wird gezeigt, wie die zur Einstellung einer vorgegeben Verlustwahrscheinlichkeit bei gegebener Verkehrsbelastung notwendige Aufweitung in PCM-Koppelanordnungen realisiert werden kann, wobei verschiedene Möglichkeiten für die Aufweitung behandelt werden.

Spezifisch für PCM-Koppelanordnungen ist die Art der Durchschaltung und der Wegezuteilung. Zwei unterschiedliche Durchschaltungsprinzipien werden entwickelt, die "gemeinsame" Durchschaltung und die "getrennte" Durchschaltung.

Besonders für den Fall der "gemeinsamen" Durchschaltung werden verschiedene Wegezuteilungsprinzipien für die beiden Sprechrichtungen einer Verbindung entwickelt.

Diese Verfahren erlauben es, Speicherspeicher für die Torschaltungen und Sprachspeicher einzusparen.

Als weiteren Vorteil ergeben sie eine Erhöhung der Verkehrsleistung und eine Reduzierung der Prozessorzeit bei der Wegesuche.

Die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten, wirtschaftlich sinnvollen PCM-Koppelanordnungstypen werden in Kapitel 7. vorgestellt. Nachdem ein neues Verfahren zur Berechnung der normierten Kosten pro Sprechkreis von PCM-Koppelanordnungen eingeführt wurde, sind alle Voraussetzungen zu einem abschließenden Vergleich aller untersuchten PCM-Koppelanordnungen gegeben.

Im Kapitel 9 wird eine Vielzahl von Kosten- und Leistungsvergleichen der unterschiedlichen Typen vorgestellt. Wesentliches Ergebnis dieses Kapitels ist ein spezielles Entwurfsdiagramm für PCM-Koppelanordnungen.

Dieses Diagramm erlaubt es, für

- eine gegebene Highwayzahl,
- eine gegebene Verkehrsbelastung pro Sprechkreis und vorgeschriebene Verlustwahrscheinlichkeit B_{pp} ,
- eine gegebene Anzahl von Zeitlagen je Multiplexleitung,
- einen gegebenen Strukturtyp,

unmittelbar die Strukturdaten der kostengünstigsten PCM-KAN (einschließlich des Aufweitungsfaktors β) sowie deren normierte Kosten je Sprechkreis (je Zeitlage) abzulesen.

Das abschließende Kapitel 10 leitet drei verschiedene Verfahren zur Strukturoptimierung her. Es liefert als Ergebnis Entwurfsregeln für wirtschaftliche und technisch sinnvolle PCM-Koppelanordnungen.

Die beste dieser 3 Entwurfsregeln war die Grundlage aller zuvor vorgestellten Strukturen.

