

Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung
Universität Stuttgart
Prof. Dr.-Ing. P. Kühn

35. Bericht über verkehrstheoretische Arbeiten

Über den Einfluß von Wegezuteilungsprinzipien und
Wegesuchalgorithmen auf die Verkehrseigenschaften
von PCM - Koppelanordnungen

von
Klaus Rothmaier

Institute of Switching and Data Technics
University of Stuttgart
Prof. Dr.-Ing. P. Kühn

35th Report on Studies in Congestion Theory

The Influence of Path Allocation Principles and
Path Searching Algorithms on the Traffic Performance
of PCM Switching Arrays

by
Klaus Rothmaier

1984

© 1984 Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung Universität Stuttgart

Druck: E. Kurz & Co., Stuttgart

ISBN 3-922403-45-X

This report in brief

PCM switching always corresponds to four-wire switching, i. e. whenever a call has to be established it requires two separate speech paths through the PCM switching network. If this network is operated in the combined switching mode, which only is considered in this report, these two speech paths are set up in the same PCM switching network. Therefore it is possible to define various principles relating the two paths of one connection to each other. Two basic types of switching networks are distinguished with respect to the path selection: conditional selection for the whole switching network (conventional PCM switching arrangements) and stepwise selection within each switching module (modular PCM switching arrangements).

In this report three different path allocation principles are compared to each other with respect to their influence on the probability of loss and on the time necessary for path searching. The properties of these three principles are studied for conventional PCM switching arrangements of types TST, STS, TSST and TSSST as well as for modular PCM switching arrangements having one up to three stages.

Finally, approximate calculation methods for the point-to-point loss probability are presented. The calculation method PPLE for the investigated conventional PCM switching arrangements with conditional selection bases on the derivation of an effective accessibility. The loss of the investigated modular PCM switching arrangements with step-by-step selection is calculated approximately utilizing the probabilities of fully occupied multiplex lines between two adjacent stages.

Chapter 1 and 2

After a short introduction a brief survey is given on the elements of the PCM switching arrangements. In conventional

switching networks, the space switch allows the coincident time-slot switching from each incoming multiplex line to each outgoing one. The time-slot interchange allows interchanging from each incoming time-slot to each outgoing one. The unique element of modular switching networks, a module, combines both switching functions of these above mentioned two elements.

Then the structures of the investigated PCM arrangements and their mapping into equivalent SDM arrangements are defined.

Chapter 3

This chapter contains the definitions of the different modes, the PCM switching arrangements can be operated with. These are the separate and combined switching mode, the conjugate and step-by-step path selection mode as well as the two different hunting modes.

Chapter 4

The three different path allocation principles are described using a 3-stage SDM link system as an example. This SDM array can be interpreted as an equivalently mapped 3-stage PCM arrangement.

With the arbitrary path allocation, for each of the two speech directions per connection an individual path search is carried out. It results in two arbitrarily occupied multiples in the middle stage of the SDM array. Applying the symmetrical path allocation mode, the two paths lead always via the same multiple in the middle stage. The two quasi-symmetrically allocated paths use two different but related multiples in the middle stage, e. g., two adjacent multiples.

Chapter 5

26 diagrams are given to show the impact of the three allocation principles on the probability of the point-to-point loss depicted separately for each connection type. In the diagrams, the loss is drawn versus the carried traffic per incoming time-slot. They also illustrate the good agreement between calculated results and simulated results.

Chapter 6

Path searching is carried out in the control of the arrangement according to the applied path allocation principle. This distinct implementation is called path searching algorithm.

In this chapter, different path searching algorithms are discussed, using the whole mapped arrangement and, additionally, the reduced mapped arrangement in the case of the symmetrical and quasisymmetrical path searching algorithm.

For the TST and STS the "super-algorithm" can be applied. This algorithm is a superposition of the arbitrary and the symmetrical path searching algorithm.

Chapter 7

This chapter presents 21 diagrams, showing that suitable path searching algorithms for conventional PCM switching arrays can significantly reduce the time for path searching needed by the control. The measurement results, obtained for a Motorola 6 800 path search processor, are depicted separately for successfully switched paths, lost calls, and for releasing occupied paths.

Chapter 8

In this chapter, the ways of solution of the approximate loss calculation methods are outlined in detail.

The interarrival times and holding times are assumed to be negative exponentially distributed. Always the carried traffic is prescribed and therefore the offered traffic is determined iteratively.

In case of conventional PCM switching arrays, the basic idea for the loss calculation is to transform the mapped multi-stage arrangement into a one-stage grading having the same number of trunks and the same carried traffic. This mapping is done by means of a specific effective accessibility, which is also a function of the considered type of connection and of the chosen path allocation principle. The effective accessibility denotes that number of inlets of the destination multiple which can effectively be accessed from the calling inlet of the originating multiple.

In case of modular PCM switching arrays, the loss calculation is performed by means of the state probabilities determined according to A. K. Erlang's loss formula.

Chapter 9

This concluding chapter summarizes all the results described in great detail throughout this report on the influence of path allocation principles and path searching algorithms on the traffic performance of PCM switching arrangements.

Two modes of operation of a PCM switching arrangement are suggested to be adapted for suitable application.

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S	Seite
Abkürzungsverzeichnis	7
1. Einleitung	10
2. Strukturen von konventionellen und modularen PCM-Koppelanordnungen	12
2.1 Elemente von PCM-Koppelanordnungen	13
2.1.1 Das Raumlagenvielfach	13
2.1.2 Das Zeitlagenvielfach	14
2.1.3 Das Kombinationsvielfach	15
2.2 Strukturen der untersuchten konventionellen PCM-Koppelanordnungen	17
2.2.1 Dreistufige ZRZ Koppelanordnungen	17
2.2.2 Dreistufige RZR Koppelanordnungen	20
2.2.3 Vierstufige ZRRZ Koppelanordnungen	21
2.2.4 Fünfstufige ZRRRZ Koppelanordnungen	23
2.3 Strukturen der untersuchten modularen PCM-Koppelanordnungen	25
2.3.1 Einstufige, modulare Koppelanordnungen	26
2.3.2 Zweistufige, modulare Koppelanordnungen	28
2.3.3 Dreistufige, modulare Koppelanordnungen	30
3. Durchschaltearten von PCM-Koppelanordnungen	33
3.1 Die getrennte Durchschaltung	33
3.2 Die gemeinsame Durchschaltung	34
3.3 Die konjugierte Durchschaltung	35
3.4 Die schrittweise Durchschaltung	35
3.5 Die Absuchverfahren	36
4. Wegezuteilungsprinzipien für die beiden Sprechwege bei gemeinsamer Durchschaltung	38
4.1 Wegezuteilungsprinzipien in konventionellen PCM-Koppelanordnungen	38
4.1.1 Die beliebige Wegezuteilung	38

4.1.2 Die symmetrische Wegezuteilung	41
4.1.3 Die quasisymmetrische Wegezuteilung	42
4.1.4 Anwendung der Wegezuteilungsprinzipien bei RZR-Koppelanordnungen	44
4.2 Wegezuteilungsprinzipien in modularen PCM-Koppelanordnungen	44
4.2.1 Die beliebige Wegezuteilung	45
4.2.2 Die symmetrische Wegezuteilung	46
4.2.3 Die quasisymmetrische Wegezuteilung	47
5. Ergebnisse zu den Wegezuteilungsprinzipien bei gemeinsamer Durchschaltung	48
5.1 Verlustwahrscheinlichkeiten in konventionellen PCM-Koppelanordnungen	48
5.1.1 Dreistufige ZRZ-Koppelanordnungen	48
5.1.2 Dreistufige RZR-Koppelanordnungen	63
5.1.3 Vierstufige ZRRZ-Koppelanordnungen	71
5.2 Verlustwahrscheinlichkeiten in modularen PCM-Koppelanordnungen	81
5.2.1 Einstufige, modulare Koppelanordnungen	81
5.2.2 Zweistufige, modulare Koppelanordnungen	81
5.2.3 Dreistufige, modulare Koppelanordnungen	86
6. Wegesuchalgorithmen für die beiden Sprechwege bei gemeinsamer Durchschaltung	90
6.1 Wegesuchalgorithmen für konventionelle PCM-Koppelanordnungen	90
6.1.1 Wegesuchalgorithmus für die beliebige Wegezuteilung	95
6.1.2 Wegesuchalgorithmus für die symmetrische Wegezuteilung	98
6.1.3 Der Super-Algorithmus für ZRZ- und RZR-Koppelanordnungen	100
6.1.4 Wegesuchalgorithmus für die quasisymmetrische Wegezuteilung	102

6.1.5	Wegesuchalgorithmen für die Kombination mehrerer Wegezuteilungsprinzipien	106
6.1.6	Anwendung der Wegesuchalgorithmen bei RZR-Koppelanordnungen	109
6.1.7	Anwendung der Wegesuchalgorithmen bei ZRRZ-Koppelanordnungen	109
6.2	Wegesuchalgorithmen für modulare PCM-Koppelanordnungen	111
7.	Programmlaufzeiten der Wegesuchalgorithmen bei gemeinsamer Durchschaltung in konventionellen PCM-Koppelanordnungen	112
7.1	Dreistufige ZRZ-Koppelanordnungen	113
7.2	Dreistufige RZR-Koppelanordnungen	131
7.3	Vierstufige ZRRZ-Koppelanordnungen	136
8.	Bestimmung der Punkt-Punkt Verlustwahrscheinlichkeit in PCM-Koppelanordnungen mit gemeinsamer Durchschaltung	142
8.1	Allgemeines	143
8.1.1	Begriffe und Definitionen	143
8.1.2	Zustandswahrscheinlichkeiten	146
8.2	Näherungsweise Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeiten in konventionellen PCM-Koppelanordnungen (PPLE-Verfahren)	149
8.2.1	Dreistufige ZRZ-Koppelanordnungen	153
8.2.1.1	Verlustwahrscheinlichkeiten B_{ppe} für Highway-Externverbindungen	153
8.2.1.2	Verlustwahrscheinlichkeiten B_{ppi} für Highway-Internverbindungen	162
8.2.2	Dreistufige RZR-Koppelanordnungen	170
8.2.2.1	Verlustwahrscheinlichkeiten B_{ppgl} für zeitlagenungleiche Verbindungen	171
8.2.2.2	Verlustwahrscheinlichkeiten B_{ppgl} für zeitlagengleiche Verbindungen	178
8.2.3	Vierstufige ZRRZ-Koppelanordnungen	181

8.2.3.1	Verlustwahrscheinlichkeiten B_{ppbe} für Block-Externverbindungen	182
8.2.3.2	Verlustwahrscheinlichkeiten B_{ppbi} für Block-Internverbindungen	188
8.2.3.3	Verlustwahrscheinlichkeiten B_{pphi} für Highway-Internverbindungen	196
8.3	Näherungsweise Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeiten in modularen PCM-Koppelanordnungen	201
8.3.1	Einstufige, modulare PCM-Koppelanordnungen	202
8.3.2	Zweistufige, modulare PCM-Koppelanordnungen	202
8.3.3	Dreistufige, modulare PCM-Koppelanordnungen	204
9.	Zusammenfassung	208
10.	Literaturverzeichnis	213

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

A	Verkehrsangebot
α	Ankunftsrate pro freier Zubringerleitung
β	Aufweitungsfaktor
B	Verlustwahrscheinlichkeit
be	Index: "blockextern"
bel	Index: "beliebige"
bi	Index: "blockintern"
BL	Block-
BM	Belegungsmuster
B _{pp}	Punkt-Punkt Verlustwahrscheinlichkeit
BZSP	Belegungszustandsspeicher
c	Sperrwahrscheinlichkeit
E	Blockierungswahrscheinlichkeit
e	Index: "extern"
Erl	Erlang (dimensionslose Einheit)
ϵ	Enderate
g_i	Anzahl der Koppelvielfache in Stufe i
ges	Index: "gesamt"
gl	Index: "zeitlagengleich"
Gl.	Gleichung
GN	Absuchverfahren, geordnet ab Nullstellung
GZ	Absuchverfahren, geordnet ab zufälliger Anfangsstellung
h	mittlere Belegungsdauer
H	Index: "Hinweg"
hi	Index: "highwayintern"
h_i	Anzahl der Eingänge eines Raumlagenvielfachs in Stufe i
HW	Highway(s)
i_i	Anzahl der Eingänge eines Koppelvielfachs in Stufe i
i	Index: "intern" (ausgenommen bei i_i)
j_i	Anzahl der Ausgänge eines Raumlagenvielfachs in Stufe i
k	Erreichbarkeit
KAn	Koppelanordnung(en)
k_{eff}	effektive Erreichbarkeit

k_i	Anzahl der Ausgänge eines Koppelvielfachs in Stufe i
KombVf	Kombinationsvielfach(e)
KVf	Koppelvielfach(e)
λ	Ankunftsrate (gesamt)
M	Anzahl der externen Zeitlagen
me	Index: "modulextern"
mi	Index: "modulintern"
M*	Anzahl der internen Zeitlagen
ML	Multiplexleitung(en)
MO	Modul-
n	Anzahl der Leitungen eines Bündels
$p(.,.)$	Zweidimensionale Erlangverteilung
$P_b()$	Binomialverteilung
$P_e()$	Eindimensionale Erlangverteilung für Einfachbelegungen
$P_i()$	Eindimensionale Erlangverteilung für Zweifachbelegungen
$P_s()$	Summenverteilung der zweidimensionalen Erlangverteilung
PB	Punkt-Bündel
PP	Punkt-Punkt
quasi	Index: "quasisymmetrische"
R	Raum-
R	Index: "Rückweg"
RlVf	Raumlagenvielfach(e)
RVf	Raumvielfach
sym	Index: "symmetrische"
T_A	Ankunftsabstand
T_F	Freizeitdauer einer Verkehrsquelle
T_H	Belegungsdauer einer Leitung
Tln	Teilnehmer
	A-Tln: rufender Teilnehmer
	B-Tln: gerufener Teilnehmer
ugl	Index: "zeitlagenungleich"
VSP	Verbindungsspeicher
x	Anzahl belegter Leitungen
Y	Verkehrsbelastung
Z	Zeit-
ZL	Zeitlage(n)

ZLg1 zeitlagengleiche (Verbindungen)
ZLug1 zeitlagenungleiche (Verbindungen)
ZlVf Zeitlagenvielfach(e)
ZV 1 Zufallsverkehr 1.Art
abg. ZV 1: abgeschnittener Zufallsverkehr 1.Art
ZV 2 Zufallsverkehr 2.Art
[a] Ganzzahliger Wert von a
{a} Gerundeter Wert von a (als obere Summationsgrenze)

1. EINLEITUNG

Durch die Fortschritte in der Halbleitertechnologie ist der Einsatz der digitalen Vermittlungstechnik wirtschaftlich möglich geworden. Dies bedeutet, daß moderne Vermittlungsstellen eine PCM-Koppelanordnung besitzen, in der die puls-code modulierten Sprachsignale (kurz PCM-Signale) direkt im Zeitvielfach vermittelt werden. Die Koppelanordnungen der meisten existierenden PCM-Vermittlungsstellen benutzen dazu zwei Arten von Stufen, die sog. Raumstufen für die räumliche, zeitkoinzidente Durchschaltung zwischen Multiplexleitungen und die sog. Zeitstufen für die Durchschaltung von gleichen oder verschiedenen Zeitlagen zwischen einer ankommenden und einer abgehenden Multiplexleitung. Die Elemente dieser Stufen bezeichnet man als Raumlagenvielfache und Zeitlagenvielfache. Jüngste Entwicklungen, die modularen PCM-Koppelanordnungen, verwenden nicht mehr diese "konventionellen" Bausteine, sondern sog. Kombinationsvielfache. Dies sind blockierungsfreie Einheiten, welche die Funktion von Raum- und Zeitlagenvielfachen in sich vereinigen.

Die bisherigen Untersuchungen konventioneller PCM-Koppelanordnungen mit getrennter bzw. gemeinsamer Durchschaltung dienen der Berechnung der pauschalen Verkehrsleistung, d.h. ohne eine detailliertere Untersuchung der Einflüsse der gemeinsamen Durchschaltung in Verbindung mit den verschiedenartigen Wegezuteilungsprinzipien und ohne die getrennte Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeiten von Intern- und Externverkehr. Desgleichen wurde der Einfluß von verschiedenen Wegesuchalgorithmen und Absuchverfahren auf die Belastung der Steuerung bisher nicht untersucht.

Die Verkehrsleistung modularer PCM-Koppelanordnungen wurde unter den gleichen Gesichtspunkten hier ebenfalls erstmalig untersucht.

In Kapitel 2 werden die drei wesentlichen Baugruppen von PCM-Koppelanordnungen in ihrer Funktion vorgestellt und die Strukturen der zu untersuchenden konventionellen und modularen PCM-Koppelanordnungen definiert. Ferner wird deren Abbildung auf äquivalente Raumvielfachsysteme gezeigt.

Im Kapitel 3 werden die Durchschaltearten von PCM-Koppelanordnungen und die Absuchverfahren besprochen.

Im Kapitel 4 werden drei Wegezuteilungsprinzipien bei gemeinsamer Durchschaltung beider Sprechrichtungen von PCM-Verbindungen diskutiert und im Kapitel 5 der Einfluß dieser Wegezuteilungsprinzipien auf die Verlustwahrscheinlichkeit mit Hilfe von Diagrammen gezeigt.

In dem sich anschließenden Kapitel 6 werden für diese drei Wegezuteilungsprinzipien jeweils verschiedene Wegesuchalgorithmen behandelt, wie sie für die Steuerung von konventionellen PCM-Koppelanordnungen bei gemeinsamer Durchschaltung angewendet werden können.

Im Kapitel 7 werden die Ergebnisse der Wegesuchalgorithmen anhand von Diagrammen erläutert. Kriterien hierfür sind die erforderlichen Wegesuchzeiten bei gleicher Verkehrsbelastung.

Das Kapitel 8 enthält die Herleitung des Verfahrens PPLE zur näherungsweise Berechnung der Punkt-Punkt Verlustwahrscheinlichkeit von konventionellen PCM-Koppelanordnungen bei gemeinsamer Durchschaltung.

Für die modularen PCM-Koppelanordnungen wird gezeigt, wie sich deren Verlustwahrscheinlichkeit auf einfache Weise berechnen läßt.

Den Abschluß bildet eine Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse dieser Arbeit.

2. STRUKTUREN VON KONVENTIONELLEN UND MODULAREN PCM - KOPPELANORDNUNGEN

In Ortswählsystemen mit Raumvielfachtechnik wird der relativ kleine Verkehrsanfall pro Teilnehmer über sog. Vorwahl- bzw. Anrufsucherstufen oder auch in doppelt gerichteten Endwahlstufen konzentriert. Daran anschließend erfolgt dann die Richtungswahl mit ein- oder mehrstufigen Richtungswahlkoppelanordnungen.

In PCM-Wählsystemen wird diese Konzentration des Teilnehmerverkehrs in der Regel in Konzentratoren im Vorfeld, d.h. in Teilnehmernähe, oder in sog. ausgelagerten Vermittlungsmodulen durchgeführt.

Die nachfolgend untersuchten PCM-Koppelanordnungen dienen deshalb nur der Verteilung des Verkehrs, werden also für die Richtungswahl eingesetzt. Die Verkehrsbelastung der kommenden und gehenden Verkehrsrichtungen ist praktisch gleich groß und liegt, dank dieser Konzentration im Vorfeld, im allgemeinen zwischen 0.5 und 0.9 Erlang je Zeitlage.

Die konventionelle PCM-Koppelanordnung besteht aus einer mehrstufigen Kombination von Raumstufen und Zeitstufen (R- und Z-Stufen), welche - analog zu den Raumvielfach-Koppelanordnungen - mit konjugierter Durchschaltung (vgl.3.3) arbeiten. Modulare PCM-Koppelanordnungen sind dagegen aus einheitlichen Kombinationsstufen aufgebaut, die aus den sog. Modulen oder Kombinationsvielfachen bestehen. Führt eine Verbindung über mehr als ein Modul, so wird diese Verbindung schrittweise, d.h. nicht konjugiert über die im Verbindungsweg liegenden Zwischenmodule aufgebaut.

2.1 Elemente von PCM-Koppelanordnungen

2.1.1 Das Raumlagenvielfach

Die Raumstufe besteht aus einer Reihe von Koppelmatrizen für Zeitmultiplexleitungen, den sog. Raumlagenvielfachen und deren Speicherspeicher (vgl. Bild 2.1). Jede Matrix besitzt h ankommende und j abgehende Multiplexleitungen (ML), von denen jede M Zeitlagen (ZL) führt. Je nachdem, in welcher Stufe der Koppelanordnung (KAN) solche Raumlagenvielfache (RLVf) verwendet werden, kann die Zahl der abgehenden Multiplexleitungen gleich, größer oder kleiner sein als die der ankommenden ML.

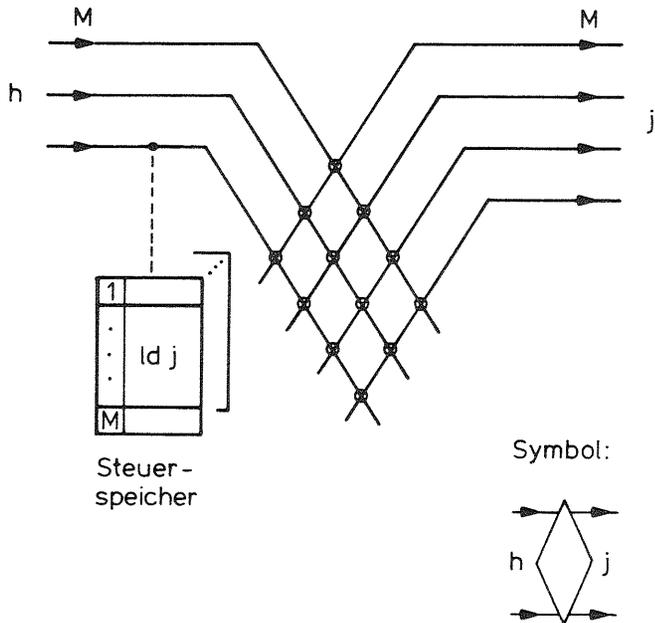


Bild 2.1: Das Raumlagenvielfach

Die Zeitlagen einer Multiplexleitung führen stets nur eine Sprechrichtung einer Vierdraht-Verbindung. Ein sogenannter Highway (HW) besteht immer aus zwei ML, je eine pro Sprechrichtung (vgl. Kap.3.).

Derartige Raumlagenvielfache ermöglichen nur die koinzidente Durchschaltung von Zeitlagen, d.h. jede ZL einer ankommenden ML kann nur zu derselben Zeitlage einer abgehenden Multiplexleitung durchgeschaltet werden. Ein Zeitlagenumstieg ist nicht möglich. Der Speicherspeicher eines RLVf enthält für jede der M Zeitlagen die codierte Adresse des zu schließenden Tores, um jede Verbindung genau während der Dauer ihrer ZL von einer bestimmten ankommenden ML zu einer gewünschten abgehenden ML koinzident durchschalten zu können.

Um die nachfolgenden Strukturbilder zu vereinfachen, wird für eine solche Koppelmatrix ein Symbol eingeführt, wie es im Bild 2.1 rechts unten ebenfalls dargestellt ist.

2.1.2 Das Zeitlagenvielfach

Eine Zeitstufe besteht aus Zeitlagenvielfachen (ZLVf), d.h. aus einer Reihe von Sprachspeichern mit ihren zugehörigen Speicherspeichern (vgl. Bild 2.2). Ein ZLVf erlaubt jede der M Zeitlagen der ankommenden ML auf jede der M^* ZL der abgehenden Multiplexleitung zu vermitteln. Je nach Lage der Zeitstufe innerhalb der PCM-Koppelanordnung kann M^* größer, gleich oder kleiner als M sein.

Die Zeitlagenumsetzung erfolgt ebenfalls mit Hilfe des Speicherspeichers. Er enthält für jede Verbindung jene Zellnummer des Sprachspeichers, die zu einer bestimmten abgehenden ZL ausgelesen werden soll.

Das Symbol des Zeitlagenvielfachs ist im Bild 2.2 ebenfalls angegeben.

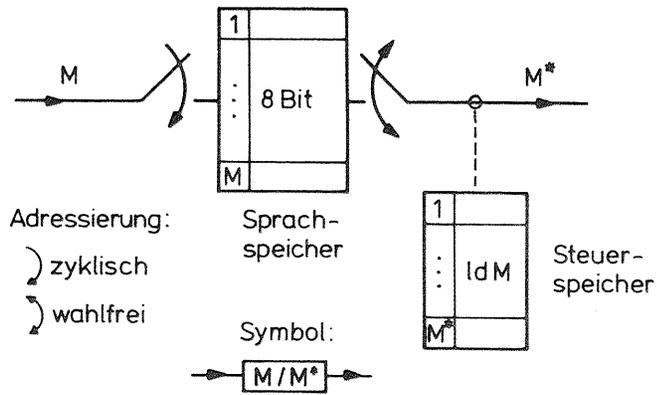
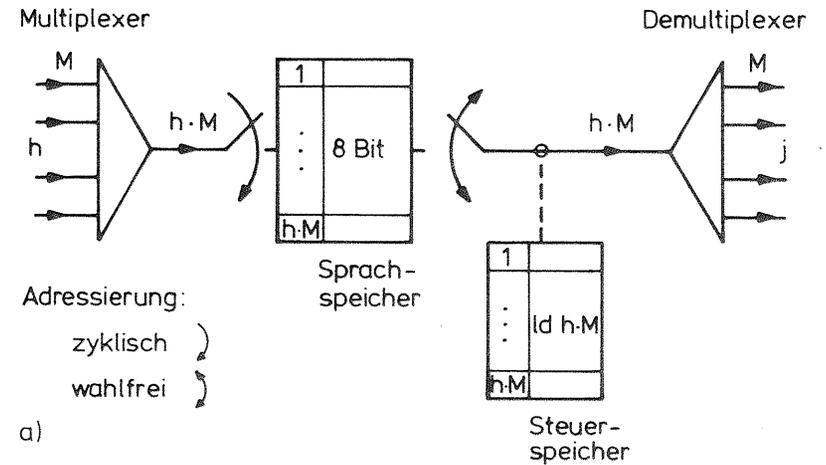


Bild 2.2: Das Zeitlagenvielfach

2.1.3 Das Kombinationsvielfach

Ein Kombinationsvielfach (KombVf) erfüllt die räumlichen und die zeitlichen Vermittlungsaufgaben der vorher genannten Bauelemente in einem einzigen blockierungsfreien Modul. Bild 2.3 zeigt ein KombVf mit h Eingangs-Multiplexleitungen mit jeweils M Zeitlagen und j Ausgangs-ML mit je M ZL. Die h ankommenden, "langsamen" Multiplexleitungen werden mit dem Multiplexer zu einer schnellen ML zusammengefaßt. Die räumliche wie auch zeitliche Vermittlung der ZL erfolgt ebenfalls mit Hilfe eines Speichers und eines entsprechend großen Sprachspeichers. Im Speicherspeicher steht durch die Koppelnetzsteuerung die Adresse jener Sprachspeicherzelle, deren Inhalt zu einer bestimmten internen ZL auszulesen ist. Wegen der starren Zuordnung der internen Zeitlagen zu denen der abgehenden ML über den Demultiplexer liegt damit auch die gewünschte abgehende ML, sowie deren zu belegende ZL bereits fest. Wie das Raum- und Zeitlagenvielfach wird auch das Kombinationsvielfach als ein blockierungsfreies Bauelement realisiert. Sein



a)

Symbol 1:



Symbol 2:



Symbol 3:



Bild 2.3: Das Kombinationsvielfach

Symbol ist im Bild 2.3a skizziert. Im Bild 2.3b sind zwei weitere, gleichwertige Symbole dargestellt. Sie werden nur aus zeichnerischen Gründen bei den einseitigen, modularen PCM-KAN (vgl. 2.3) angewendet, da dort ein KombVf mit einem Teil j'' seiner abgehenden ML mit einem nachfolgenden Modul verbunden werden soll, welcher in der betreffenden Strukturskizze links positioniert ist. Die h'' ankommenden ML bilden mit den j'' abgehenden ML die auf der linken Seite des KombVf angeschlossenen h' Highways. Das 3. Symbol faßt jeweils die ankommende und ab-

gehende ML eines HW in dem Zeichen \leftrightarrow zusammen.

Es gelten folgende Beziehungen :

$$j' + j'' = j$$

$$h' + h'' = h$$

$$h' = j''$$

$$h'' = j'$$

Es ist also stets möglich, von jedem beliebigen der h Eingänge auf jeden beliebigen der j Ausgänge zu gelangen.

2.2 Strukturen der untersuchten konventionellen PCM-Koppelanordnungen

In /34/ wird unter anderem gezeigt, daß sich optimale Verkehrseigenschaften zusammen mit minimalen Kosten nur dann ergeben, wenn die PCM-KAN eine symmetrische Struktur besitzt. Eine Expansion bzw. Konzentration der inneren Verbindungswege solcher Koppelanordnungen wird nur in der ersten bzw. letzten Stufe durchgeführt.

2.2.1 Dreistufige ZRZ-Koppelanordnungen

Bild 2.4a zeigt die Struktur einer ZRZ-Koppelanordnung. Die erste und die letzte Stufe ist eine Zeitstufe, die mittlere eine Raumstufe. Diese Raumstufe besteht hier aus einem einzigen RLVf, an welches die h_2 von Stufe 1 kommenden und j_2 zur Stufe 3 gehenden Multiplexleitungen angeschaltet sind.

Es werden zwei Verbindungstypen unterschieden, die Highway-Internverbindung und die Highway-Externverbindung. Führt eine Verbindung über gleichnumerierte ZLVf in der ersten und dritten Stufe, so wird sie als HW-Internverbindung, andernfalls als HW-Externverbindung bezeichnet.

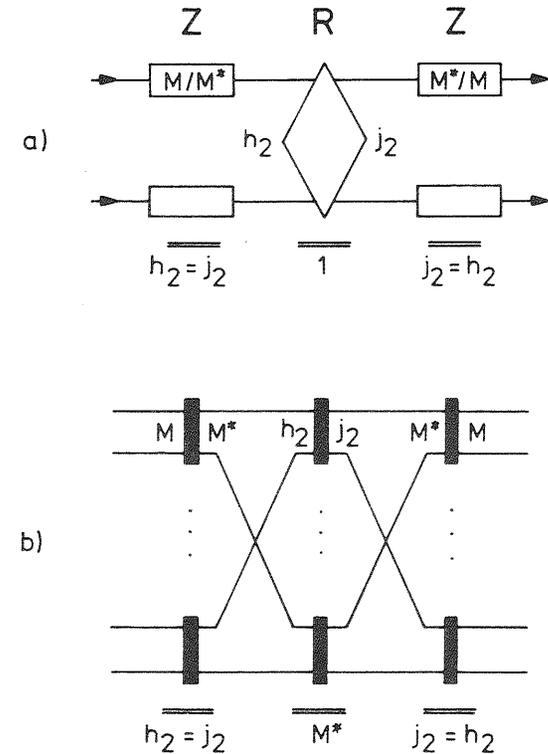


Bild 2.4: Die ZRZ-Koppelanordnung (a) und ihre äquivalente Raumvielfach-Koppelanordnung (b)

Außerhalb der Koppelanordnung führen die ML je M Zeitlagen, innerhalb der KAN wird eine sog. Aufweitung auf $M^* \geq M$ ZL angenommen.

Wie später (Kap. 5) noch gezeigt wird, läßt sich für eine vorgegebene Verkehrsbelastung die Verlustwahrscheinlichkeit der PCM-Koppelanordnung durch dieses Aufweiten reduzieren, weil man intern mehr Sprechwege (ZL) zur Verfügung stellt als maximal belegt werden können. Diese Aufweitung erfolgt sinnvoll immer in der ersten Stufe und die korrespondierende Konzentration aus Symmetriegründen in der letzten Stufe.

Im Teil b des Bildes 2.4 ist die zur PCM-Struktur äquivalente Raumvielfach-Koppelanordnung (RVf-KAn) dargestellt. Diese besitzt bei gleicher Verkehrsbelastung denselben Verlust. In einer PCM-KAn entspricht jede von den M bzw. M^* Zeitlagen einer ML einem verdrahteten Sprechweg in der analogen RVf-KAn. Für Verkehrsleistungsbestimmungen bzw. für die Untersuchung von Wegesuchalgorithmen ist es vorteilhaft, die einzelnen Zeitlagen, d.h. Sprechwege, sichtbar zu machen. Dies wird mit der Abbildung in die äquivalente Raumvielfachdarstellung erreicht. Die folgenden Abbildungsregeln können definiert werden :

- Ein Zeitlagenvielfach mit M kommenden und M^* gehenden Zeitlagen entspricht einem einzigen Raumkoppelvielfach mit M Eingängen und M^* Ausgängen.
- Ein Raumlagenvielfach mit h kommenden und j gehenden Multiplexleitungen, von denen jede M Zeitlagen führt, entspricht einer Spalte von M Raumkoppelvielfachen, jedes mit h Eingängen und j Ausgängen.

Die Abbildung einer kommenden oder gehenden ML ergibt ein Bündel mit M Leitungen. Diese Bündel endigen bei Z..Z Strukturen jeweils an einem Koppelvielfach (KVf) der ersten bzw. letzten Stufe, so daß es ausreicht nur irgendeine freie Abnehmerleitung des gewünschten Bündels hinter dem KVf der letzten Stufe zu markieren. Die Wegesuche einer solchen Punkt-Punkt Markierung prüft die Zwischenleitungen des Verbindungsgraphen zwischen dem Start-Koppelvielfach in der ersten Stufe und dem Ziel-KVf in der letzten Stufe ab. Im Falle einer inneren Blockierung würde ein weiterer Versuch (wiederholte Punkt-Punkt Markierung) ebenfalls erfolglos sein, weil das gewünschte abgehende Bündel nur über das markierte Ziel-KVf der letzten Stufe erreicht werden kann, und somit wieder derselbe Verbindungsgraph von der Wegesuche abgeprüft werden müßte. Die Anwendung der Betriebsarten "mehrfache Punkt-Punkt Markierung" und "Punkt-Bündel Markierung" bei Z..Z Strukturen ist also nicht sinnvoll, da sie zu keiner Verbesserung der Verkehrsleistung der Koppelanordnung führen.

2.2.2 Dreistufige RZR-Koppelanordnungen

Im Bild 2.5 ist eine RZR-Koppelanordnung mit ihrer äquivalenten RVf-KAn abgebildet. Es gelten dieselben Abbildungsregeln wie sie oben definiert wurden. Im Unterschied zur ZRZ-Koppelanordnung endigen hier die angeschlossenen Bündel (Abbildung der ML) mit jeweils einer ihrer M Leitungen an einem anderen der M KVf der Stufe 1 bzw. 3.

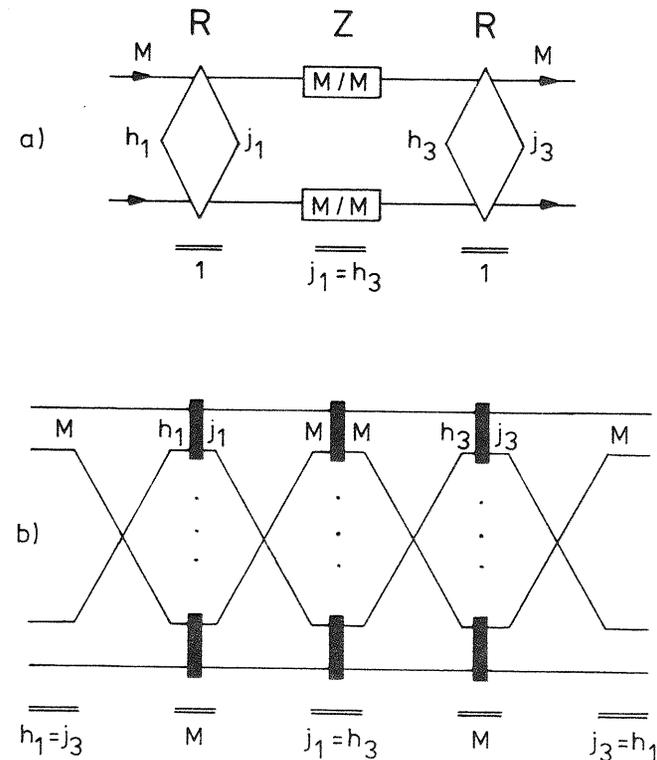


Bild 2.5: Die RZR-Koppelanordnung (a) und ihre äquivalente Raumvielfach-Koppelanordnung (b)

Wie bei der ZRZ-Koppelanordnung unterscheidet man auch hier zwischen HW-Internverbindungen und HW-Externverbindungen. Zusätzlich werden diese Verbindungstypen noch in zeitlagengleiche und zeitlagenungleiche Verbindungen unterteilt. Zeitlagengleiche Verbindungen sind solche, die auf ihrer ankommenden und abgehenden Multiplexleitung dieselbe Zeitlagennummer belegen. In der äquivalenten RVf-Darstellung der RZR-KAN heißt dies, daß eine zeitlagengleiche Verbindung gleichnumerierte KVf in der ersten und dritten Stufe benutzt, da ein solches Koppelvielfach die gleiche Zeitlage aller angeschlossenen ML repräsentiert.

Die andersartige Bündelanschaltung im Vergleich zur ZRZ Struktur bewirkt, daß jetzt neben der Punkt-Punkt Markierung auch die mehrfache Punkt-Punkt Markierung wie auch eine Punkt-Bündel Markierung sinnvoll sein kann. Nun kann jedes abgehende Bündel (ML) über alle Koppelvielfache der letzten Stufe erreicht werden und bei jedem weiteren Durchschaltversuch zu einer freien Abnehmerleitung (max. M Versuche bei Punkt-Bündel Markierung) wird ein anderer Verbindungsgraph abgeprüft.

Mehrfache Punkt-Punkt Markierung und Punkt-Bündel Markierung führen zu einer Verbesserung der Verkehrsleistung der PCM-KAN. Allerdings erhöht sich auch der Steuerungsaufwand, was sich in einer erhöhten Laufzeit der Wegesuchprogramme ausdrückt. Weitet man zur Verlustreduzierung die RZR Struktur auf, d.h. stellt man intern mehr ML zur Verfügung als extern angeschlossen sind, so läßt sich bei einfacher Punkt-Punkt Markierung eine gewünschte kleinere Verlustwahrscheinlichkeit einstellen ohne daß sich der Steuerungsaufwand erhöht (vgl. Kap.6.1.6. und 7.2).

2.2.3 Vierstufige ZRRZ-Koppelanordnungen

Unter allen denkbaren symmetrischen vierstufigen Koppelanordnungen ist die Struktur ZRRZ die einzige verkehrstheoretisch und ökonomisch sinnvolle /34/.

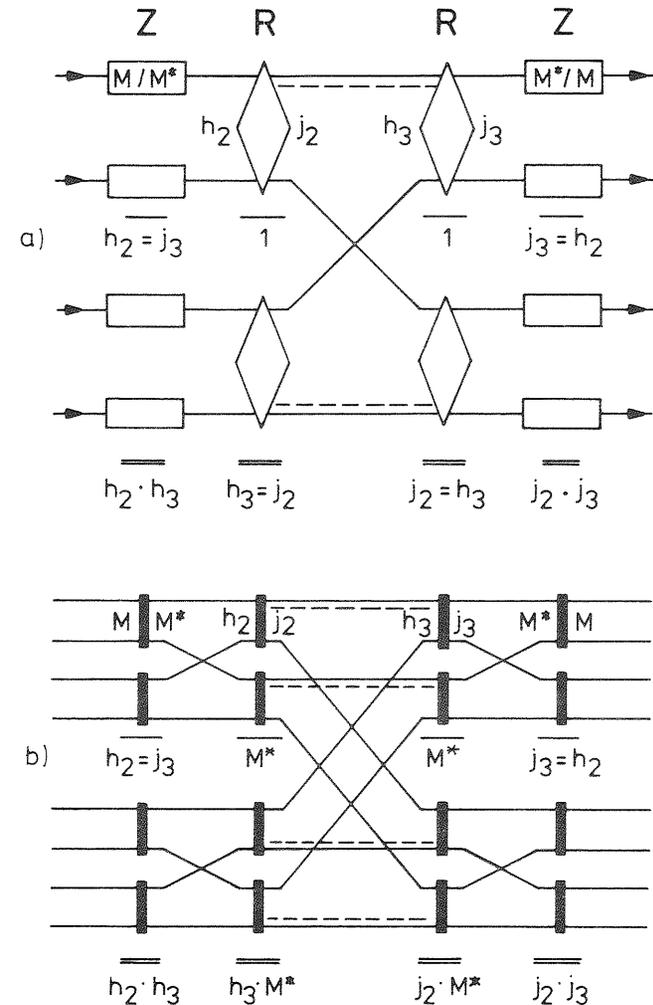


Bild 2.6: Die ZRRZ-Koppelanordnung (a) und ihre äquivalente Raumvielfach-Koppelanordnung (b)

Bild 2.6 zeigt diese Struktur zusammen mit der Abbildung auf ihre äquivalente RVf-KAn.

Diese vierstufige Anordnung erlaubt das Bilden von "Blöcken". Als Block bezeichnet man eine Gruppe von ZLVf mit ihrem zugehörigen RLVf in der benachbarten Stufe. Die Blockbildung reduziert die Kosten im Vergleich zu einer ZRZ Struktur gleicher Größe und Verkehrsleistung und erleichtert den stufenweisen Ausbau der Koppelanordnung.

Bei der vierstufigen KAn können drei Verbindungstypen unterschieden werden, die Highway-Internverbindungen, die Block-Internverbindungen und die Block-Externverbindungen. Dabei sind die blockinternen und blockexternen Verbindungen jeweils Highway-Externverbindungen wie sie für ZRZ-KAn definiert wurden.

Die zwischen den beiden R-Stufen gestrichelt eingezeichneten, zusätzlichen horizontalen Zwischenleitungen werden benötigt, falls diese Koppelanordnung mit dem symmetrischen Wegezuteilungsprinzip betrieben wird (vgl. Kap.4.1.2). Ohne diese zusätzlichen Zwischenleitungen könnten dann keine Block-Internverbindungen hergestellt werden. Highway-Internverbindungen sind bei symmetrischer Wegezuteilung nach wie vor nicht möglich.

2.2.4 Fünfstufige ZRRRZ-Koppelanordnungen

Neben der fünfstufigen ZRRRZ-KAn erfüllen noch die RRZRR-, RZRZR- und ZRZRZ-Strukturen die Bedingung des symmetrischen Aufbaus /34/. Diese sind jedoch bei gleicher Verkehrsleistung nicht kostengünstig zu realisieren, sodaß hier nur die ZRRRZ-Struktur betrachtet wird.

Die Blockbildung bei dieser KAn geschieht, wie bei der ZRRZ-KAn, in den beiden ersten und den beiden letzten Stufen. Gegenüber der vierstufigen Anordnung vergrößert sich jedoch der Verbindungsgraph, d.h. die Zahl der inneren Verbindungswege zwischen einem Start- und einem Ziel-Koppelvielfach, da von den RLVf der Mittelstufe noch jeder Zielblock erreichbar ist.

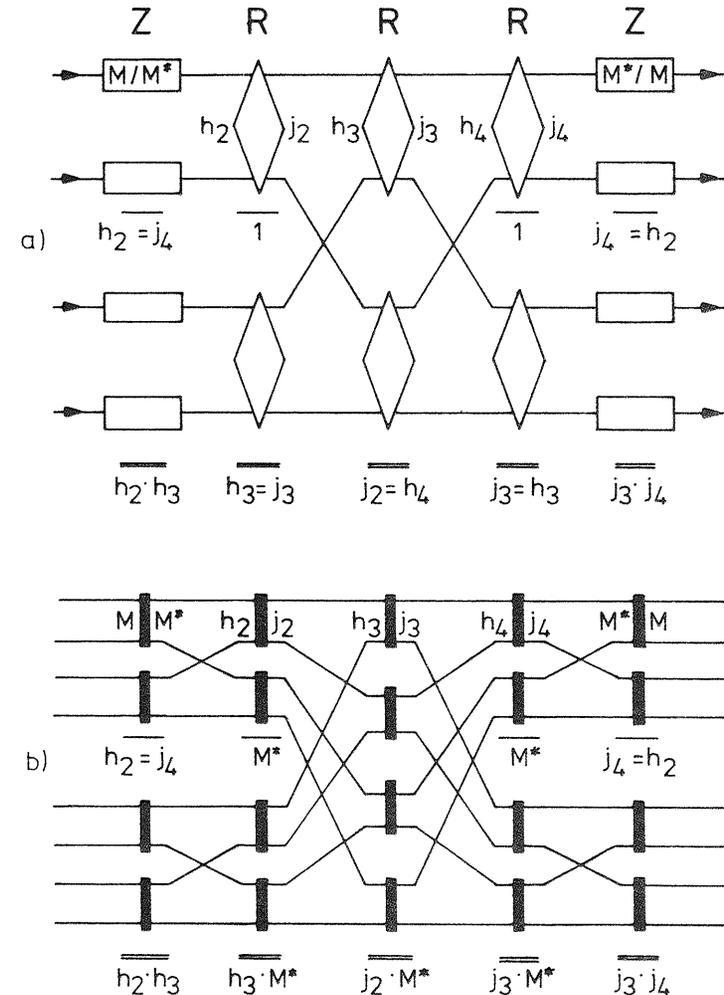


Bild 2.7: Die ZRRRZ-Koppelanordnung (a) und ihre äquivalente Raumvielfach-Koppelanordnung (b)

Im Bild 2.7 ist diese PCM-Struktur und deren RVf-Abbildung dargestellt. Die zeichnerische Anordnung der Raum-KVf in der Mittelstufe ist dabei so gewählt worden, daß alle jene KVf der mittleren Stufe einander benachbart sind, die derselben Zeitlagennummer in der realen PCM-KAN entsprechen.

Breibt man diese ZRRRZ-Koppelanordnung mit gemeinsamer Durchschaltung und nach dem symmetrischen Wegezuteilungsprinzip (vgl. Kap.3.2), so können Block-Internverbindungen, mit einer Verdrahtung wie in Bild 2.7 dargestellt, nicht aufgebaut werden. Um diese Einschränkung zu überwinden, müssten, aus denselben Gründen wie bei der vierstufigen ZRRZ-KAN, die horizontalen Zwischenleitungen zwischen den Stufen 2 und 3 bzw. 3 und 4 verdoppelt werden. Dies würde einen zusätzlichen Hardwareaufwand und eine zusätzliche Erhöhung des an sich schon erheblichen Steuerungsaufwands bedeuten, da ja über fünf Stufen hinweg eine konjugierte Wegesuche durchgeführt werden muß.

Ihre eigentliche Bedeutung erhält diese ZRRRZ Struktur durch eine Aufweitung zwischen Stufe 2 und 4 derart, daß die Raumstufen 2, 3 und 4 zusammen eine blockierungsfreie Anordnung bilden. Hierzu müssen, nach / 7 /, die Raumlagenvielfache der zweiten Stufe $j_2 \geq 2 \cdot h_2 - 1$ Ausgänge besitzen und entsprechend in der vierten Stufe $h_4 = j_2 \geq 2 \cdot j_4 - 1$ Eingänge pro RLVf vorhanden sein.

Mit diesen speziellen Dimensionierungsvorschriften kann die fünfstufige Koppelanordnung wie ein dreistufiges ZRZ System behandelt werden, weil die Stufen 2, 3 und 4 gemeinsam, vom verkehrstheoretischen Standpunkt aus, wie ein einziges RLVf betrachtet werden können.

2.3 Strukturen der untersuchten modularen PCM-Koppelanordnungen

Modulare Koppelanordnungen bestehen aus lauter einheitlichen, blockierungsfreien Kombinationsvielfachen (Modulen). Sie lassen sich nicht mehr als eine Folge von R- und Z-Stufen dar-

stellen. Die Charakterisierung erfolgt hier durch die Anzahl der Kombinationsstufen sowie danach, ob es sich um eine einseitig bzw. zweiseitig betriebene Koppelanordnung handelt. Die Durchschaltung erfolgt bei den hier untersuchten Strukturen niemals konjugiert über mehrere Module, sondern schrittweise von einem Modul der einen Stufe zu einem Modul der nächsten Stufe (step-by-step Durchschaltung).

Im einseitigen Fall sind die kommenden und gehenden Multiplexleitungen alle auf einer Seite des Koppelnetzes angeschlossen. Beim zweiseitigen Typ werden alle Verbindungen (kommende und gehende Sprechrichtung) über kommende ML auf der einen Seite zu gehenden ML auf der anderen Seite der KAN durchgeschaltet. Dies bedingt, daß alle Verbindungen zwischen zwei Teilnehmern gleich viele Module durchlaufen, wogegen bei den einseitigen Strukturen unterschiedlich lange Verbindungswege möglich sind, je nach dem an welchen Modulen die beiden Teilnehmer angeschlossen sind.

Wie bei den konventionellen Koppelanordnungen wird auch für die modularen KAN eine symmetrische Struktur vorausgesetzt. Es werden nur solche Strukturen betrachtet, die außer in der ersten bzw. letzten Stufe keine Expansion bzw. Konzentration aufweisen. Für die Darstellung der einseitigen Strukturen wird Symbol 3 des KombVf, für die zweiseitigen das Symbol 1 (vgl. Bild 2.3) verwendet.

2.3.1 Einstufige, modulare Koppelanordnungen

Eine einstufige, modulare KAN kann als einseitige oder zweiseitige Koppelanordnung interpretiert werden. Im folgenden wird sie als einseitige Struktur dargestellt. Sie wird im Bild 2.8 mit ihrer Abbildung in ihre äquivalente RVf-KAN gezeigt. Anhand der Abbildung auf ein äquivalentes RVf-System wird der Unterschied zwischen konventionellen und modularen PCM-KAN

deutlich. Die Koppelvielfache sind hier immer durch M parallele Zwischenleitungen miteinander verbunden.

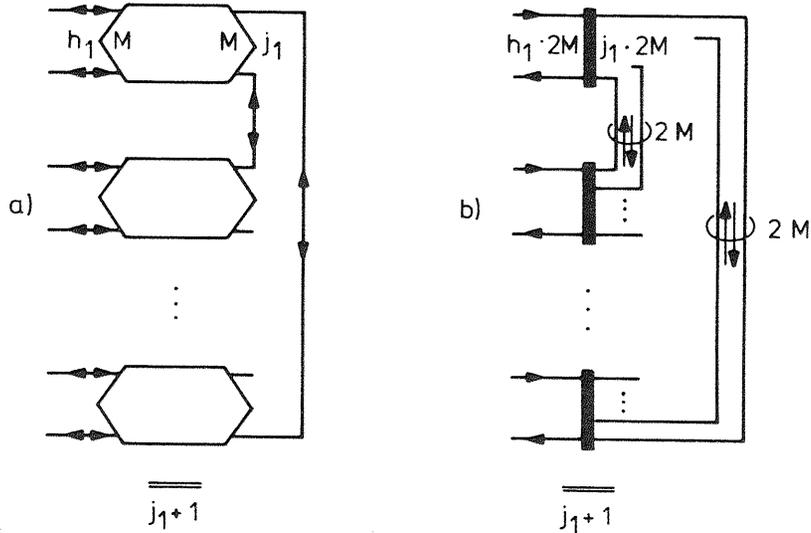


Bild 2.8: Die einstufige, modulare PCM-Koppelanordnung (a) und ihre äquivalente Raumvielfach-Koppelanordnung (b)

Die Bezeichnung $2M$ der Zwischenleitungsbündel soll angeben, daß zwar insgesamt $2 \cdot M$ Leitungen zwischen jeweils zwei KVf vorhanden sind, daß man sich diese aber als zwei getrennte Bündel mit je M Sprechwegen vorstellen muß, jeweils eine Zwischenleitung für jede Sprechrichtung (vierdrähtige Durchschaltung). Modul-Internverbindungen, d.h. Verbindungen zwischen Highways, die an dasselbe Modul angeschlossen sind, können verlustfrei durchgeschaltet werden, da das KombVf blockierungsfrei ist.

2.3.2 Zweistufige, modulare Koppelanordnungen

Im Bild 2.9 ist die einseitige Struktur einer zweistufigen modularen PCM-KAN dargestellt. Modul-Internverbindungen erleiden bei der einseitigen Struktur keinen Verlust, da sie nur "Kurzwege" über ihr gemeinsames Modul der Stufe 1 belegen.

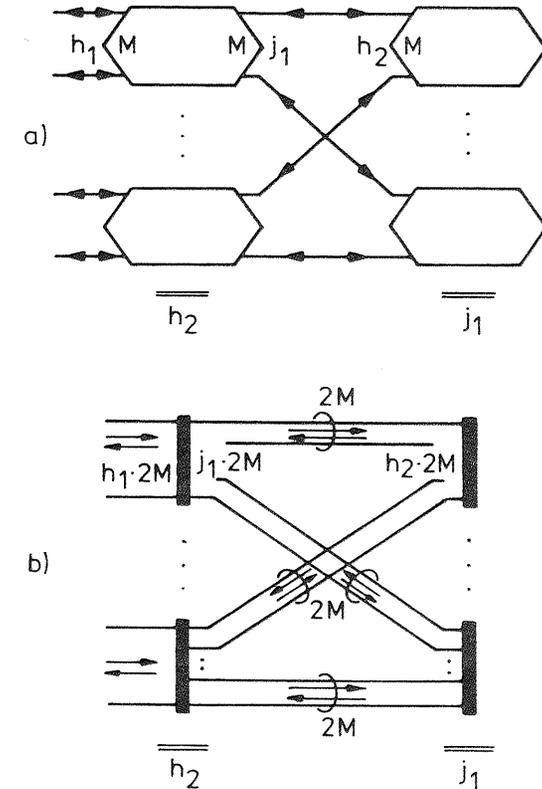


Bild 2.9: Die zweistufige, einseitige modulare PCM-Koppelanordnung (a) und ihre äquivalente Raumvielfach-Koppelanordnung (b)

Bild 2.10 zeigt die Struktur einer zweistufigen, zweiseitigen modularen KAN sowie deren äquivalente RVf-Abbildung. Hier sind die Module der zwei Stufen durch jeweils nur eine ML mit M ZL vermascht. Dementsprechend sind auch in der äquivalenten RVf-Darstellung die Koppelvielfache in den beiden Stufen durch jeweils M parallele, gerichtete Sprechwege verbunden. Jede Verbindung durchläuft immer beide Stufen.

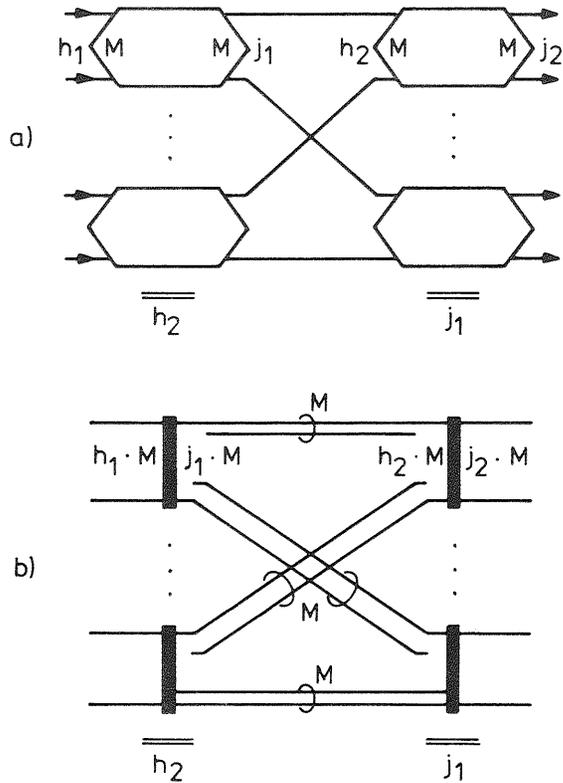


Bild 2.10: Die zweistufige, zweiseitige modulare PCM-Koppelanordnung (a) und ihre äquivalente Raumvielfach-Koppelanordnung (b)

2.3.3 Dreistufige, modulare Koppelanordnungen

Die einseitige bzw. zweiseitige Realisierung einer dreistufigen, modularen PCM-KAN ist in den Bildern 2.11 bzw. 2.12 gezeigt, desgleichen deren Abbildung ins äquivalente Raumvielfachsystem.

In der einseitigen Struktur (Bild 2.11) bilden jeweils h_2 Module der ersten Stufe und j_1 Module der zweiten Stufe einen sog. Block. Ein Block für sich allein (mit $j_2=0$) würde eine einseitige, zweistufige Koppelanordnung darstellen. Die dritte Stufe verbindet h_3 solcher Blöcke miteinander.

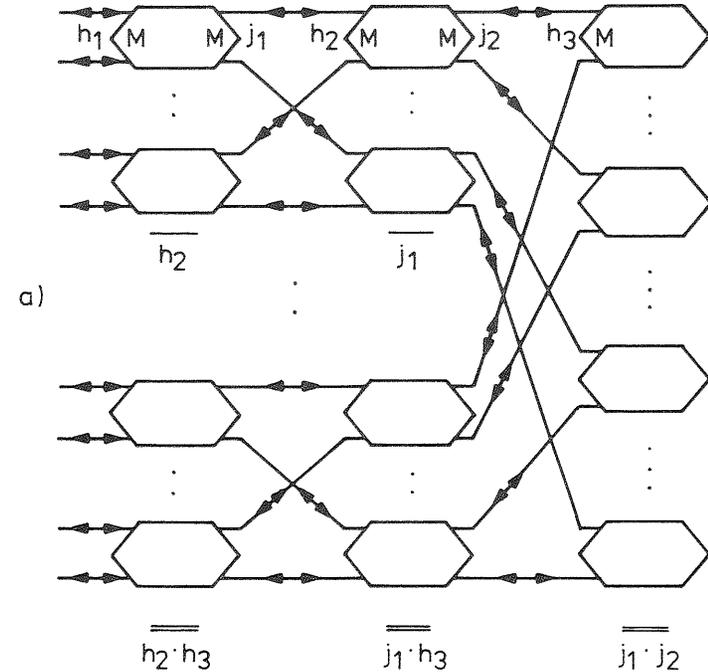


Bild 2.11a: Die dreistufige, einseitige modulare PCM-Koppelanordnung

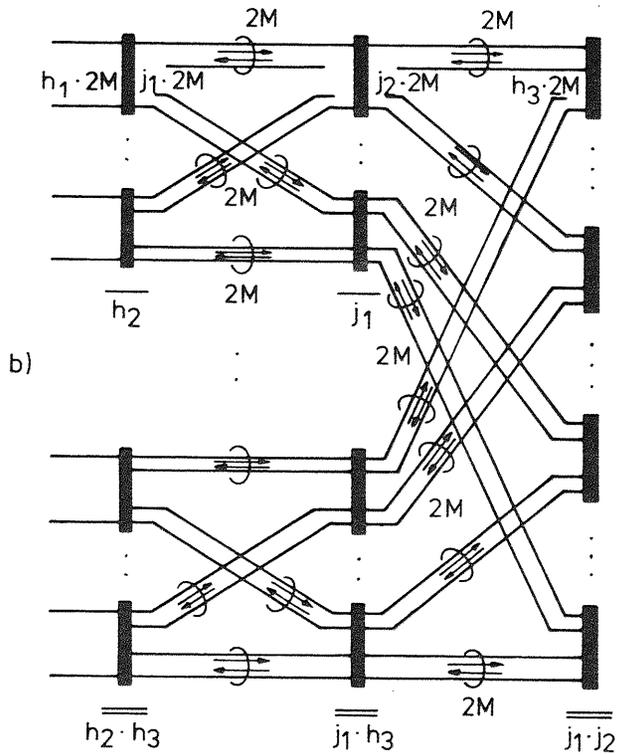


Bild 2.11b: Die äquivalente Raumvielfach-Koppelanordnung der dreistufigen, einseitigen PCM-Koppelanordnung

Es gibt drei verschieden lange Verbindungswege um zwei angeschlossene Teilnehmer miteinander zu verbinden:

- Blockexterne Verbindungen führen über fünf verschiedene Koppelnetzmodule (Stufenfolge 1,2,3,2,1),
- blockinterne, aber modulexterne Verbindungen über drei und
- modulinterne Verbindungen über nur ein Kombinationsvielfach.

Letztere können deshalb verlustfrei durchgeschaltet werden.

In der zweiseitigen Struktur (Bild 2.12) trennt man die Verbindungstypen nur in modulinterne und modulexterne auf. Ihre Verbindungswege durch das Koppelnetz sind immer gleich lang, d.h. sie benutzen immer drei Koppelnetzmodule.

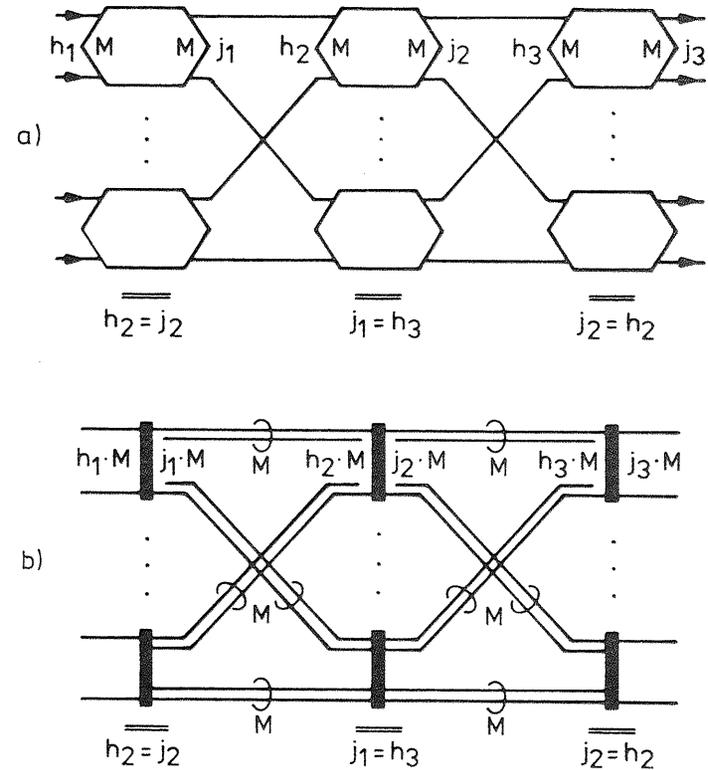


Bild 2.12: Die dreistufige, zweiseitige modulare PCM-Koppelanordnung (a) und ihre äquivalente Raumvielfach-Koppelanordnung (b)

3. DURCHSCHALTEARTEN VON PCM - KOPPELANORDNUNGEN

Weil die PCM-Sprechwegedurchschaltung im Zeitmultiplex erfolgt, muß jede Sprechrichtung einer Verbindung (von A nach B und von B nach A) eine eigene Zeitlage erhalten, d.h. sie muß stets vierdrahtmäßig durchgeschaltet werden.

PCM-Koppelanordnungen, die dies leisten, können unterschiedlich aufgebaut sein.

3.1 Die getrennte Durchschaltung

Bild 3.1 zeigt die Blockstruktur einer PCM-KAN mit zwei getrennten Koppelnetzen für die Durchschaltung beider Sprechrichtungen einer Verbindung. Auf der linken Seite der KAN sind alle kommenden Highways angeschlossen, mit den Multiplexleitungen der beiden Sprechrichtungen je an einem der beiden Koppelnetze. Entsprechendes gilt auch für die gehenden Highways auf der rechten Seite.

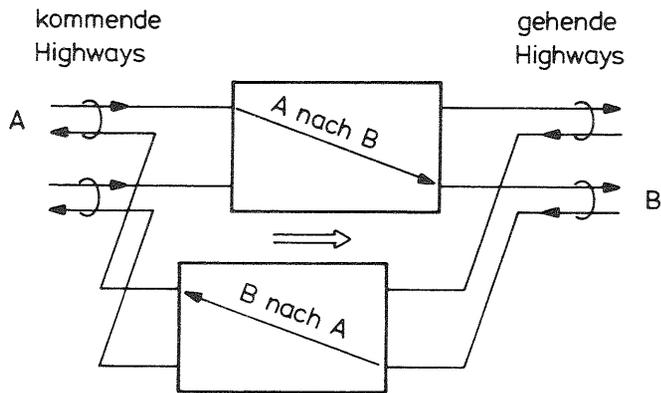


Bild 3.1: Die getrennte Durchschaltung

Diese Durchschalteart erlaubt, wie aus Bild 3.1 zu ersehen ist, nur das Herstellen von Verbindungen von den kommenden Highways zu den gehenden HW. Dieses Verfahren der Verkehrsverteilung kann in Vermittlungsstellen der Fernebene angewandt werden. Es entspricht der Betriebsweise analoger vierdrähtiger Fernvermittlungsstellen (dort über eine KAN mit Vierdraht-Koppelpunkten).

3.2 Die gemeinsame Durchschaltung

Die zweite Durchschalteart ist die sog. gemeinsame Durchschaltung (Bild 3.2). Hier werden beide Sprechrichtungen, jene von A nach B und jene von B nach A, durch ein gemeinsames Koppelnetz geführt. Alle Highways sind mit ihren ankommenden ML links und in entsprechender Anschlußlage mit ihren abgehenden Multiplexleitungen auf der rechten Seite angeschlossen. Dieses Durchschalteprinzip erlaubt es, im Gegensatz zur getrennten Durchschaltung, Verbindungen zwischen allen angeschlossenen HW herzustellen. Dadurch, daß beide Sprechrichtungen in einem gemeinsamen Koppelnetz durchgeschaltet werden, beeinflusst das Prinzip der Zuordnung der benutzten Sprechwege die Verkehrsleistung der KAN, wie auch deren Steuerungsaufwand.

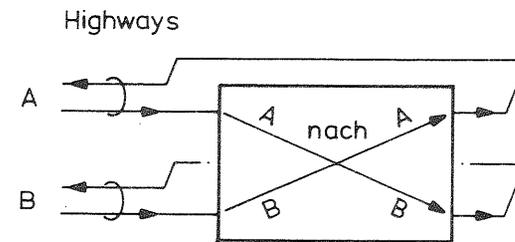


Bild 3.2: Die gemeinsame Durchschaltung

Die Wegezuteilungsprinzipien werden im folgenden Kapitel 4 behandelt. Die unterschiedlichen Wegesuchalgorithmen werden anschließend im Kapitel 5 diskutiert.

Im Kapitel 2.2 und 2.3 wurden die Strukturen der untersuchten PCM-Koppelnetze vorgestellt. Mit Ausnahme der einseitigen, modularen Koppelanordnungen können alle für die getrennte oder für die gemeinsame Durchschaltung verwendet werden. Die einseitigen, modularen KAN werden, a.G. der Anschaltung der HW auf nur einer Seite, stets mit der gemeinsamen Durchschalteart betrieben.

3.3 Die konjugierte Durchschaltung

Unter dem Begriff der konjugierten Durchschaltung versteht man, daß freie Zwischenleitungen in der KAN nur dann belegt werden, wenn zuvor von der Steuerung ein durchgehend freier Weg zum Zielkoppelvielfach in der letzten Stufe gefunden wurde. Dies heißt, daß die Steuerung im ungünstigsten Fall über alle Stufen hinweg sämtliche Zwischenleitungen zum Ziel-KVf auf ihren momentanen Belegungsstatus hin abprüfen muß.

Diese Durchschalteart wird bei allen konventionellen, mehrstufigen PCM-Koppelanordnungen angewandt.

3.4 Die schrittweise Durchschaltung

Die schrittweise Durchschaltung ist das Gegenstück zur konjugierten. Hier werden die freien Zwischenleitungen schrittweise von Stufe zu Stufe abgesucht und jeweils sofort belegt. Diese dezentrale Steuerung pro Stufe, die auch in der elektromechanischen step-by-step Technik üblich ist, wird bei modularen KAN wieder anwendbar. Der Grund hierfür liegt in der heute beherrschbaren Halbleitertechnologie, mit der die Koppelnetzsteuerung dezentral den Modulen selbst übertragen werden kann und in der Tatsache, daß der - im Vergleich zur konjugierten Durchschaltung - höhere Aufwand an inneren Verbindungswegen wirtschaftlich tragbar ist.

Diese schrittweise (step-by-step) Durchschaltung wird in dieser Arbeit für die modularen PCM-KAN vorausgesetzt. Da die Module nur den Belegungsstatus ihrer eigenen Ausgangsleitungen kennen, kann es dann allerdings vorkommen, daß aus mehreren freien, weiterführenden Leitungen eine ausgewählt wird, bei der im folgenden Modul ein Verlust auftritt, obwohl ein anderer Pfad zwischen Ursprungs- und Zielmodul über andere Zwischenmodule eventuell noch möglich gewesen wäre.

3.5 Die Absuchverfahren

Bei der konjugierten und bei der schrittweisen Durchschaltung werden für den Verbindungsaufbau von der Steuerung die in Frage kommenden Zwischenleitungen auf ihren Belegungsstatus hin abgeprüft. Die Absuchreihenfolge dieser Zwischenleitungen kann auf zwei Arten geschehen :

- Geordnet ab einer festen Nullstellung (GN) und
- geordnet ab einer zufälligen Anfangsstellung (GZ).

Das angewandte Absuchverfahren beeinflußt die Verkehrsgüte der PCM-Koppelanordnung und die von der Steuerung benötigte Wegesuchzeit (vgl. Kap.5 und 7).

Bei der konjugierten Durchschaltung liefert die Absuchart GN generell die kleineren Werte der Verlustwahrscheinlichkeit als das Absuchverfahren GZ, weil dadurch die Belegungen vorwiegend in dem zuerst abgesuchten Teil des Koppelnetzes konzentriert werden. Deshalb sind mit höherer Wahrscheinlichkeit noch durchgehend freie Zwischenleitungen im zuletzt abgesuchten Teil vorhanden. Diese Wirkung ist von den analogen Linksystemen her bekannt / 1 /.

Die schrittweise Durchschaltung in mehrstufigen modularen KAN liefert dagegen für die Absuchreihenfolge GN die höchsten Verlustwahrscheinlichkeiten. Dies kommt daher, daß alle Startmodule

ihren Verkehr vorwiegend auf die zuerst abgesuchten Zwischenmodule durchschalten. Folglich sind deren weiterführende ML sehr hoch belastet und mit hoher Wahrscheinlichkeit blockiert, während die restlichen Multiplexleitungen viel schlechter ausgenutzt werden. Das Absuchverfahren GZ vermeidet diesen Nachteil.

In analogen step-by-step Systemen wird der Nachteil von GN durch entsprechende Mischungen zwischen aufeinanderfolgenden Stufen behoben.

Beide Absuchverfahren haben eine praktische Bedeutung, d.h. sie werden in realisierten PCM-Koppelanordnungen verwendet. Außerdem können die mit ihnen gewonnenen Simulationsergebnisse Grenzkurven für eine brauchbare, näherungsweise Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit liefern.

4. WEGEZUTEILUNGSPRINZIPIEN FÜR DIE BEIDEN SPRECHWEGE BEI GEMEINSAMER DURCHSCHALTUNG

Bei Koppelanordnungen mit getrennter Durchschaltung ist die wirtschaftlichste Zuordnung der beiden Sprechwege die, daß sie in den beiden Koppelnetzen auf sich entsprechenden Zwischenleitungen verlaufen. Damit erreicht man eine Halbierung des Steuerungsaufwands. Die Verkehrsgüte der KAN bleibt hier vom Zuteilungsprinzip unbeeinflusst.

Bei Koppelanordnungen mit gemeinsamer Durchschaltung wird die Verkehrsgüte und die Zeit für die Wegesuche, die die Koppelnetzsteuerung benötigt, durch das gewählte Wegezuteilungsprinzip entscheidend mitbestimmt.

Drei mögliche Wegezuteilungsprinzipien werden für die konventionellen PCM-KAN im folgenden Abschnitt 4.1 und für die modularen PCM-KAN im Abschnitt 4.2 beschrieben.

4.1 Wegezuteilungsprinzipien in konventionellen PCM-Koppelanordnungen

Die Wegezuteilungsprinzipien werden hier mit der äquivalenten Raumvielfachdarstellung der ZRZ-KAN als Beispielstruktur näher diskutiert. Die Eigenschaften dieser Prinzipien gelten grundsätzlich auch für die RZR und die ZRRZ Struktur, falls dies in den jeweiligen Abschnitten nicht ausdrücklich eingeschränkt wird.

4.1.1. Die beliebige Wegezuteilung

Bei der beliebigen Wegezuteilung werden die beiden Sprechwege einer Verbindung auf zwei unabhängig voneinander gesuchten Pfaden durch das Koppelnetz geführt.

Für die Z..Z Strukturen heißt dies, daß zwischen den beiden Zeitstufen zwei von der Steuerung beliebig ausgewählte Zeitlagen benutzt werden.

Bei der RZR Struktur werden ein oder zwei beliebige Zeitlagenvielfache in der Mittelstufe belegt.

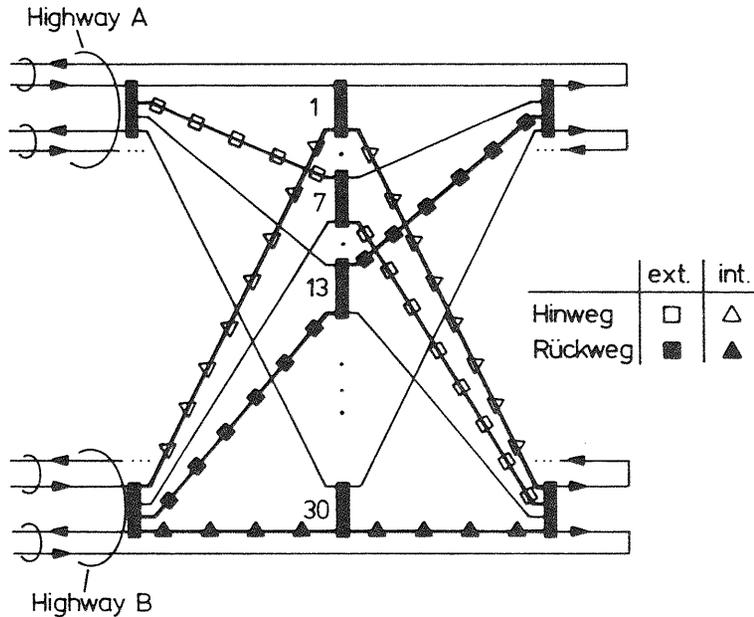


Bild 4.1: Die beliebige Wegezuteilung in der ZRZ-Koppelanordnung

Bild 4.1 zeigt die äquivalente RVf-Darstellung einer ZRZ-KAN für die gemeinsame Durchschaltung. Zu jeder ankommenden Leitung, in der die ankommende Sprechrichtung geführt wird, gehört am Ausgang der letzten Stufe eine gleichnumerierte Leitung für die zugehörige abgehende Sprechrichtung. Die Gesamtheit der Eingangsleitungen eines bestimmten Koppelvielfachs der ersten Stufe und die Ausgangsleitungen des gleichnumerierten KVf der letzten Stufe bilden in der realen PCM-KAN einen Highway mit seinen zwei Multiplexleitungen.

Im Bild 4.1 eingezeichnet ist eine Highway-Externverbindung vom HW A zum HW B und eine Highway-Internverbindung innerhalb des HW B.

Für jeden der beiden Sprechwege einer Verbindung wird in der Koppelnetzsteuerung eine individuelle Wegesuche durchgeführt, sodaß für jede Verbindung zwei beliebige, voneinander unabhängige interne Zeitlagen durch das Koppelnetz belegt werden. Für die HW-Externverbindung sind dies im Beispiel die ZL 7 und 13 und für die HW-Internverbindung die ZL 1 und 30. Dabei wurde angenommen, daß die Steuerung die Ausgänge des Start-KVf geordnet von einer zufälligen Anfangsstellung aus absucht (GZ). Wendet der Wegesuchalgorithmus jedoch das Absuchverfahren GN an, so erhält man einen symmetrischen Belegungszustand des Koppelnetzes (vgl. Kap.6.1). Das heißt, daß die beiden unabhängig gesuchten Sprechwege einer HW-Externverbindung jetzt stets über dasselbe KVf der mittleren Stufe führen. Dieser symmetrische Belegungszustand bewirkt, daß KVf-Internverbindungen - also HW-Internverbindungen bei der ZRZ-KAN und zeitlagengleiche Verbindungen bei der RZR-KAN - immer verlustfrei durchgeschaltet werden. Der Grund dafür ist, daß ein Internruf von der Steuerung nur angenommen wird, falls noch mindestens zwei Eingänge im Start-KVf frei sind. Damit sind dann auch mindestens noch zwei Ausgänge im Start-KVf frei, und aus Symmetriegründen auch dieselben Eingänge im gleichnumerierte Ziel-KVf der dritten Stufe. Internverbindungen sind somit stets blockierungsfrei herstellbar. Diese Eigenschaft besitzen nur dreistufige, konventionelle PCM-KAN.

Bei der ZRRZ Struktur erhält man, verursacht von den Highway-Internverbindungen, keinen symmetrischen Belegungszustand, der aber für stets verlustfreie HW-Internverbindungen notwendig wäre (vgl. Kap.6.1.5).

4.1.2 Die symmetrische Wegezuteilung

Bei der symmetrischen Wegezuteilung belegt eine Verbindung in der äquivalenten RVf-Darstellung der PCM-KAN immer zwei zur Mittelsenkrechten symmetrische Pfade. Im Bild 4.2 ist beispielhaft eine HW-Externverbindung vom HW A zum HW B eingetragen. Sie benutzt mit ihren beiden Sprechrichtungen stets dasselbe KVf (hier Nr. 21) der mittleren Stufe.

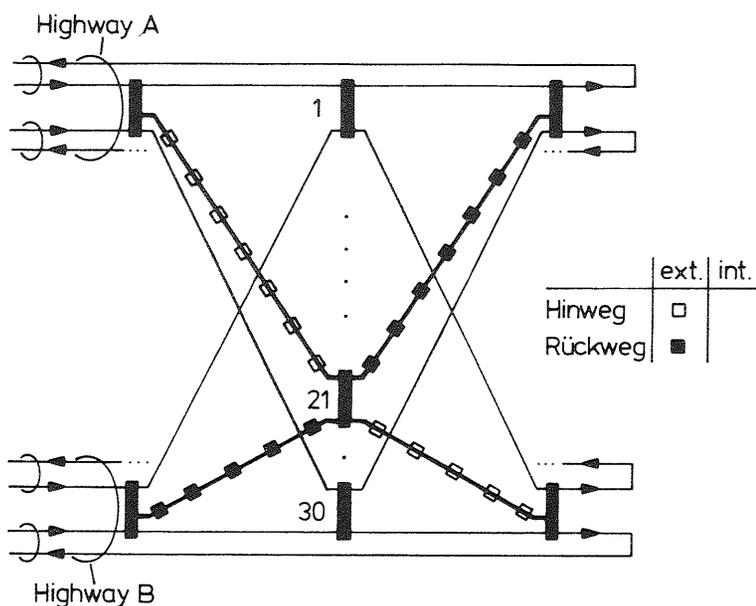


Bild 4.2: Die symmetrische Wegezuteilung in der ZRZ-Koppelanordnung

Dieses symmetrische Wegezuteilungsprinzip bedeutet bei PCM-KAN des Typs Z..Z, daß zwischen den beiden Z-Stufen die Zeitlagennummer des Rückwegs stets gleich der Nummer der Hinweg-ZL ist.

In der RZR-KAN benutzen bei dieser Zuordnungsart die beiden Sprechwege dasselbe ZLVf in der mittleren Stufe, aber ungleich numerierte Zeitlagen.

Für die Wegesuche bedeutet dieses Zuteilungsprinzip bei allen konventionellen PCM-KAN, daß nur ein Weg gesucht werden muß. Wurde ein freier Hinweg gefunden, dann muß der symmetrische Rückweg ebenfalls frei sein und kann ohne nochmalige Wegesuche belegt werden.

Es ist allerdings mit der symmetrischen Wegezuteilung unmöglich, KVf-Internverbindungen herzustellen, da vom Start-KVf der ersten Stufe nur eine Leitung in jedes KVf der zweiten Stufe führt. Bei Z..Z-Strukturen sind also keine HW-Internverbindungen möglich und bei RZR-KAN können keine Verbindungen mit gleichen ZL-Nummern auf der kommenden und gehenden ML aufgebaut werden.

Block-Internverbindungen bei den ZRRZ-Strukturen sind nur möglich, wenn zwischen gleichnummierten KVf der zweiten und dritten Stufe je eine zusätzliche, horizontale Zwischenleitung vorgesehen wird. Andernfalls fehlt für die symmetrische Rückrichtung eine Zwischenleitung zwischen Stufe 2 und 3 (vgl. Kap.2.2.3).

4.1.3 Die quasisymmetrische Wegezuteilung

Die quasisymmetrische Zuteilung bedeutet, daß bei den Z..Z - Strukturen immer zwei der M* Zeitlagen zwischen der ersten und der letzten Z-Stufe feste Paare bilden. Die beiden Sprechwege einer Verbindung verwenden zwei unterschiedliche, aber einander fest zugeordnete Zeitlagennummern.

In der RZR-KAN führen dann die beiden Sprechrichtungen über ein fest zugeordnetes Paar von Zeitlagenvielfachen in der mittleren Stufe.

Mit dem quasisymmetrischen Wegezuteilungsprinzip können, im Gegensatz zur symmetrischen Wegezuteilung, auch KVf-Internverbindungen hergestellt werden, weil der Rückweg nun über ein

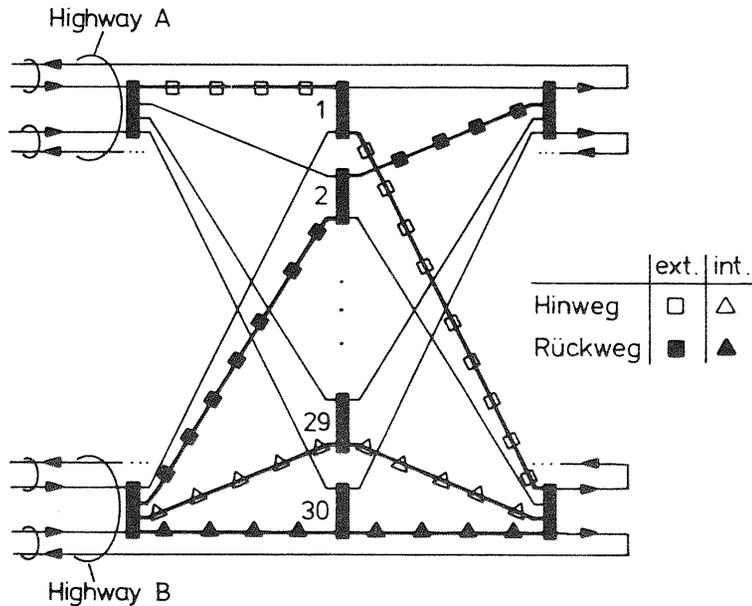


Bild 4.3: Die quasisymmetrische Wegezuteilung in der ZRZ-Koppelanordnung

anderes, quasisymmetrisch fest zugeordnetes KVf führt. Gleichzeitig beschränkt sich die Wegesuche, wie bei der symmetrischen Wegezuteilung, ebenfalls nur auf den Hinweg, da der Rückweg immer den zugeordneten, freien, quasisymmetrischen Pfad benutzt. Bild 4.3 zeigt die Abbildung einer ZRZ-KAN in ihr äquivalentes Raumvielfachsystem. Eingezeichnet sind eine HW-Externverbindung, die das ZL-Paar 1-2 benutzt und eine HW-Internverbindung, deren Sprechwege über das ZL-Paar 29-30 durchgeschaltet sind. Wie aus Bild 4.3 ersichtlich ist, könnte z.B. noch eine weitere HW-Externverbindung vom HW A zum HW B über das ZL-Paar 1-2 durchgeschaltet werden. In diesem Fall würde der Hinweg über das KVf 2 führen, und der Rückweg über KVf Nr.1 ohne weitere Wegesuche aufgebaut werden.

Vom verkehrstheoretischen Aspekt her ist es gleichgültig, welche internen Zeitlagen (bzw. KVf) der zweiten Stufe zu Paaren zusammengefaßt werden. Die im Bild 4.3 gewählte gerade / ungerade Zuordnung ist für die Realisierung einfach.

4.1.4 Anwendung der Wegezuteilungsprinzipien bei RZR-Koppelanordnungen

Die Eigenschaften der obigen Wegezuteilungsprinzipien gelten, nach einer Umbenennung der Verbindungstypen, auch für RZR-KAN, da sich deren äquivalente RVf-Darstellung zwischen den beiden äußeren Stufen nicht von jener der ZRZ-KAN unterscheidet. Man muß nur die HW-Internverbindung und HW-Externverbindung einer ZRZ-Struktur in zeitlagengleiche Verbindung und zeitlagenungleiche Verbindung bei der RZR-Struktur umbenennen.

4.2 Wegezuteilungsprinzipien in modularen PCM-Koppelanordnungen

Breibt man eine modulare PCM-Koppelanordnung mit der gemeinsamen Durchschaltung, so werden die beiden Sprechwege einer Verbindung durch ein gemeinsames Koppelnetz durchgeschaltet. Die Module dieses Koppelnetzes sind durch Multiplexleitungen mit jeweils M Zeitlagen untereinander verbunden. Für die Blockierung eines Rufes ist deshalb nur die Vollbelegung aller ZL einer ML, nicht aber die Nummer einer Zeitlage ausschlaggebend. Ein Wegezuteilungsprinzip reduziert sich aus diesem Grund auf die Zuordnung der Multiplexleitung zu den weiterführenden Zwischenmodulen, die evtl. zwischen Start- und Zielmodul liegen. Die einstufigen und zweistufigen, zweiseitigen modularen PCM-KAN haben keine Zwischenmodule, sodaß die Wege einer Verbindung hier

schon durch die Struktur vorgegeben sind. Bei diesen KAN wirken sich deshalb Wegezuteilungsprinzipien auf die Verlustwahrscheinlichkeit nicht aus.

4.2.1 Die beliebige Wegezuteilung

Die beiden Wege, die für eine Verbindung durch das Koppelnetz geschaltet werden, werden bei der beliebigen Wegezuteilung völlig unabhängig voneinander bestimmt. Sie können über völlig verschiedene Zwischenmodule und völlig verschiedene Zwischenzeitlagen geführt werden. Bild 4.4 zeigt die äquivalente RVf-Darstellung der dreistufigen, zweiseitigen modularen PCM-KAN,

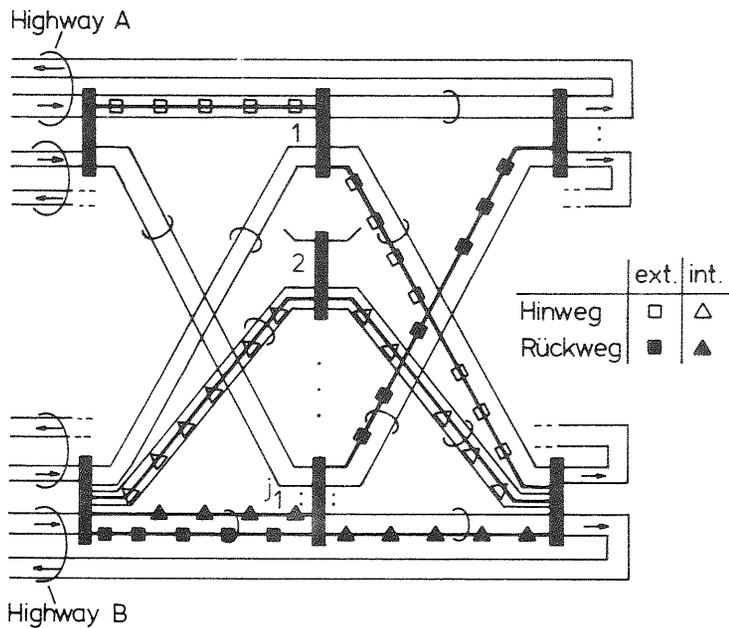


Bild 4.4: Die beliebige Wegezuteilung in dreistufigen, zweiseitigen modularen PCM-Koppelanordnungen

in welche eine Modul-Externverbindung über die Mittel-Koppelvielfache 1 und j_1 , sowie eine Modul-Internverbindung über die Mittel-KVf 2 und j_1 eingetragen ist.

4.2.2 Die symmetrische Wegezuteilung

In modularen PCM-Koppelanordnungen, die mit der symmetrischen Wegezuteilung betrieben werden, verlaufen die beiden Sprechwege einer Verbindung über dieselben Zwischenmodule und über die gleichen Zeitlagen auf den Zwischen-Multiplexleitungen.

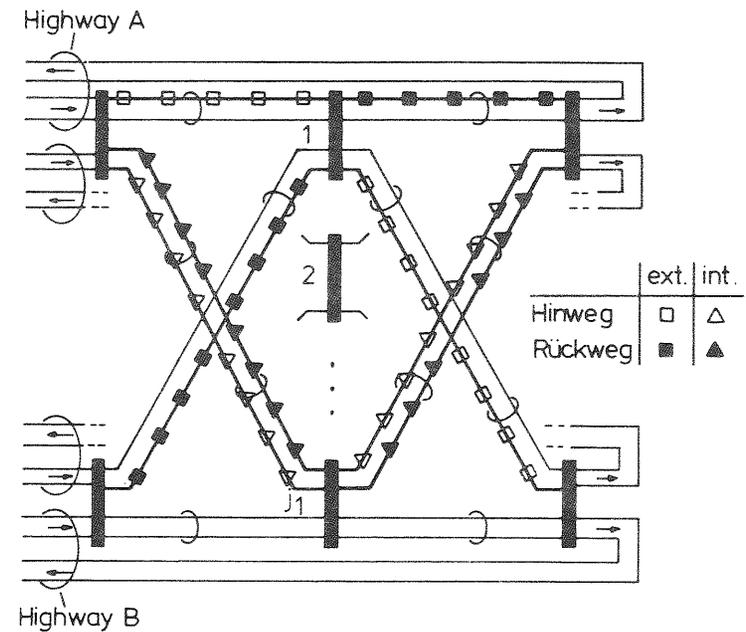


Bild 4.5: Die symmetrische Wegezuteilung in dreistufigen, zweiseitigen modularen PCM-Koppelanordnungen

Es braucht daher nur ein einziger Sprechweg gesucht zu werden, der zweite steht automatisch fest und muß ebenfalls frei sein. Der Grund dafür ist der bezüglich der Mittelsenkrechten symmetrische Belegungszustand, der sich im Koppelnetz einstellt. Im Bild 4.5 sind in die äquivalente Raumvielfach-Darstellung der dreistufigen, zweiseitigen modularen KAN eine modulexterne und eine modulinterne Verbindung eingetragen.

4.2.3 Die quasisymmetrische Wegezuteilung

Ein quasisymmetrisches Wegezuteilungsprinzip für modulare PCM-Koppelanordnungen wurde nicht definiert. Dies würde bedeuten, daß die zwei Sprechwege über zwei unterschiedliche, paarweise zugeordnete Zwischenmodule und darin über paarweise zugeordnete Zwischenzeitlagen führen würden. Somit könnte aber der zweite Vorteil für die Einführung von Wegezuteilungsprinzipien, nämlich eine Vereinfachung der Wegesuche nicht mehr erreicht werden, weil die Wegesuche nunmehr getrennt in zwei Zwischenmodulen erfolgen müßte (vgl. Kap.6.2).

Schaltet man statt dessen die beiden Sprechwege über dasselbe Zwischenmodul und darin über paarweise zugeordnete Zwischenzeitlagen, so ergibt sich kein Unterschied zur symmetrischen Wegezuteilung, weder bei der Verlustwahrscheinlichkeit noch bei der vereinfachten Wegesuche im Koppelnetz.

5. ERGEBNISSE ZU DEN WEGEZUTEILUNGSPRINZIPIEN BEI GEMEINSAMER DURCHSCHALTUNG

In den beiden folgenden Abschnitten wird der Einfluß der Wegezuteilungsprinzipien auf die Verlustwahrscheinlichkeit von Verbindungen mit Punkt-Punkt Markierung mit Hilfe von Diagrammen gezeigt. Darin ist jeweils die Punkt-Punkt (PP) Verlustwahrscheinlichkeit B_{PP} über der Verkehrsbelastung pro Zeitlage Y/ZL aufgetragen, und zwar für den Fall eines Angebots mit abgeschnittenem Zufallsverkehr 1. Art (vgl. Kap.8.1). Die Ergebnisse der näherungsweisen Berechnung, die im Kapitel 8 vorgestellt wird, sind als Kurven in die Diagramme eingetragen. Ebenfalls eingezeichnet sind die Simulationsergebnisse mit ihrem Vertrauensintervall bei einer statistischen Aussagesicherheit von 95% / 14 /. Diese Werte wurden mit den Absucharten GN und GZ (vgl. Kap.3.5) ermittelt. Man sieht, daß die Näherungsrechnung gut mit den Simulationswerten für die Absuche GZ übereinstimmt. Dies entspricht der Annahme der Gleichverteilung der Belegungsmuster je Belegungszustand in der Näherungsrechnung und spricht für die Zuverlässigkeit des Näherungsverfahrens.

5.1 Ergebnisse für konventionelle PCM-Koppelanordnungen

5.1.1 Dreistufige ZRZ-Koppelanordnungen

Die Diagramme 5.1 bis 5.10 zeigen die Punkt-Punkt Verluste B_{PP} für verschiedene ZRZ-Koppelanordnungen, getrennt für HW-Internverbindungen und HW-Externverbindungen. Die mit dem PPLE-Verfahren näherungsweise berechneten HW-Internverluste sind durch dünn ausgezogene Kurven, die zugehörigen Simulationsergebnisse durch Dreiecke dargestellt. Die Externverluste der Näherungsrechnung sind mit dick ausgezogenen Kurven, diejenigen der Simulation

mit Quadraten eingetragen. Für beide Verlustarten sind die Symbole der Simulationsergebnisse für die GN-Absuche ausgefüllt, für die Absuche GZ sind sie leer dargestellt. Die Verlustkurven für die beliebige Wegezuteilung sind strichpunktiert, für die symmetrische Wegezuteilung gestrichelt und für die quasisymmetrische Wegezuteilung sind sie durchgezogen eingetragen.

In den Diagrammen 5.1 bis 5.5 wird eine ZRZ-Koppelanordnung mit 16 angeschlossenen Highways und jeweils 30 Zeitlagen pro Multiplexleitung untersucht.

Diagramm 5.1 zeigt die Verlustwahrscheinlichkeiten für den Fall, daß die KAN mit dem beliebigen Wegezuteilungsprinzip betrieben wird und unterschiedliche Aufweitungsfaktoren besitzt. Erhöht man den Aufweitungsfaktor von $\beta = 1$ auf 1.2 bzw. auf 1.4, so nimmt die Verlustwahrscheinlichkeit eines Verbindungstyps ab. Durch die geeignete Wahl des Aufweitungsfaktors kann also die gewünschte Verlustwahrscheinlichkeit der Koppelanordnung bei einer bestimmten Belastung Y/ZL eingestellt werden.

Unabhängig vom Aufweitungsfaktor jedoch besitzen die HW-Internverbindungen deutlich höhere Verluste als die HW-Externverbindungen. Der Grund hierfür liegt darin, daß die Internverbindungen immer zwei Wege in demselben Verbindungsgraphen belegen, die Externverbindungen dagegen zwei Wege in zwei verschiedenen Verbindungsgraphen.

Weiter ersieht man aus Diagramm 5.1, daß die Verlustwerte bei geordnetem Absuchen von Nullstellung (GN) günstiger liegen als bei der Absuche GZ. Diese Wirkung wird umso deutlicher, je kleiner die Verkehrsbelastung ist bzw. je größer der Aufweitungsfaktor ist. Für den im Diagramm größten Aufweitungsfaktor sind keine Simulationsergebnisse der Absuchart GN eingetragen, weil damit keine Verluste für Externverbindungen mehr gemessen werden konnten. HW-Internverbindungen erleiden grundsätzlich keinen Verlust, falls die beliebige Wegezuteilung mit dem Absuchverfahren GN durchgeführt wird (vgl. Kap.4.1.1).

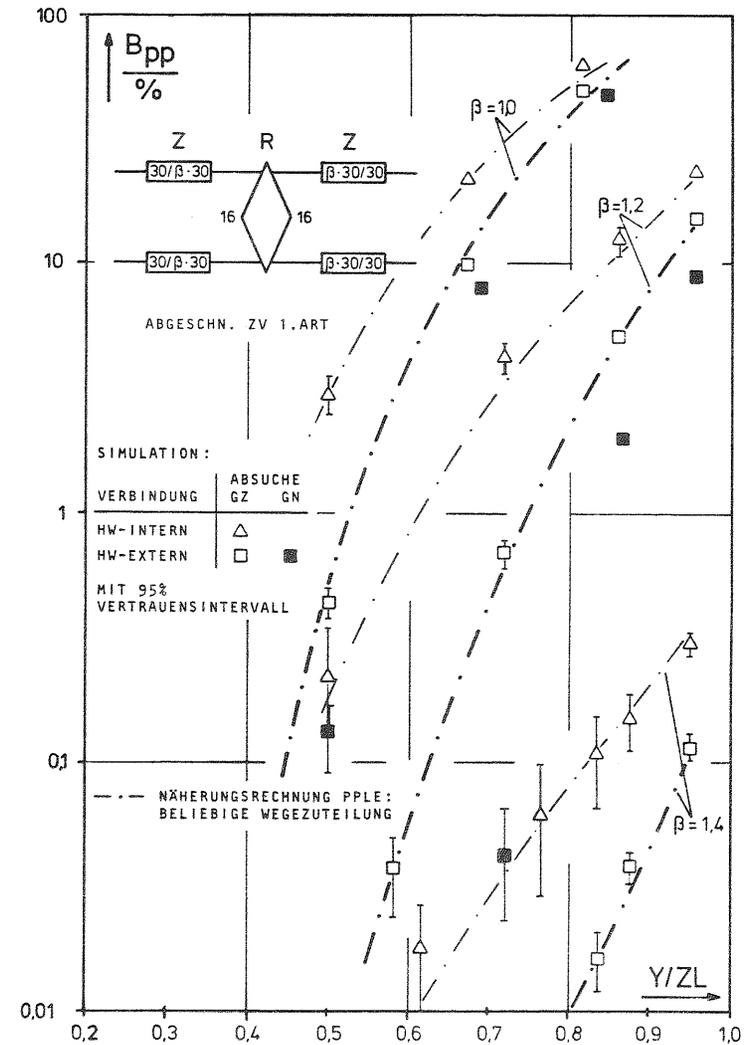


Diagramm 5.1: Punkt-Punkt Verlustwahrscheinlichkeit von ZRZ-Koppelanordnungen bei beliebiger Wegezuteilung

Im nachfolgenden Diagramm 5.2 sind wiederum die PP-Verluste dargestellt, wobei jetzt die Koppelanordnung mit der quasisymmetrischen Wegezuteilung betrieben werden soll. Es gelten dieselben prinzipiellen Aussagen wie oben, mit der einzigen Ausnahme, daß die HW-Internverluste im Fall der GN-Absuche nicht zu Null werden. Vergleicht man Diagramm 5.1 und 5.2 miteinander, so stellt man leicht fest, daß eine Vergrößerung des Aufweitungsfaktors die HW-Internverluste relativ weniger absenkt wie im Falle beliebiger Wegezuteilung. Anders formuliert, die Verlustreduzierung durch Aufweitung wirkt sich für Externverkehr bei beliebiger und quasisymmetrischer Wegezuteilung etwa gleich vorteilhaft aus, wogegen sich die relative Differenz zwischen Intern- und Externverlusten bei quasisymmetrischer Wegezuteilung, verglichen mit beliebiger Wegezuteilung, deutlich vergrößert.

Im Diagramm 5.3 wird nochmals dieselbe ZRZ-Koppelanordnung untersucht, die beiden Sprechwege einer Verbindung werden jetzt aber symmetrisch zugeteilt. Das Diagramm zeigt die Verlustkurven für die HW-Externverbindungen mit den zugehörigen Simulationswerten. Highway-Internverluste sind nicht eingetragen, weil Internverbindungen mit dem symmetrischen Wegezuteilungsprinzip nicht durchgeschaltet werden können (vgl. Kap.4.1.2).

Die folgenden Diagramme 5.4, 5.5 und 5.6 vergleichen den Einfluß der drei Wegezuteilungsprinzipien auf die Verlustwahrscheinlichkeit einer ZRZ-Koppelanordnung.

Im Diagramm 5.4 sind die gerechneten PP-Verluste, getrennt für interne und externe Verbindungen, eingezeichnet für eine ZRZ-KAN mit 16 Highways und für eine Aufweitung von 30 auf 32 Zeitlagen. Der Übersichtlichkeit halber sind hierzu nur die Simulationswerte mit der Absuchmethode GZ eingetragen.

Die beiden oberen Kurven geben die Verluste von HW-Internverbindungen für beliebig und für quasisymmetrisch zugeteilte Sprechwege wieder.

Die beliebige Wegezuteilung liefert bei dieser KAN die höchsten Verluste, auch für die HW-Externverbindungen, weil beide Sprech-

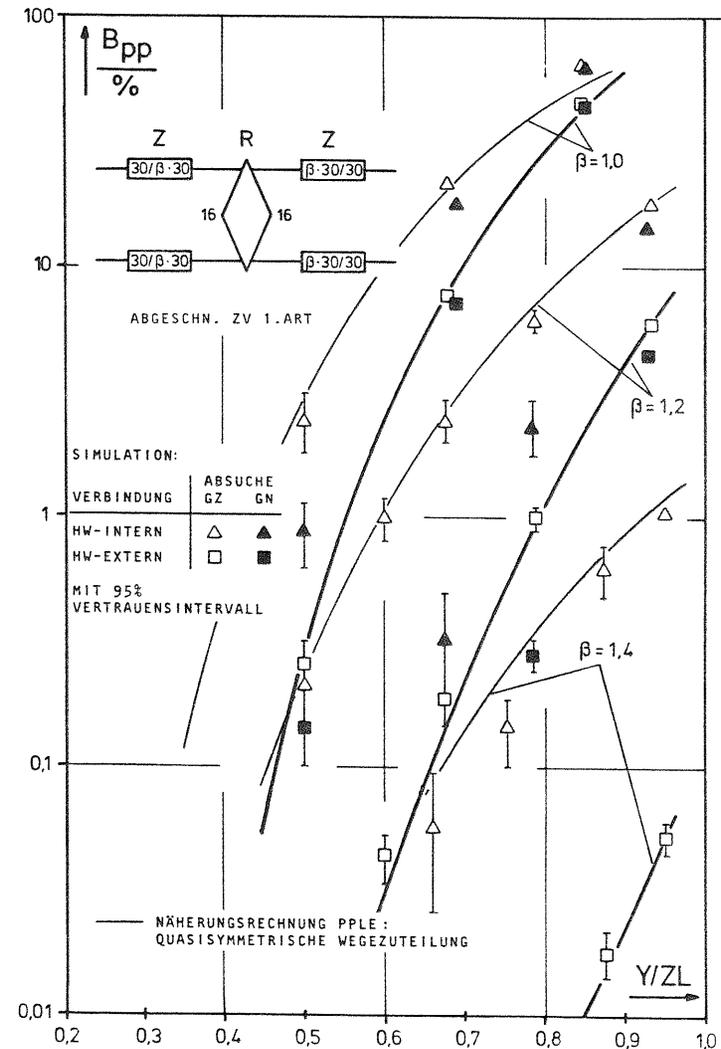


Diagramm 5.2: Punkt-Punkt Verlustwahrscheinlichkeit von ZRZ-Koppelanordnungen bei quasisymmetrischer Wegezuteilung

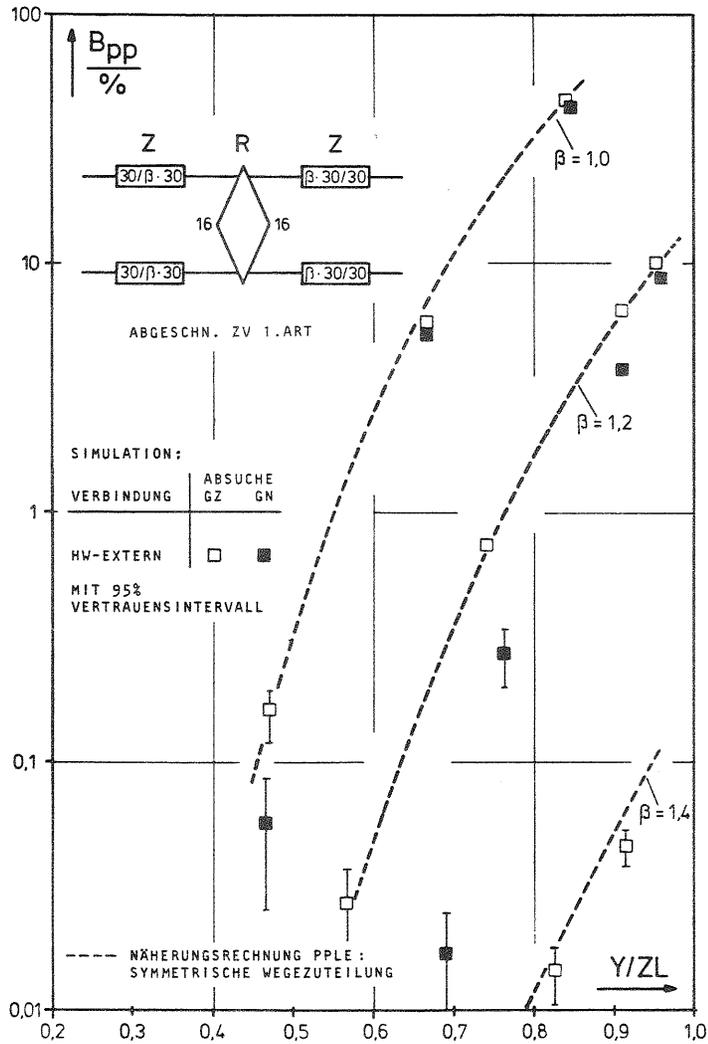


Diagramm 5.3: Punkt-Punkt Verlustwahrscheinlichkeit von ZRZ-Koppelanordnungen bei symmetrischer Wegezuteilung

wege unabhängig voneinander gesucht werden und deshalb unabhängig voneinander für beide Sprechwege Blockierung auftreten kann.

Die quasisymmetrische Wegezuteilung liefert die geringsten Verluste, da die beiden Sprechwege zwei unterschiedliche, aber fest zugeteilte innere Zeitlagen belegen und deshalb ein Verlust nur durch die Blockierung des Hinwegs verursacht werden kann. Der Verlust für symmetrisch zugeteilte Externverbindungen liegt geringfügig oberhalb des Externverlusts für die quasisymmetrische Wegezuteilung. Er wird ebenfalls nur durch eine Blockierung des Hinwegs verursacht. Die geringfügige Verlusterhöhung ergibt sich dadurch, daß die beiden Sprechwege einer symmetrischen Externverbindung gleichzeitig zwei Ein- und Ausgänge in demselben KVf der mittleren Stufe belegen.

Mit Diagramm 5.5 wird dieselbe KAn betrachtet, jetzt aber für die Absuchmethode GN. Deshalb werden im Diagramm 5.5 die drei Wegezuteilungsprinzipien nur anhand von Simulationsergebnissen miteinander verglichen. Die Kurven stellen somit hier die Verbindungslinien der Simulationen dar.

Für den Fall der GN-Absuche erhält man bei beliebiger Wegezuteilung stets symmetrische Belegungsmuster. Diese bewirken, daß Highway-Internverbindungen keinen PP-Verlust erleiden und daß der Externverlust gleich groß ist wie bei der symmetrischen Wegezuteilung (vgl. Kap.4.1.1).

Bei der quasisymmetrischen Wegezuteilung erleiden dagegen die Internverbindungen einen unvermeidbar hohen Verlust, die Externverbindungen können mit diesem Prinzip jedoch mit der geringsten Verlustwahrscheinlichkeit durchgeschaltet werden.

Im Diagramm 5.6 wird eine ZRZ-Koppelanordnung betrachtet, an die 60 Highways mit je $M = 30$ ZL angeschlossen sind, und die auf 36 interne Zeitlagen aufgeweitet wurde. HW-Internverbindungen, beliebig oder quasisymmetrisch zugeteilt, erleiden signifikant höhere Verluste als die HW-Externverbindungen. Die quasisymmetrisch zugeteilten Internverbindungen besitzen jetzt aber eine größere Verlustwahrscheinlichkeit als die beliebig zuge-

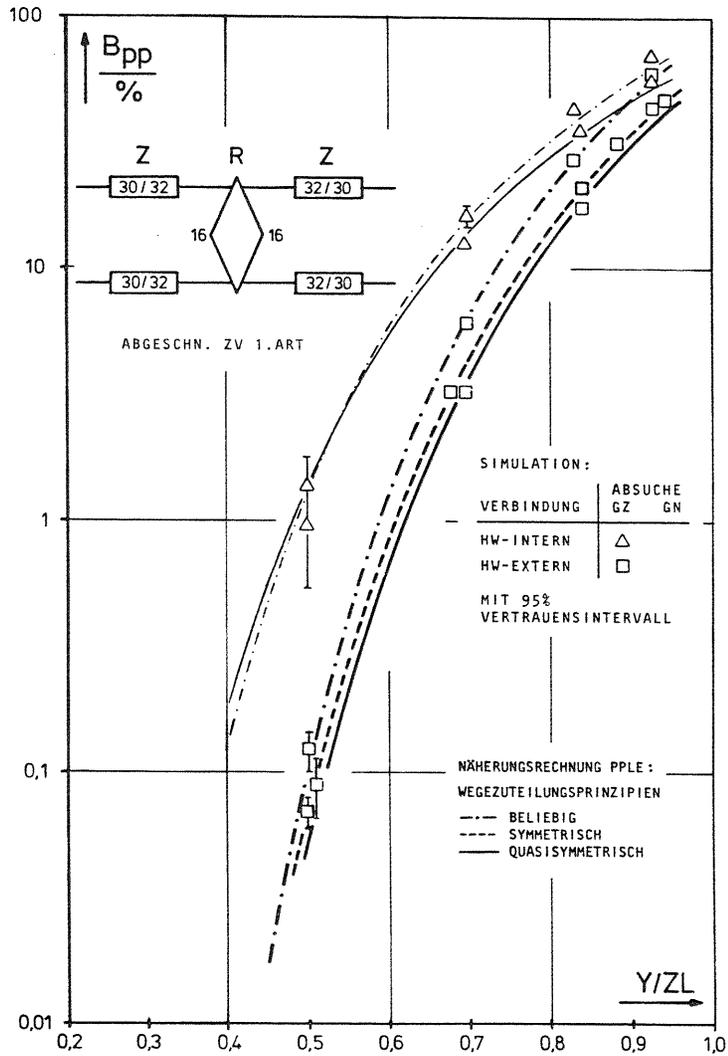


Diagramm 5.4: Vergleich der PP-Verlustwahrscheinlichkeiten einer ZRZ-Koppelanordnung mit 32 internen Zeitlagen für das Absuchverfahren GZ

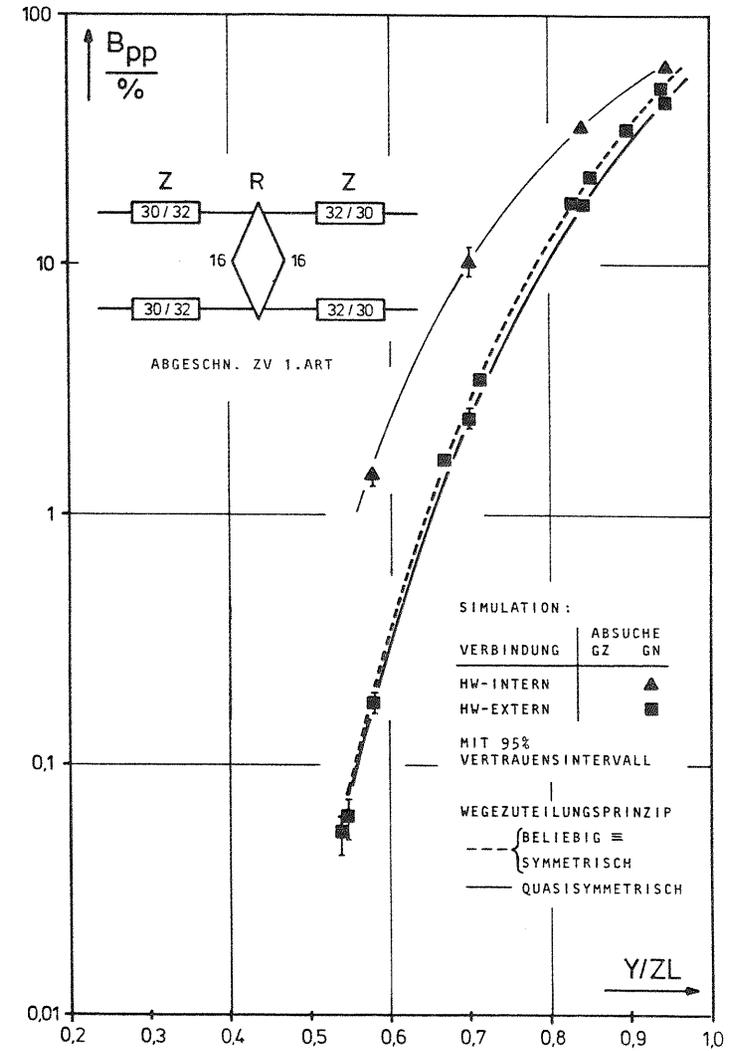


Diagramm 5.5: Vergleich der PP-Verlustwahrscheinlichkeiten einer ZRZ-Koppelanordnung mit 32 internen Zeitlagen für das Absuchverfahren GN (Simulationsergebnisse)

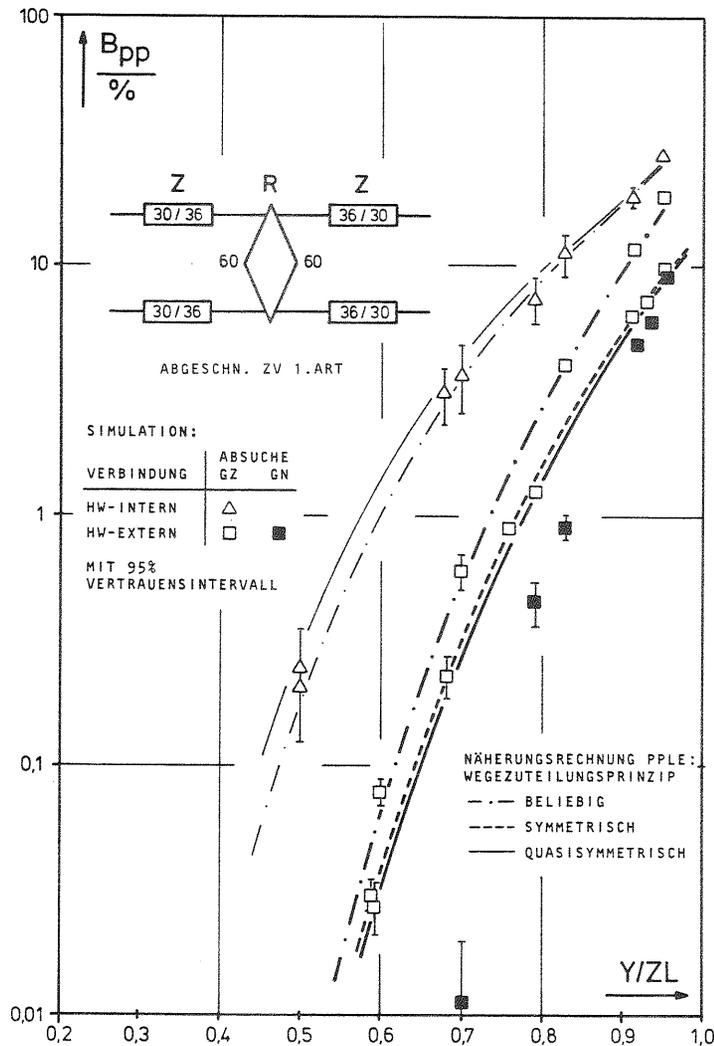


Diagramm 5.6: Vergleich der PP-Verlustwahrscheinlichkeiten einer ZRZ-Koppelanordnung mit 36 internen Zeitlagen

teilen. Mit zunehmender Aufweitung der KAn ist eine zunehmende Anzahl von internen ZL sicher frei. Eine quasisymmetrische Wegezuteilung der beiden Sprechwege innerhalb desselben Verbindungsgraphen - d.h. also nur für Internverbindungen - erweist sich hier als eine Einschränkung in der Vielfalt benutzbarer Wegepaare, verglichen mit dem Fall beliebiger Wegezuteilung. Diese Einschränkung gilt nicht für HW-Externverbindungen. Die Quasisymmetrie liefert für diesen Verbindungstyp nach wie vor die geringste Verlustwahrscheinlichkeit.

Der Verlust für symmetrische Externverbindungen liegt nur noch leicht über dem quasisymmetrischen Externverlust, da bei Mittelkoppelvielfachen mit je 60 Eingängen eine gleichzeitige Belegung von zwei Eingängen je Verbindung sich nur relativ schwach auswirkt.

Den höchsten Externverlust erleiden Verbindungen, deren Sprechwege beliebig zugeteilt werden.

Zum Vergleich sind im Diagramm 5.6 noch die Simulationsergebnisse mit GN-Absuche für die Extern-Verlustwahrscheinlichkeiten eingetragen. Diese Simulationenpunkte gelten für alle drei Wegezuteilungsprinzipien, weil die Externverluste für die beliebige und die symmetrische Wegezuteilung identisch sind und weil zwischen der symmetrischen und quasisymmetrischen Wegezuteilung nur geringfügige Verlustunterschiede bestehen.

Die Diagramme 5.7, 5.8 und 5.9 zeigen für drei Aufweitungsfaktoren die PP-Verlustwahrscheinlichkeiten der beliebigen, quasisymmetrischen und symmetrischen Wegezuteilung für eine ZRZ-KAn, an die 16 Highways angeschlossen sind. Im Gegensatz zu den Diagrammen 5.1, 5.2 und 5.3 besitzen jetzt die Multiplexleitungen 120 Zeitlagen, d.h. die Anzahl der Eingänge je KVf der ersten Stufe, bzw. Ausgänge in der letzten Stufe, in der äquivalenten RVf-Darstellung beträgt 120. Diese Vergrößerung von 30 auf 120 Eingänge der KVf bewirkt, bei festgehaltenem Aufweitungsfaktor, eine signifikante Verlustminderung und eine größere Steilheit der Verlustkurven.

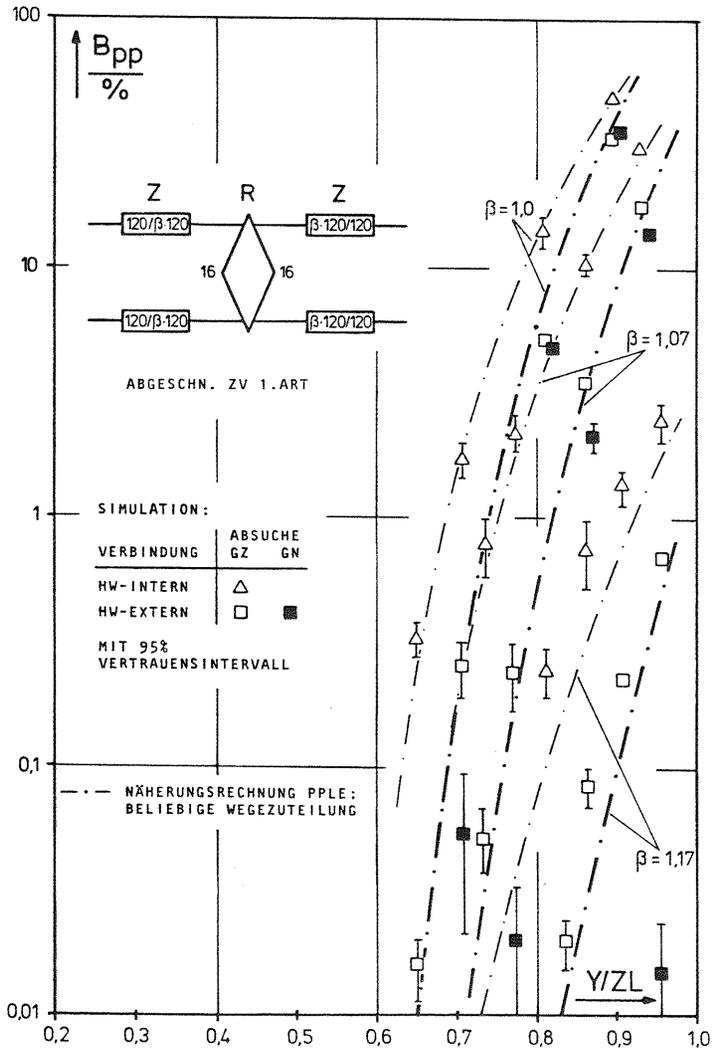


Diagramm 5.7: Punkt-Punkt Verlustwahrscheinlichkeit von ZRZ-Koppelanordnungen mit beliebiger Wegezuteilung

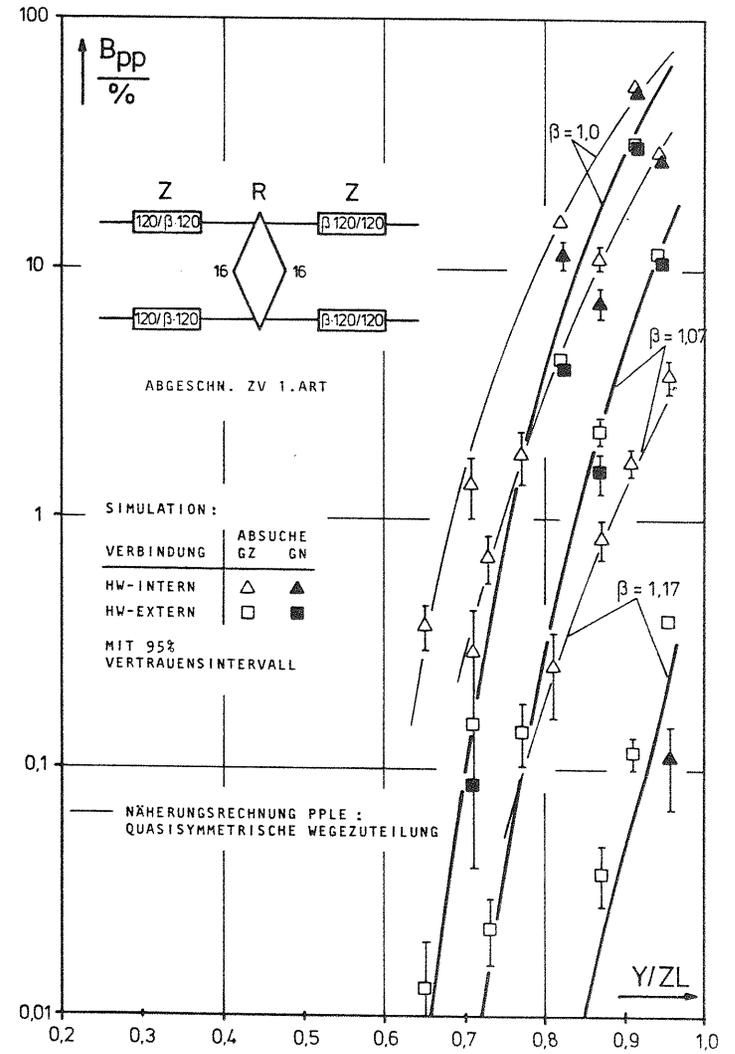


Diagramm 5.8: Punkt-Punkt Verlustwahrscheinlichkeit von ZRZ-Koppelanordnungen mit quasisymmetrischer Wegezuteilung

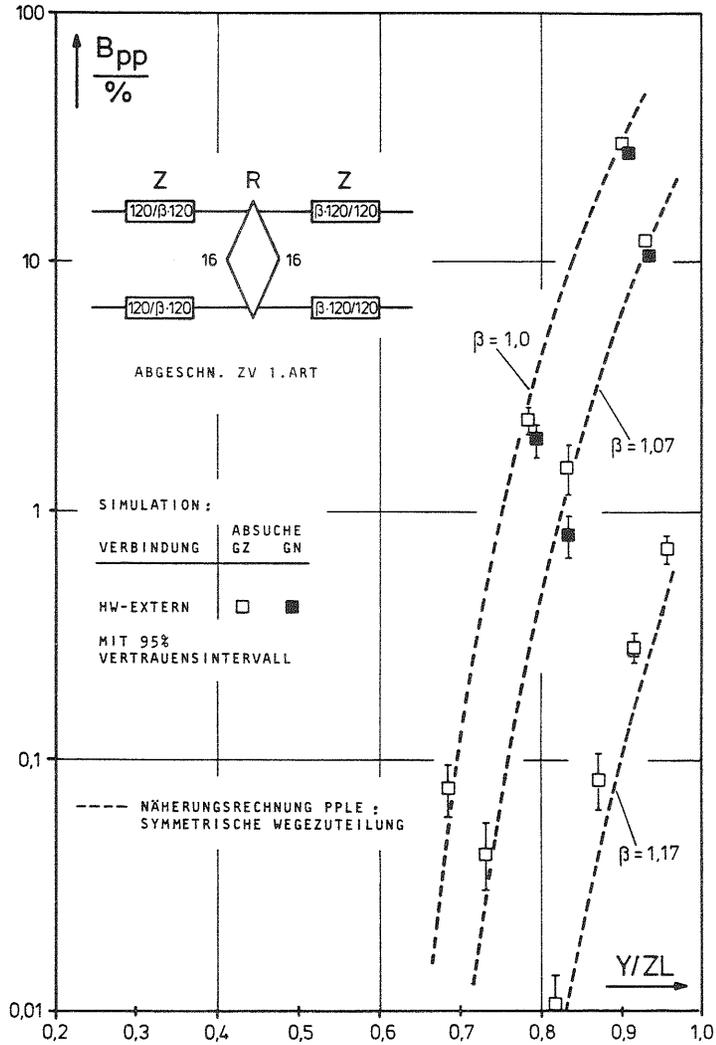


Diagramm 5.9: Punkt-Punkt Verlustwahrscheinlichkeit von ZRZ-Koppelanordnungen mit symmetrischer Wegezuteilung

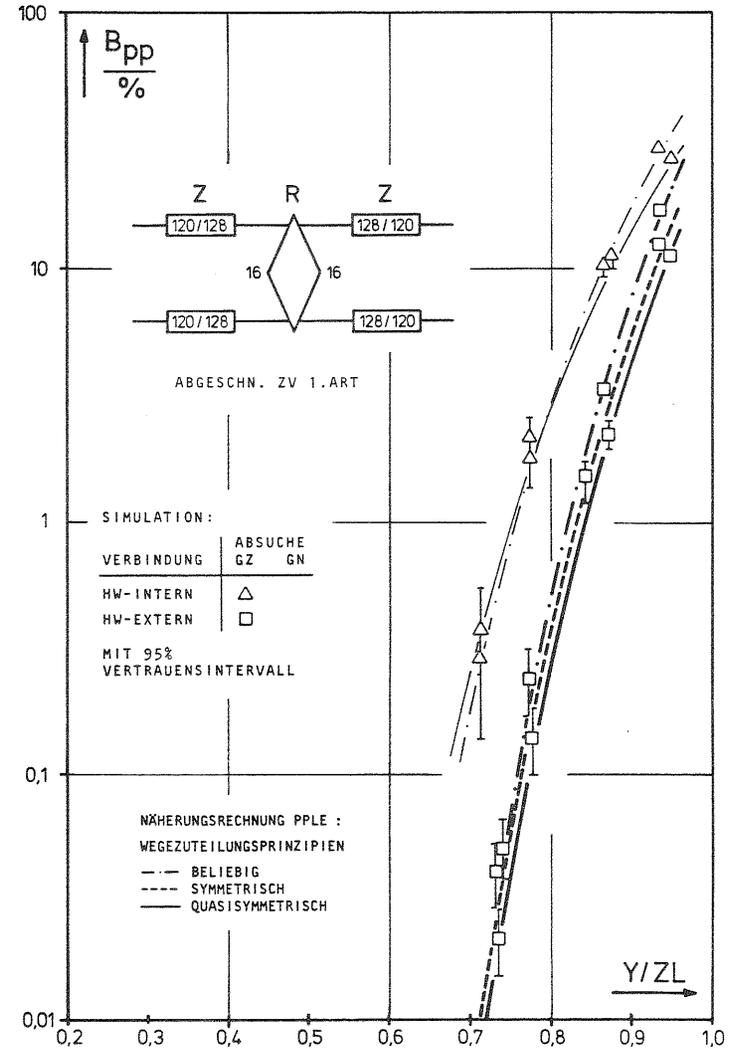


Diagramm 5.10: Vergleich der PP-Verlustwahrscheinlichkeiten einer ZRZ-Koppelanordnung mit 128 internen Zeitlagen

Wie Diagramm 5.10 zeigt, ändert sich bei einem Vergleich der drei Wegezuteilungsprinzipien untereinander nichts, d.h. die oben gemachten Aussagen gelten weiter ohne Einschränkung auch für 120 ZL je ML.

5.1.2 Dreistufige RZR-Koppelanordnungen

Der Einfluß der Wegezuteilungsprinzipien auf die Verkehrsleistung von RZR-KAN wird anhand der nachfolgenden Diagramme 5.11 bis 5.16 gezeigt.

Die Diagramme 5.11, 5.12 und 5.13 zeigen für die beliebige, quasisymmetrische und symmetrische Wegezuteilung jeweils Verlustkurven des PPLE-Verfahrens für RZR-KAN mit je drei unterschiedlichen Aufweitungsfaktoren. An diese KAN sind 16 Highways mit je 30 Zeitlagen angeschlossen, die aufgeweiteten Versionen bestehen aus 20 bzw. 24 Zeitlagenvielfachen in der mittleren Stufe.

Wie bei ZRZ-KAN erhält man auch bei RZR-Strukturen je Aufweitungsfaktor jeweils zwei Verlustkurven. Hier erleiden die zeitlagenungleichen Verbindungen die niedrigere Verlustwahrscheinlichkeit. Die zeitlagengleichen Verbindungen haben unvermeidbar höhere Verluste (ausgenommen bei der verlustfreien, beliebigen Zuteilung mit GN-Absuche), da ihre beiden Sprechrichtungen jeweils zwei Sprechwege in demselben Verbindungsgraphen belegen. Dieser Fall ist das Analogon zu den Highway-Internverbindungen bei der ZRZ-KAN. Der Anteil dieses Verbindungstyps am Gesamtverkehr ist normalerweise jedoch sehr klein (prop. 1/M). Er kann nochmals verringert werden, wenn der Wegesuchalgorithmus stets versucht, eine gehende Zeitlage zu markieren, deren Ordnungsnummer ungleich jener der kommenden ist.

HW-Internverbindungen und HW-Externverbindungen haben praktisch dieselbe Verlustwahrscheinlichkeit, nämlich diejenige von zeitlagenungleichen Verbindungen. HW-Internverbindungen können nur über unterschiedliche ZL durchgeschaltet werden. Externverbindungen können außerdem noch über gleichnumerierte Zeitlagen,

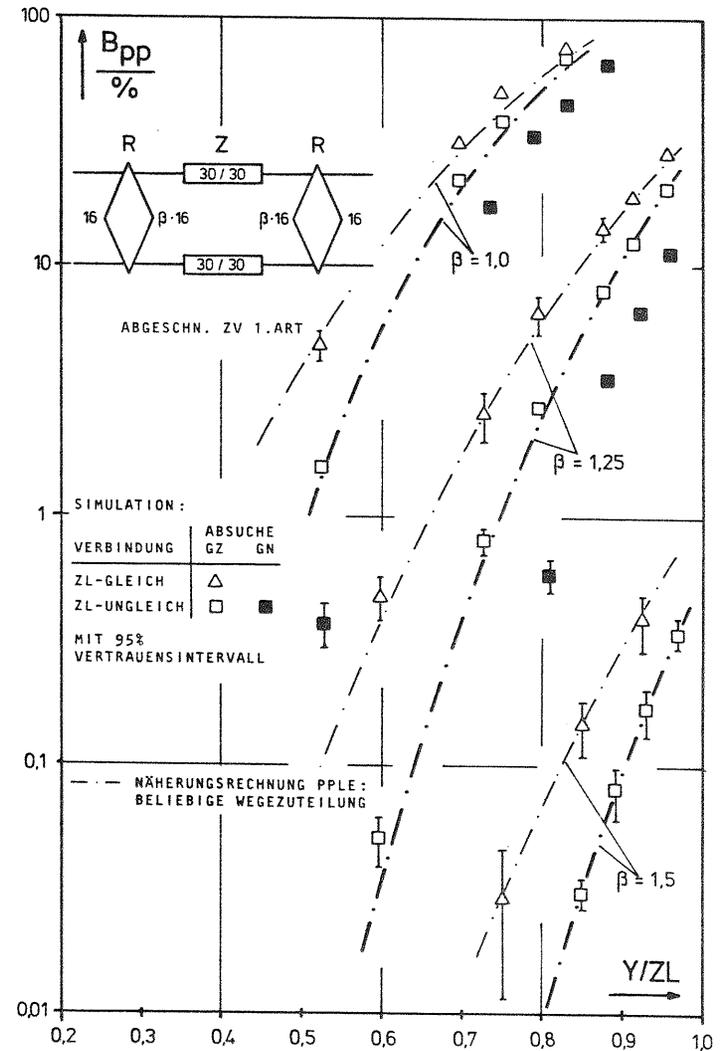


Diagramm 5.11: Punkt-Punkt Verlustwahrscheinlichkeit von RZR-Koppelanordnungen mit beliebiger Wegezuteilung

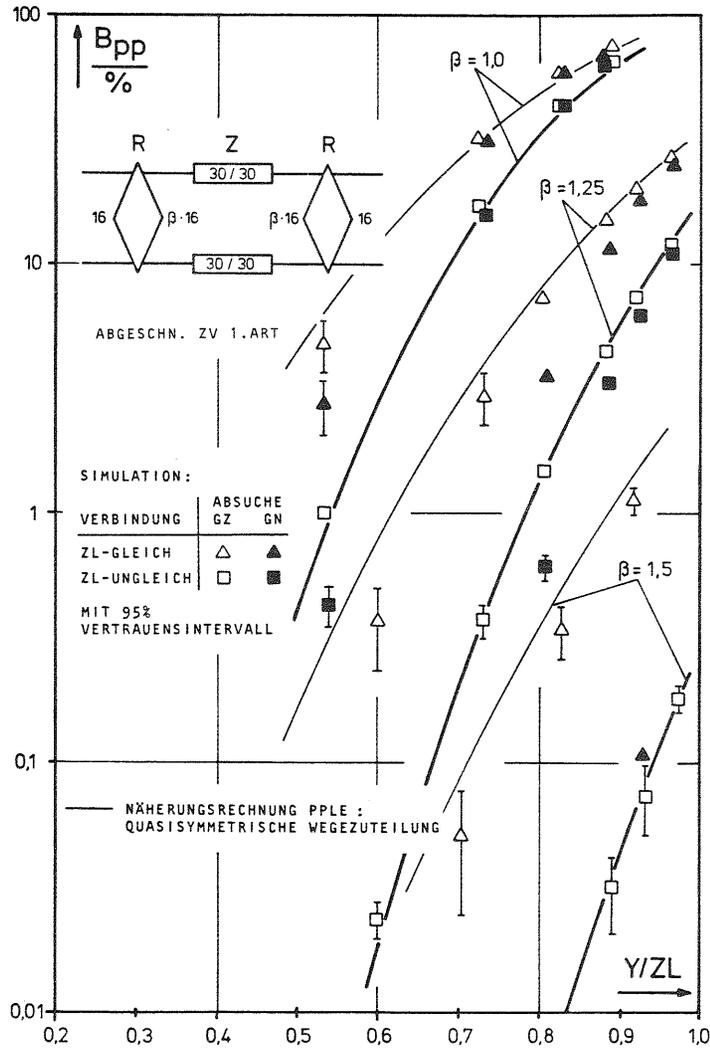


Diagramm 5.12: Punkt-Punkt Verlustwahrscheinlichkeit von RZR-Koppelanordnungen mit quasisymmetrischer Wegezuteilung

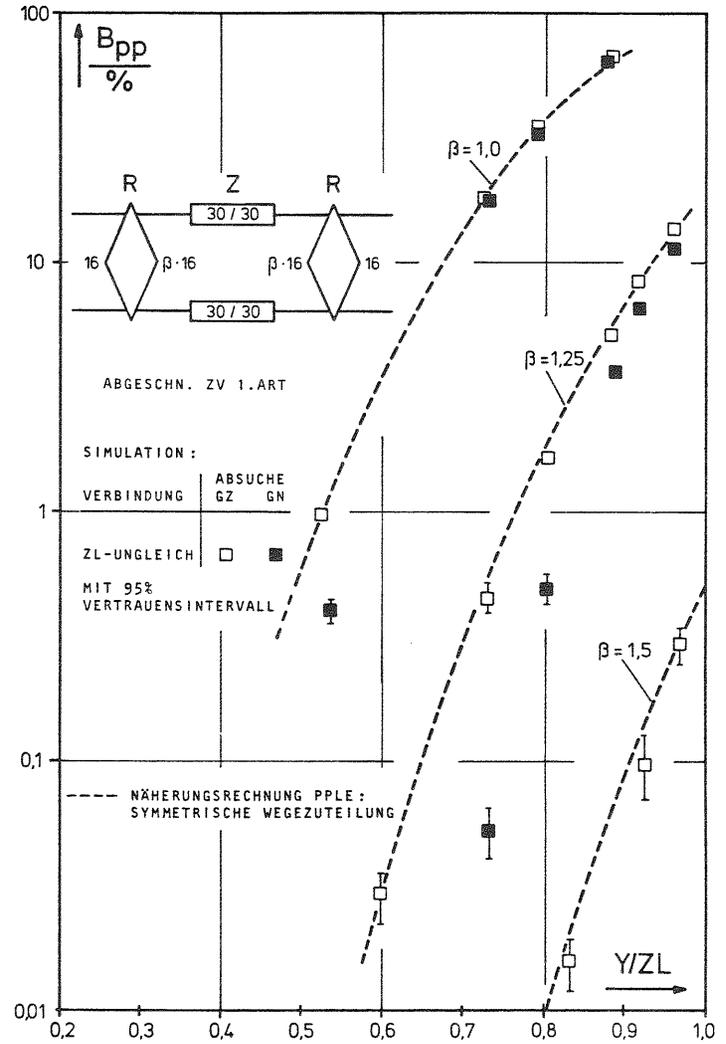


Diagramm 5.13: Punkt-Punkt Verlustwahrscheinlichkeit von RZR-Koppelanordnungen mit symmetrischer Wegezuteilung

deren Anteil aber vernachlässigbar klein ist, hergestellt werden.

In den Diagrammen 5.14 und 5.15 werden die drei Wegezuteilungsprinzipien anhand einer auf 20 ZlVf aufgeweiteten RZR-Struktur miteinander verglichen, wobei 30 bzw. 120 ZL pro Multiplexleitung betrachtet werden. Bezüglich den zeitlagenungleichen Verbindungen ergibt sich (Diagramm 5.14) dieselbe Verlustreihenfolge wie bei ZRZ-Strukturen für die HW-Externverbindungen: Die beliebige Wegezuteilung ist die schlechtere, die quasisymmetrische die beste und die symmetrische Wegezuteilung liefert Verluste, die geringfügig größer sind als die quasisymmetrischen Verluste.

Bei zeitlagengleichen Verbindungen haben hier die quasisymmetrisch zugeteilten Verbindungen höhere Verluste als jene mit beliebiger Zuteilung. Dies bedeutet, daß bei diesen aufgeweiteten Systemen die Einschränkung in der Vielfalt der Wegeauswahl infolge Quasisymmetrie die verlustmindernde Wirkung der Aufweitung reduziert, während sie sich für beliebige Zuteilung voll auswirkt.

Im folgenden Diagramm 5.15 sind 120 ZL pro ML angenommen. Dieser einzige Unterschied der RZR-Struktur gegenüber jener des vorhergehenden Diagramms 5.14 (30 ZL pro ML) hat praktisch keinerlei Einfluß auf die Verluste der beliebigen und quasisymmetrischen Wegezuteilung. Der Verlust der symmetrischen Wegezuteilung dagegen nähert sich dem quasisymmetrischen, weil bei Mittelkoppelvielfachen der Größe 120 sich die effektive Erreichbarkeit beider Prinzipien kaum mehr unterscheidet.

Diagramm 5.16 zeigt die sich ergebenden Verlustkurven für eine RZR-KAn, an die 36 Highways mit je 30 ZL angeschlossen sind und die auf 44 interne Multiplexleitungen aufgeweitet wurde. Durch die größeren KVf in der ersten bzw. letzten Stufe erhält man im Vergleich zu Diagramm 5.14 niedrigere Verlustwerte. Ansonsten können dieselben Aussagen gemacht werden.

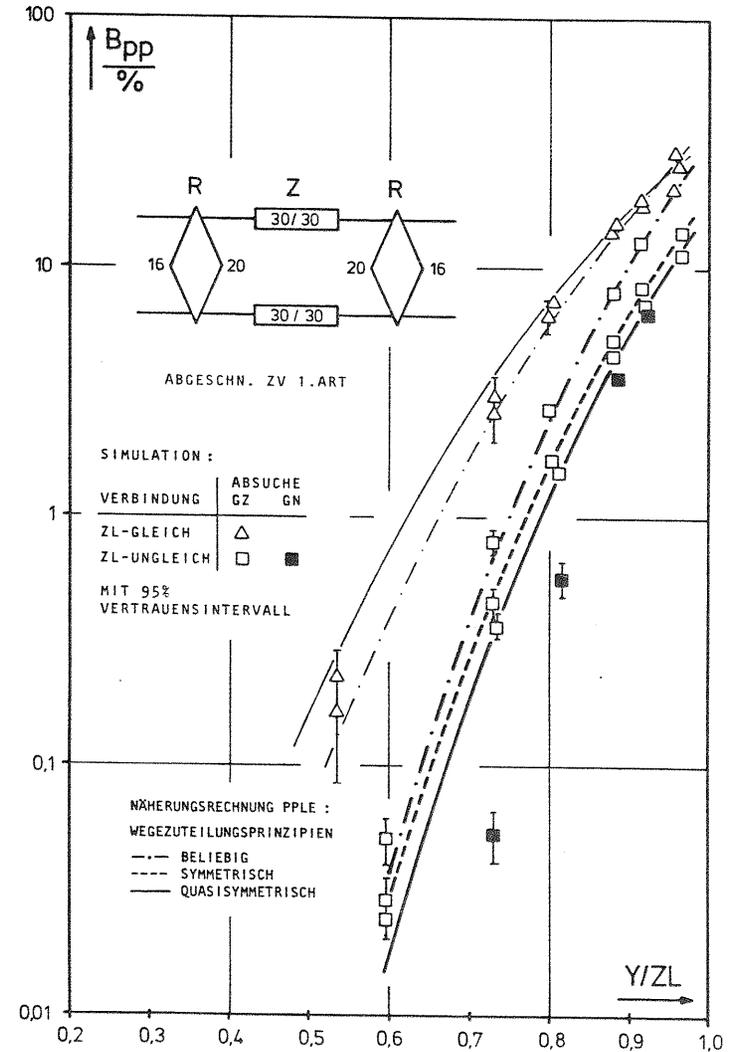


Diagramm 5.14: Vergleich der PP-Verlustwahrscheinlichkeit einer RZR-Koppelanordnung mit 20 Zeitlagenvielfachen und 30 ZL je Multiplexleitung

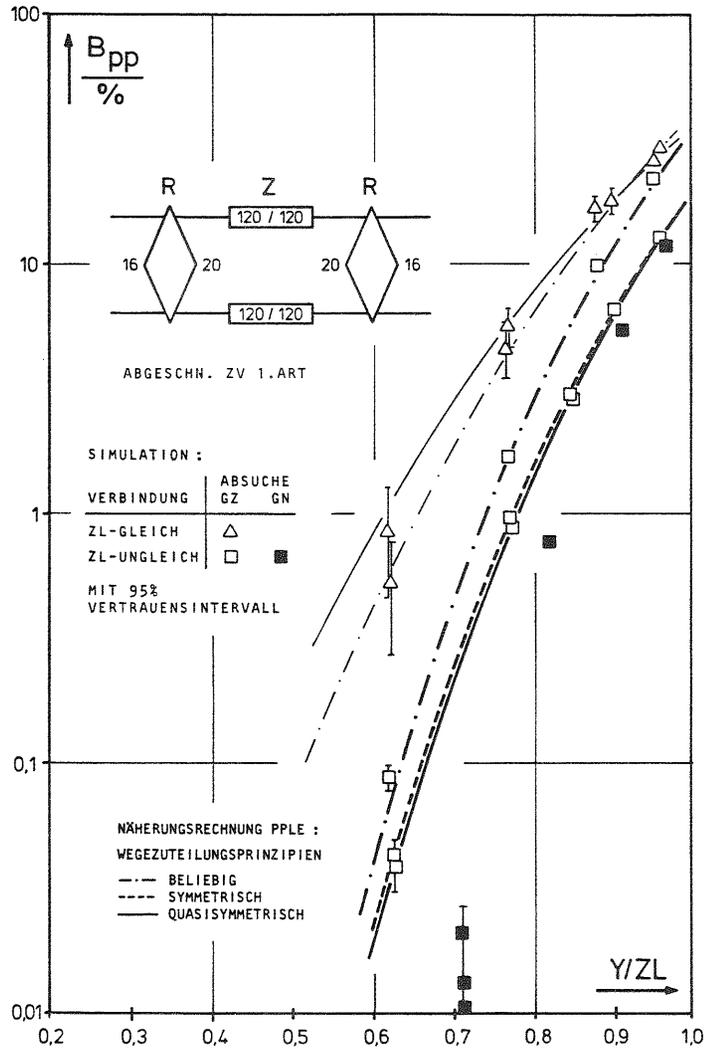


Diagramm 5.15: Vergleich der PP-Verlustwahrscheinlichkeit einer RZR-Koppelanordnung mit 20 Zeitlagenvielfachen und 120 ZL je Multiplexleitung

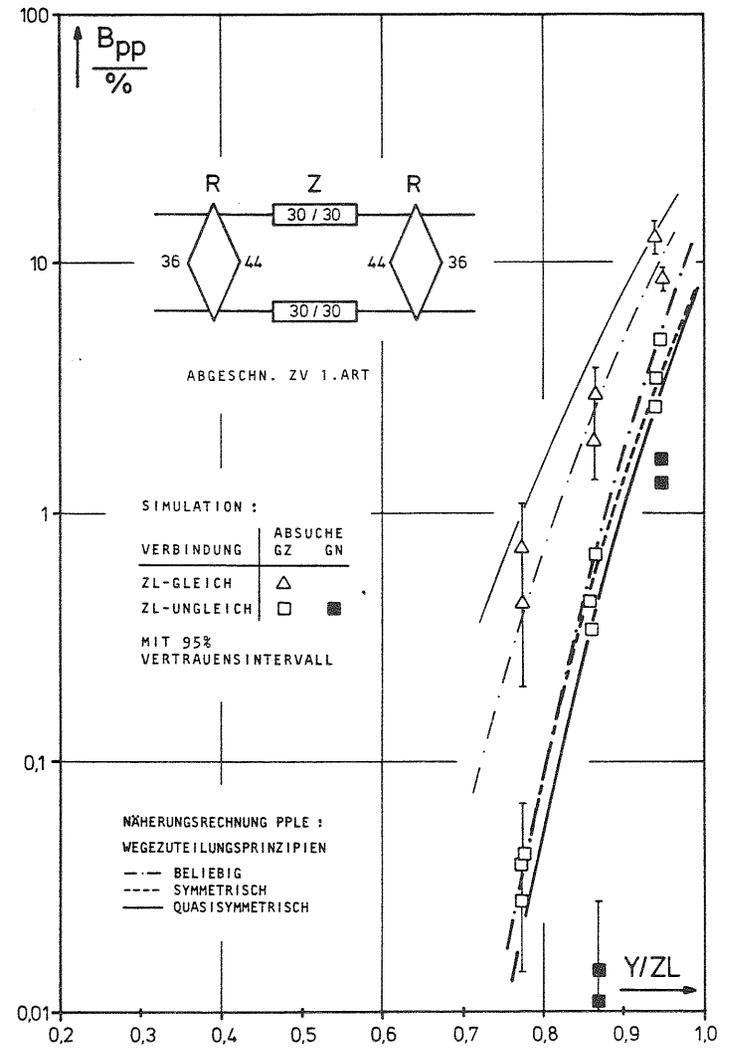


Diagramm 5.16: Vergleich der PP-Verlustwahrscheinlichkeit einer RZR-Koppelanordnung mit 44 Zeitlagenvielfachen und 30 ZL je Multiplexleitung

5.1.3 Vierstufige ZRRZ-Koppelanordnungen

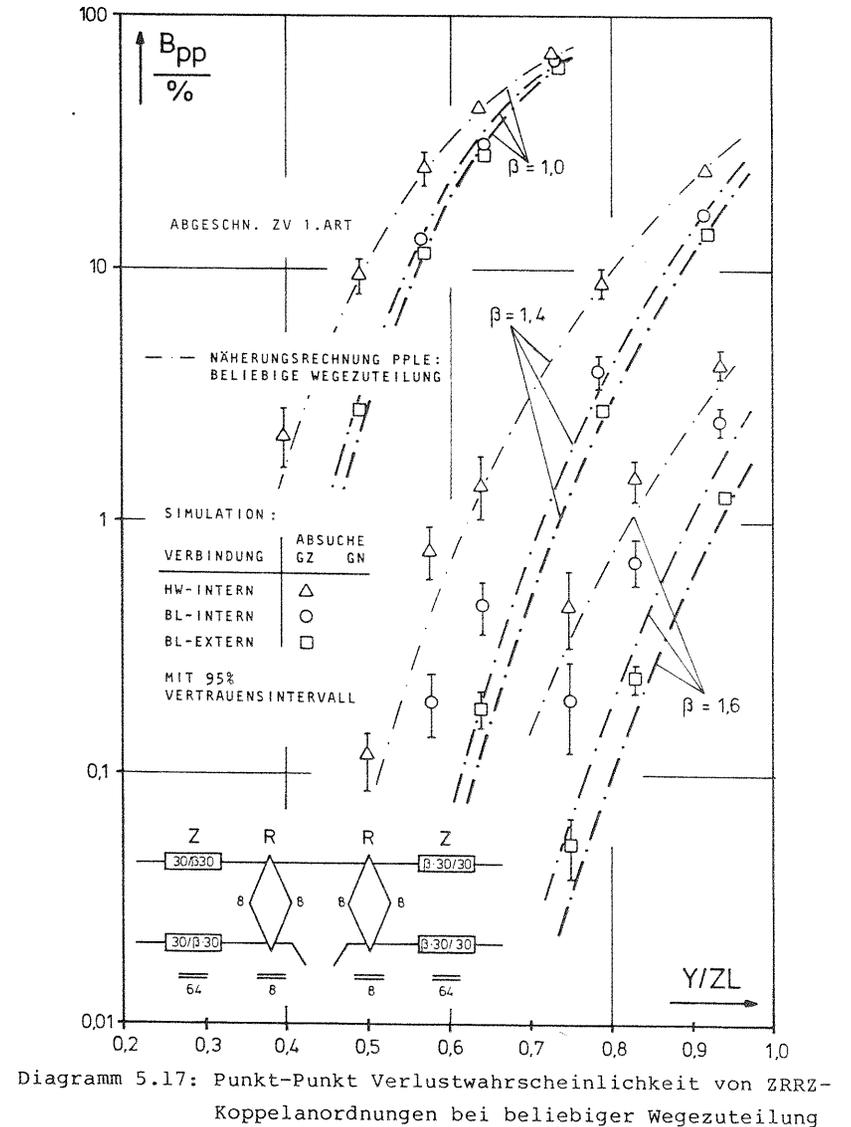
Bei den vierstufigen ZRRZ-Koppelanordnungen teilen sich die möglichen Verbindungen in die highwayinternen, blockinternen und blockexternen Verbindungen auf (vgl. Kap.2.2.3). In den Diagrammen 5.17 bis 5.19 wird eine ZRRZ-Struktur mit 64 angeschlossenen Highways zu je 30 ZL betrachtet. Für jedes Wegezuteilungsprinzip wurden drei Aufweitungsfaktoren untersucht.

Die oben genannten drei Verbindungstypen besitzen unterschiedliche Verlustwahrscheinlichkeiten. Die HW-Internverbindungen, die nur bei der beliebigen (Diagr. 5.17) und quasisymmetrischen Wegezuteilung (Diagr. 5.18) möglich sind, erleiden den höchsten Verlust. Die Block (BL)-Externverbindungen haben bei diesen beiden Prinzipien den niedrigsten Verlust, derjenige von BL-Internverbindungen liegt dazwischen. Dieses Verlustverhalten erklärt sich wie folgt:

Der Verbindungsgraph für die beiden Sprechwege bei HW-Internverbindungen ist über alle vier Stufen hinweg derselbe. Bei Block-Internverbindungen benutzen die beiden Sprechwege nur zwischen Stufe 2 und 3 denselben Verbindungsgraphen. Bei Block-Externverbindungen verlaufen die beiden Sprechwege in zwei vollkommen getrennten Verbindungsgraphen.

Mit zunehmender Aufweitung der Struktur nehmen die Verluste generell ab. Die Verlustwahrscheinlichkeiten der quasisymmetrisch zugeteilten HW-Internverbindungen verringern sich dabei, wie schon bei den dreistufigen KAN beobachtet, relativ weniger als bei beliebig zugeteilten Sprechwegen.

Diagramm 5.19 zeigt den PP-Verlust der ZRRZ-KAN für den Fall einer symmetrischen Wegezuteilung. Bei diesem Zuteilungsprinzip können keine HW-Internverbindungen durchgeschaltet werden, und BL-Internverbindungen nur dann, wenn die horizontalen Zwischenleitungen zwischen den Stufen 2 und 3 verdoppelt werden. Diese Verdopplung führt dann dazu, daß der Verlust der BL-Internverbindungen sehr viel kleiner wird als für BL-Externverbindungen,



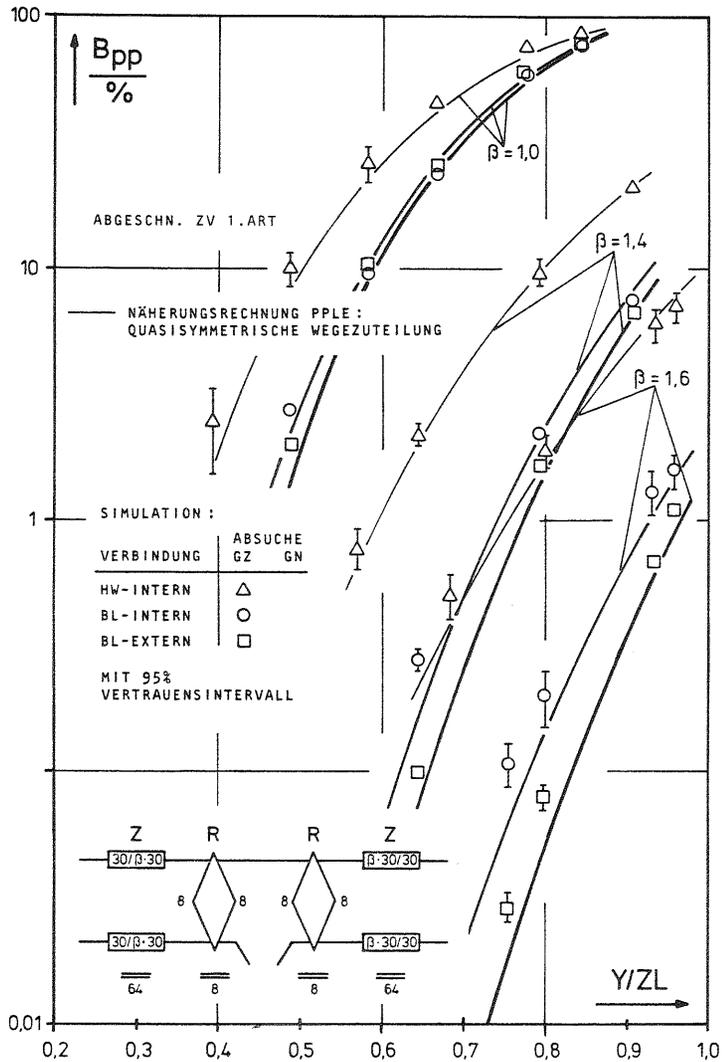


Diagramm 5.18: Punkt-Punkt Verlustwahrscheinlichkeit von ZRRZ-Koppelanordnungen bei quasisymmetrischer Wegezeileilung

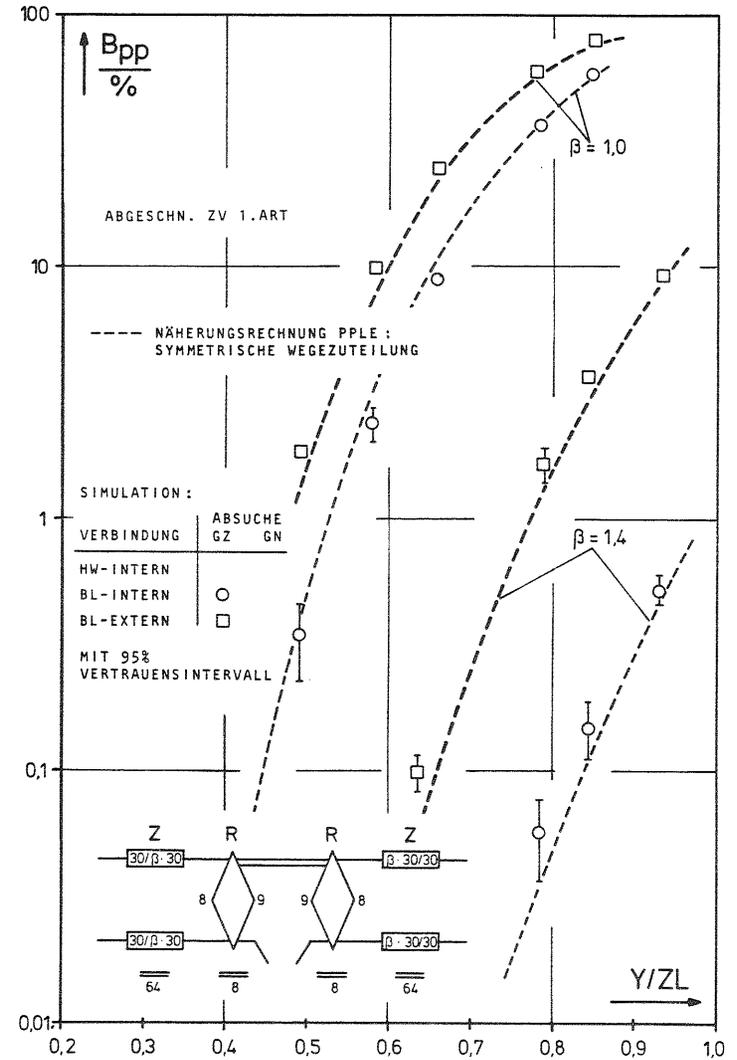


Diagramm 5.19: Punkt-Punkt Verlustwahrscheinlichkeit von ZRRZ-Koppelanordnungen bei symmetrischer Wegezeileilung

weil sich damit, bei gleichmäßiger Richtungsaufteilung des Verkehrs, die Belastung der horizontalen Zwischenleitungen halbiert.

Für den Aufweitungsfaktor $\beta = 1,6$ sind, der Übersichtlichkeit halber, in das Diagramm 5.19 die Verlustwahrscheinlichkeiten für Block-Externverbindungen nicht eingetragen. Sie haben ungefähr die gleichen Verluste wie die BL-Internverbindungen mit dem kleineren Aufweitungsfaktor 1,4. Die BL-Internverbindungen für die Aufweitung 1,6 besitzen einen im Diagramm nicht mehr darstellbaren geringen Verlust.

Die o.a. Verdopplung der horizontalen Zwischenleitungen für blockinterne Verbindungen ist nur beim symmetrischen Wegezuteilungsprinzip erforderlich. Sie könnte aber auch bei der beliebigen und quasisymmetrischen Wegezuteilung angewandt werden.

Mit dieser Maßnahme würden sich dann die Verluste von HW- und BL-Internverbindungen verringern. Die Verlustwahrscheinlichkeit von BL-Externverbindungen, die den größten Anteil des Verkehrs darstellen, bleibt jedoch unbeeinflusst. Deshalb ist es wirtschaftlicher, keine zusätzlichen horizontalen Zwischenleitungen einzuführen, sondern die Strukturen so stark aufzuweiten, daß auch die Verluste des relativ kleinen Anteils der HW- und BL-Internverbindungen noch den Anforderungen des Betreibers genügen.

Die Simulationsergebnisse für das Absuchverfahren GN - das wie bei dreistufigen Systemen kleinere Verluste liefert - sind in den Diagrammen 5.17, 5.18 und 5.19 der Übersichtlichkeit halber nicht eingetragen. Sie finden sich in den nachstehenden Tabellen 5.1, 5.2 und 5.3 .

β	Y/ZL	Verlustwahrscheinlichkeiten und Vertrauensintervalle in %		
		HW-Intern	BL-Intern	BL-Extern
1,0	0,49	5,65 ± 0,7	2,77 ± 0,39	1,27 ± 0,16
	0,58	21,81 ± 2,08	11,96 ± 0,76	10,73 ± 0,22
	0,65	41,8 ± 2,95	28,7 ± 0,86	27,77 ± 0,29
	0,73	73,42 ± 2,7	62,0 ± 1,02	61,74 ± 0,22
1,4	0,54	0,087 ± 0,12	0,073 ± 0,057	
	0,64	0,046 ± 0,1	0,12 ± 0,08	0,002 ± 0,003
	0,8	3,28 ± 1,1	1,8 ± 0,57	0,69 ± 0,07
	0,93	18,62 ± 2,04	11,55 ± 0,09	10,36 ± 0,21
1,6	0,83	0,39 ± 0,25	0,35 ± 0,18	0,013 ± 0,011
	0,94	1,48 ± 0,28	0,98 ± 0,02	0,13 ± 0,03

Tabelle 5.1: Simulationsergebnisse der GN-Absuche (zu Diagramm 5.17)

β	Y/ZL	Verlustwahrscheinlichkeiten und Vertrauensintervalle in %		
		HW-Intern	BL-Intern	BL-Extern
1,0	0,49	7,25 ± 1,32	2,11 ± 0,46	1,01 ± 0,12
	0,59	23,31 ± 2,4	9,21 ± 0,64	8,89 ± 0,25
	0,68	43,82 ± 2,5	24,1 ± 0,69	24,9 ± 0,03
	0,78	72,37 ± 1,97	58,5 ± 1,04	59,4 ± 0,13
1,4	0,84	86,74 ± 1,33	78,9 ± 0,77	79,2 ± 0,17
	0,64	0,18 ± 0,34	0,13 ± 0,10	0,016 ± 0,017
	0,80	4,04 ± 1,08	1,38 ± 0,20	0,50 ± 0,04
1,6	0,93	18,6 ± 2,4	7,15 ± 0,62	6,32 ± 0,18
	0,8	0,16 ± 0,29	0,11 ± 0,12	
	0,83	0,42 ± 0,27	0,22 ± 0,12	0,0097 ± 0,0076
	0,94	1,54 ± 0,47	0,77 ± 0,19	0,093 ± 0,018
	0,96	2,78 ± 0,60	1,03 ± 0,25	0,20 ± 0,04

Tabelle 5.2: Simulationsergebnisse der GN Absuche (zu Diagramm 5.18)

β	Y/ZL	Verlustwahrscheinlichkeiten und Vertrauensintervalle in %		
		HW-Intern	BL-Intern	BL-Extern
1,0	0,49		0,2 ± 0,11	0,90 ± 0,11
	0,59		2,12 ± 0,21	8,93 ± 0,19
	0,68		8,99 ± 0,69	25,80 ± 0,42
	0,79		37,84 ± 0,92	61,16 ± 0,26
	0,85		62,43 ± 0,72	80,36 ± 0,25
1,4	0,64			0,002 ± 0,003
	0,79			0,56 ± 0,07
	0,93		0,24 ± 0,08	7,25 ± 0,31
1,6	0,79			0,005 ± 0,006
	0,83			0,005 ± 0,006
	0,94			0,147 ± 0,037

Tabelle 5.3: Simulationwerte der GN Absuche (zu Diagramm 5.19)

Im Diagramm 5.20 werden die drei Wegezuteilungsprinzipien für eine von 30 auf 42 ZL aufgeweitete ZRRZ-Struktur miteinander verglichen. Betreibt man diese Struktur mit dem symmetrischen Wegezuteilungsprinzip, so müssen die horizontalen ML verdoppelt werden (s.o.). Dadurch erhält man einen relativ niedrigen Verlust für die BL-Internverbindungen. Symmetrisch zugeteilte BL-Externverbindungen besitzen den gleichen Verlust wie die quasisymmetrisch zugeteilten, im Gegensatz zu den dreistufigen KAn, bei welchen man unterschiedliche Verlustwahrscheinlichkeiten für die symmetrisch und quasisymmetrisch zugeteilten HW-Externverbindungen erhält. Dieser Unterschied entfällt hier für die BL-Externverbindungen, weil die jeweils beiden Sprechwege strukturbedingt stets zwei getrennte Verbindungsgraphen benutzen müssen und somit die Nummer der zugeteilten Rückwegzeitlage ohne Belang ist.

Der BL-Externverlust für die beliebige Wegezuteilung ist höher, weil er durch eine Blockierung des Hinwegs oder des Rückwegs hervorgerufen werden kann.

Die BL-Internverluste der beliebigen und quasisymmetrischen Wegezuteilung liegen leicht oberhalb der zugehörigen BL-Externverluste, weil zwischen der Stufe 2 und 3 gleichzeitig zwei ZL auf einer horizontalen ML benötigt werden.

Die HW-Internverbindungen erleiden erwartungsgemäß den höchsten Verlust.

Diagramm 5.21 zeigt einen weiteren Vergleich der Verlustwahrscheinlichkeiten für den Fall von 120 ZL pro ML. An die ZRRZ-Struktur, die auf 132 ZL aufgeweitet ist, wurden 49 Highways angeschlossen. Für die symmetrische Wegezuteilung ist die Verdopplung der horizontalen ML vorgesehen.

Die Verlustkurven verlaufen, vergleicht man sie mit jenen des Diagramms 5.20, steiler, weil jetzt die Koppelvielfache der ersten Stufe 120 Eingänge besitzen. An der Relation der Verluste der Wegezuteilungsprinzipien zueinander ändert sich nichts, sodaß die Aussagen zum Diagramm 5.20 hier ebenfalls gemacht werden können.

Die Verlustkurve für die symmetrisch zugeteilten BL-Externverbindungen stimmt wiederum mit derjenigen der quasisymmetrisch zugeteilten Verbindungen überein. Sie wurde der Übersichtlichkeit halber im Diagramm 5.21 weggelassen. Aus dem gleichen Grund sind in das Diagramm die Simulationspunkte der Absuchmethode GN nur für die quasisymmetrische Wegezuteilung und für BL-Internverbindungen des symmetrischen Wegezuteilungsprinzips eingezeichnet.

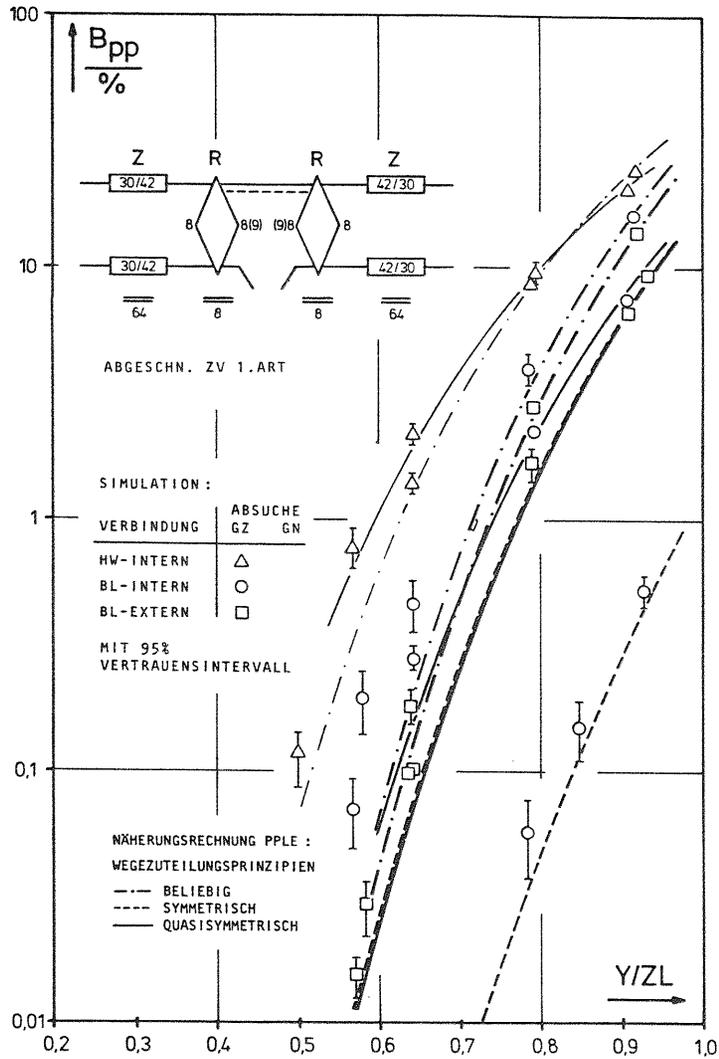


Diagramm 5.20: Vergleich der PP-Verlustwahrscheinlichkeiten einer ZRRZ-Koppelanordnung mit 42 internen Zeitlagen

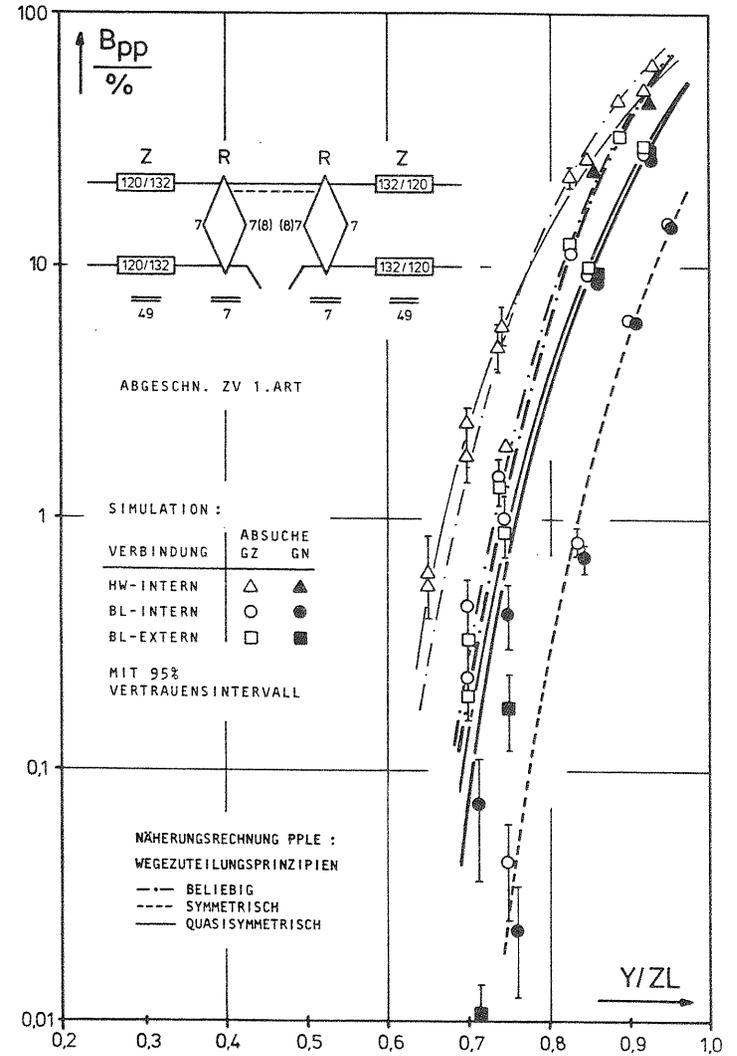


Diagramm 5.21: Vergleich der PP-Verlustwahrscheinlichkeiten einer ZRRZ-Koppelanordnung mit 132 internen Zeitlagen

5.2 Verlustwahrscheinlichkeiten in modularen PCM-Koppelanordnungen

5.2.1 Einstufige, modulare Koppelanordnungen

Im Diagramm 5.22 ist die Verlustwahrscheinlichkeit für Modul-Externverbindungen einer einseitigen, modularen KAn aufgetragen über der Gesamtbelastung je Zeitlage Y/ZL. Die betrachtete KAn besteht aus 8 Kombinationsvielfachen, an die jeweils 8 Highways angeschlossen sind.

Modul (MO)-Internverbindungen können verlustlos durchgeschaltet werden, da die Module vollkommene Erreichbarkeit besitzen, also blockierungsfrei sind. MO-Externverbindungen erleiden Verluste, falls auf dem Zwischenhighway, der das Start- und Ziel-KombVf direkt miteinander verbindet, alle vollkommen erreichbaren Zeitlagen belegt sind. Diese Verlustwahrscheinlichkeit ist unabhängig vom angewandten Wegezuteilungsprinzip und unabhängig vom angewandten Absuchverfahren.

5.2.2 Zweistufige, modulare Koppelanordnungen

Die zweistufige, modulare Koppelanordnung, realisiert als z w e i-seitige Struktur (Bild 2.10), wird im Diagramm 5.23 behandelt. Sie ist gleich groß wie die obige einstufige KAn. Ihre kommenden ML sind links, die gehenden ML jedoch rechts an das Koppelnetz angeschlossen. Dadurch sind sowohl modulinterne als auch modulexterne Verbindungen verlustbehaftet.

Eine MO-Internverbindung belegt auf einer horizontalen Zwischenmultiplexleitung immer zwei ZL gleichzeitig. Verlust tritt dann auf, wenn diese horizontale Zwischen-ML zwischen dem Start- und Ziel-Modul voll belegt ist.

Eine MO-Externverbindung belegt je eine Zeitlage auf den zwei Zwischen-ML zwischen den Start- und Ziel-Modulen. Verlust tritt immer dann auf, wenn die ML zwischen dem Start- und Ziel-Modul

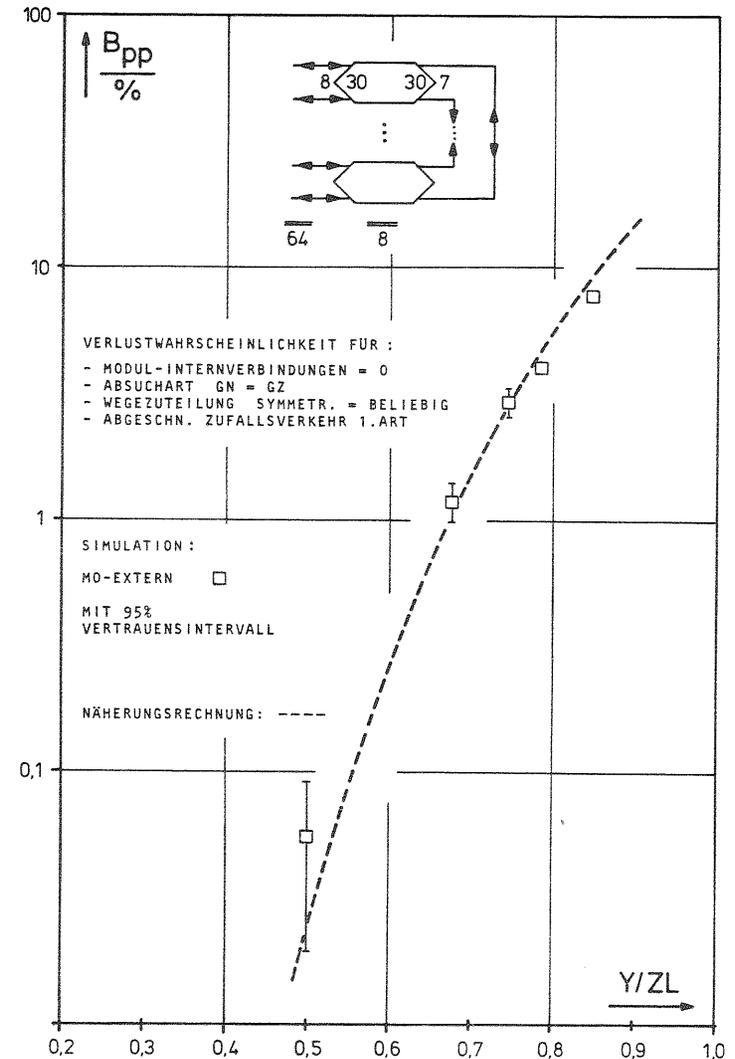


Diagramm 5.22: Punkt-Punkt Verlustwahrscheinlichkeit einer einstufigen, modularen PCM-Koppelanordnung

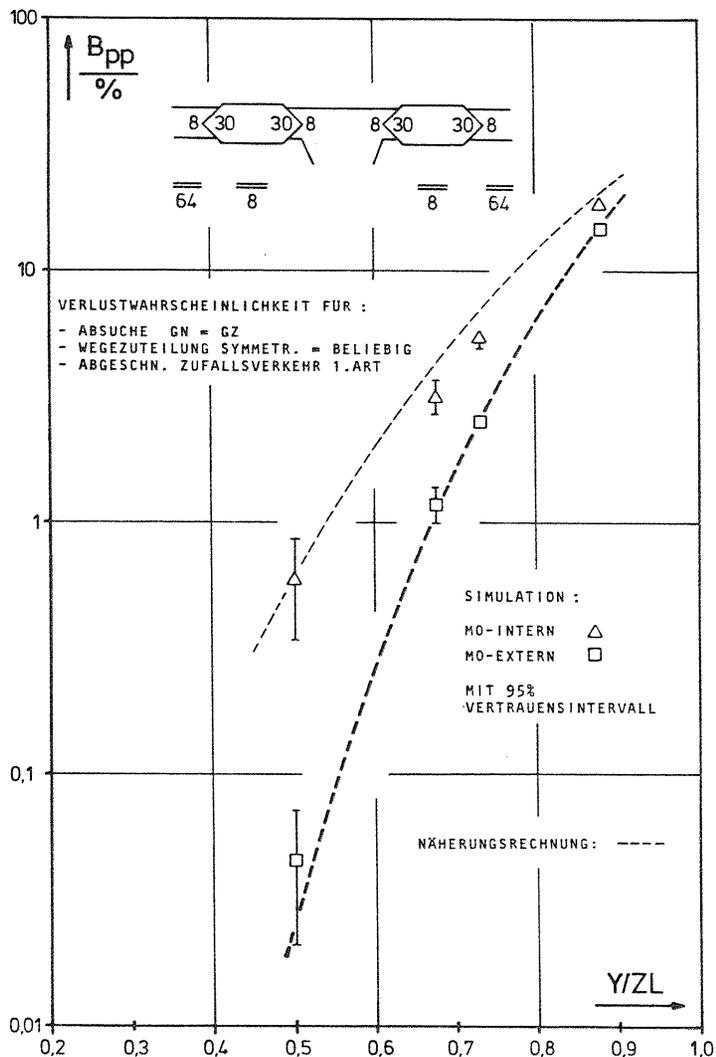


Diagramm 5.23: Punkt-Punkt Verlustwahrscheinlichkeit einer zweistufigen, zweiseitigen modularen PCM-Koppelanordnung

des Hinwegs voll belegt ist. Aus Symmetriegründen besitzt die Zwischen-ML des Rückwegs stets denselben Belegungszustand. Die Verlustwahrscheinlichkeiten gelten gleichermaßen für die beliebige und symmetrische Wegezuteilung, unabhängig vom angewandten Absuchverfahren. Generell sind Verluste für MO-Internverbindungen wahrscheinlicher als für MO-Externverbindungen, weil jede Internverbindung pro ML zwei ZL gleichzeitig belegt.

Wird die zweistufige KAN dagegen in der einseitigen Version betrieben (Bild 2.9), so stellen die KombVf (Module) der zweiten Stufe die Zwischenmodule für modulexterne Verbindungen dar. Deren Verlustwahrscheinlichkeiten, im Diagramm 5.24 dargestellt, sind jetzt bei der symmetrischen Wegezuteilung geringer als bei der beliebigen Wegezuteilung. Bei der symmetrischen Wegezuteilung kann eine Verbindung dann nicht aufgebaut werden, wenn die ML des Hinwegs vom Zwischenmodul zurück in das Zielmodul der ersten Stufe voll belegt ist. Bei der beliebigen Wegezuteilung kann diese Blockierung sowohl bei der Suche des Hinwegs als auch des Rückwegs auftreten, weil hier wegen der zwei Suchvorgänge unterschiedliche Zwischenmodule benutzt werden können.

Neben den Wegezuteilungsprinzipien hat auch das Absuchverfahren einen entscheidenden Einfluß auf diese Verlustwahrscheinlichkeiten. Erfolgt die Absuche der Zwischenmodule mit GN, so erhält man für $M = 30$ und mit einer Belastung $Y/ZL \geq 0,35$ Erl schon Verlustwerte über 30 % bei symmetrischer und über 60 % bei beliebiger Wegezuteilung (im Diagr. oben). Mit der Absuchart GZ, mit der die MO-Externverbindungen die Zwischenmodule gleichverteilt belegen, ergeben sich die im Diagramm 5.24 unten dargestellten, wesentlich kleineren Verluste.

Die MO-Internverbindungen können, wie bei allen einseitigen, modularen KAN, blockierungsfrei aufgebaut werden.

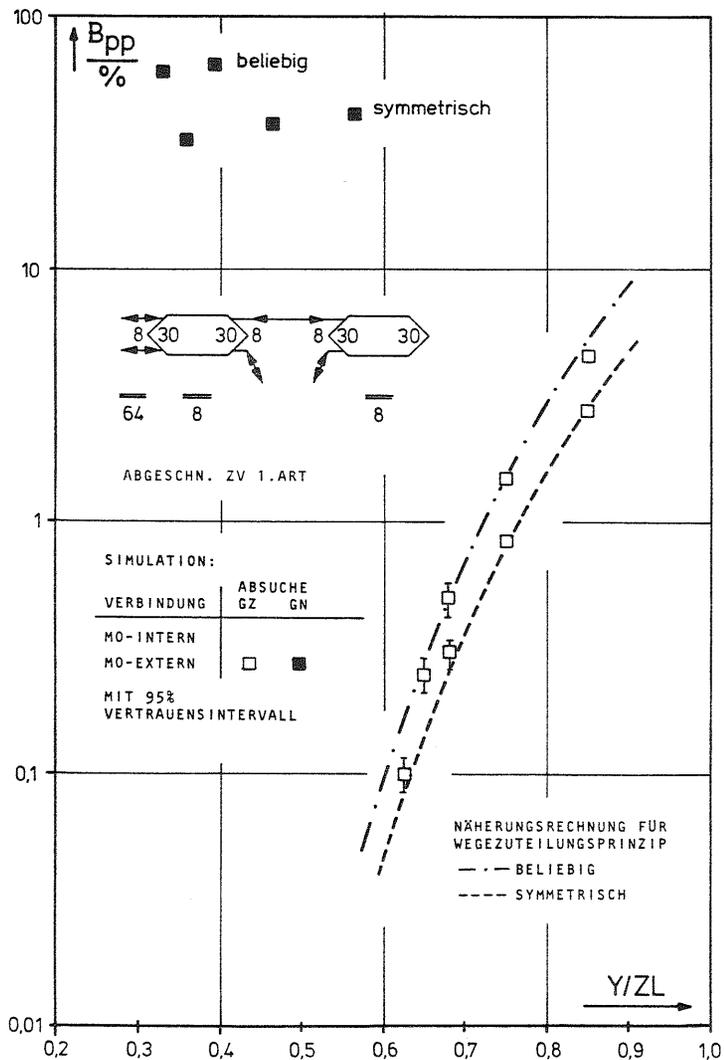


Diagramm 5.24: Punkt-Punkt Verlustwahrscheinlichkeit einer zweistufigen, einseitigen modularen PCM-Koppelanordnung

5.2.3 Dreistufige, modulare Koppelanordnungen

Die beiden folgenden Diagramme zeigen die Punkt-Punkt Verluste der dreistufigen, modularen KAn, das Diagramm 5.25 für die zweiseitige (Bild 2.12) und Diagramm 5.26 für die einseitige Struktur (Bild 2.11).

Die zweiseitige Struktur besitzt 16 Module in der ersten und letzten Stufe, an welche jeweils die 8 kommenden und gehenden Multiplexleitungen angeschlossen sind. Diagramm 5.25 zeigt den näherungsweise berechneten Verlust und die Ergebnisse der Simulation, die mit der Absuche GZ durchgeführt wurde. Die Ergebnisse der GN Absuche sind ebenfalls eingetragen. Ihre Verlustwerte sind erwartungsgemäß extrem groß.

Die beliebig zugeteilten Sprechwege der modulinternen und modulexternen Verbindungen erfahren den gleichen Verlust. Er ist größer als jener für die symmetrisch zugeteilten Sprechwege von MO-Externverbindungen.

Der Verlust für symmetrisch zugeteilte MO-Internverbindungen ist vernachlässigbar gering. Die Ursache liegt darin, daß das Startmodul aus allen Zwischenmodulen eines auswählt, welches noch über mindestens zwei freie Zeitlagen auf der Zwischen-ML erreicht werden kann. Da die Belegungsmuster der KAn bzgl. ihrer Mittelsenkrechten symmetrisch sind, müssen dann ebenfalls noch mindestens zwei freie ZL in das Zielmodul gleicher Ordnungsnummer vorhanden sein. Mit der symmetrischen Wegezuteilung kann also nur dann eine MO-Internverbindung verloren gehen, wenn auf keiner der vom Startmodul abgehenden Zwischenmultiplexleitungen (z.B. 8 ML) noch mindestens zwei Zeitlagen frei sind.

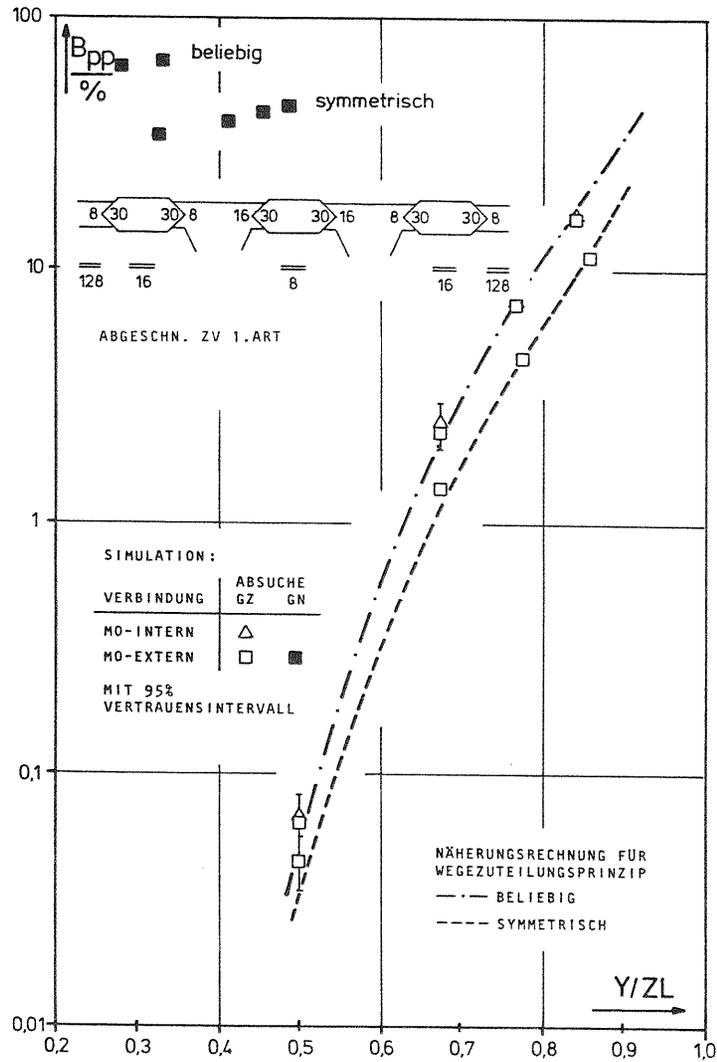


Diagramm 5.25: Punkt-Punkt Verlustwahrscheinlichkeiten einer dreistufigen, zweiseitigen modularen PCM-Koppelanordnung

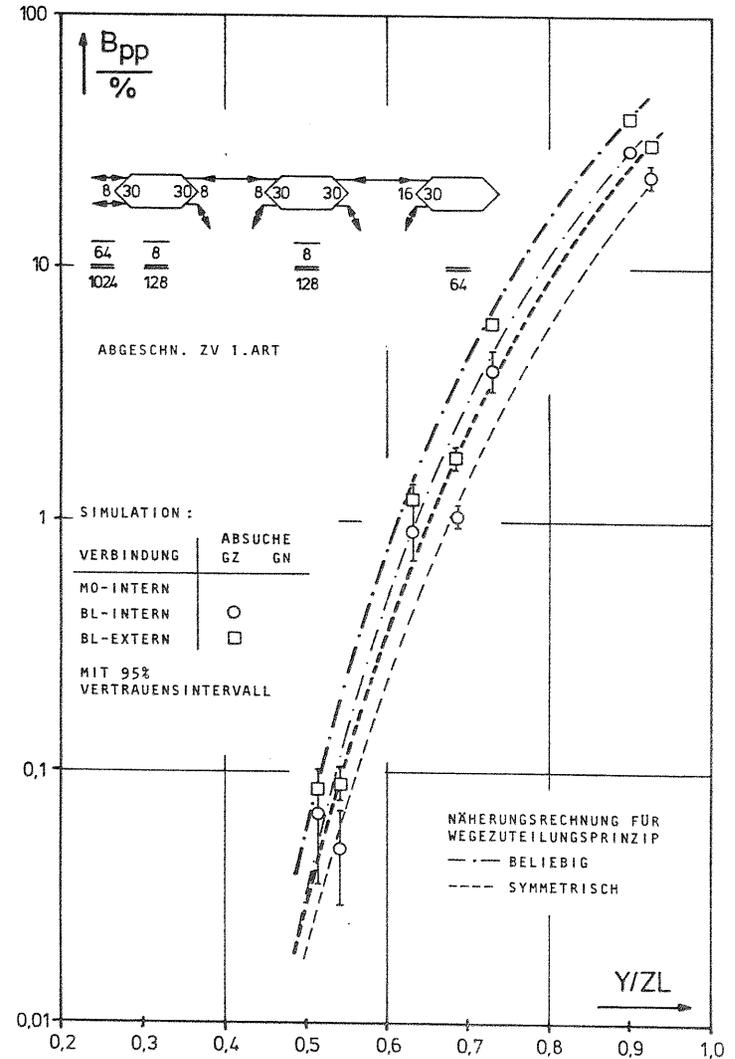


Diagramm 5.26: Punkt-Punkt Verlustwahrscheinlichkeiten einer dreistufigen, einseitigen modularen PCM-Koppelanordnung

Für e i n seitige, dreistufige Strukturen sind im Diagramm 5.26 die Verlustwahrscheinlichkeiten für die blockinternen und blockexternen Verbindungen über der Gesamtbelastung pro ZL aufgetragen.

Die modulinternen Verbindungen sind verlustfrei.

Eine BL-Internverbindung hat für beide Wegezuteilungsprinzipien die geringeren Verluste als eine BL-Externverbindung, weil sie ihr Zielmodul bereits mit einem Kurzweg über ein Zwischenmodul in der zweiten Stufe erreichen kann. Die blockexternen Verbindungen dagegen müssen immer über drei Zwischenmodule aufgebaut werden.

Das symmetrische Wegezuteilungsprinzip liefert immer die besseren Verlustwerte, da hier eine zusätzliche Blockierung des Rückwegs, wie bei der beliebigen Wegezuteilung, nicht auftreten kann.

6. WEGESUCHALGORITHMEN FÜR DIE BEIDEN SPRECHWEGE BEI GEMEINSAMER DURCHSCHALTUNG

Im Kapitel 4 wurden die prinzipiellen Eigenschaften der drei Wegezuteilungsmöglichkeiten vorgestellt. In dem folgenden Abschnitt 6.1 werden nun die Funktionsweisen der Wegesuchalgorithmen im einzelnen beschrieben, so wie sie im Steuerungsrechner des Koppelnetzes für konventionelle PCM-KAN realisiert sind. In dem sich anschließenden Abschnitt 6.2 wird die Wegesuche in modularen PCM-KAN behandelt.

6.1 Wegesuchalgorithmen für konventionelle PCM-Koppelanordnungen

Für die Wegesuche in konventionellen PCM-KAN ist deren Belegungszustand im Speicher des Wegesuchprozessors abgelegt. Dabei ist, wenn man ZRZ-Koppelanordnungen als Beispielstrukturen betrachtet, jeder internen Zeitlage ein Bit zugeordnet, das den logischen Zustand "1" hat, falls diese ZL frei ist. Ein durchgehend freier Weg durch die KAN ist dann vorhanden, wenn eine logische UND-Verknüpfung der entsprechenden Bits eine logische "1" liefert. Diese UND-Verknüpfung ist die fundamentale Operation, die in jedem Wegesuchalgorithmus durchgeführt werden muß. Außerdem sind noch Adreßrechnungen, Schleifenorganisationen, Maskierungsoperationen und die Generierung von Einstellinformationen für die Speicherspeicher der Raum- und Zeitlagenvielfache vom Wegesuchprogramm durchzuführen. Zusätzlich werden noch gewisse, einfache Überwachungsfunktionen ausgeführt. So wird beispielsweise von den Wegesuchalgorithmen für die quasisymmetrische und die symmetrische Wegezuteilung überprüft, ob der dem gefundenen freien Hinweg zugewiesene Rückweg im Belegungszustandsspeicher auch wirklich als frei gekennzeichnet ist. Andernfalls wird eine Fehlermeldung generiert.

Ein Wegesuchprogramm besteht neben mehreren Hilfsroutinen aus drei Hauptroutinen, der Initialisierungs-, der Verbindungsaufbau- und der Verbindungsabbauroutine.

Die Initialisierungsroutine baut die Struktur des Verbindungs- und Belegungszustandsspeichers auf. Im Verbindungsspeicher (VSP) sind die Verbindungsdaten abgelegt, d.h. die Anschlußposition des A- und B-Teilnehmers und die von dieser Verbindung im Koppelnetz belegten Zwischenleitungen (vgl. Bild 6.1). Unter der Adresse des A-Teilnehmers (A-Tln) ist die Anschlußposition des B-Tln eingetragen. Da ein Rückverweis vom B-Tln zum A-Tln unnötig ist, werden unter der Adresse des B-Teilnehmers die internen Zeitlagen dieser Verbindung abgelegt. Diese Organisation des VSP bedingt dann, daß eine bestehende Verbindung nur mit der Kenntnis der Anschlußposition des A-Tln ausgelöst werden kann.

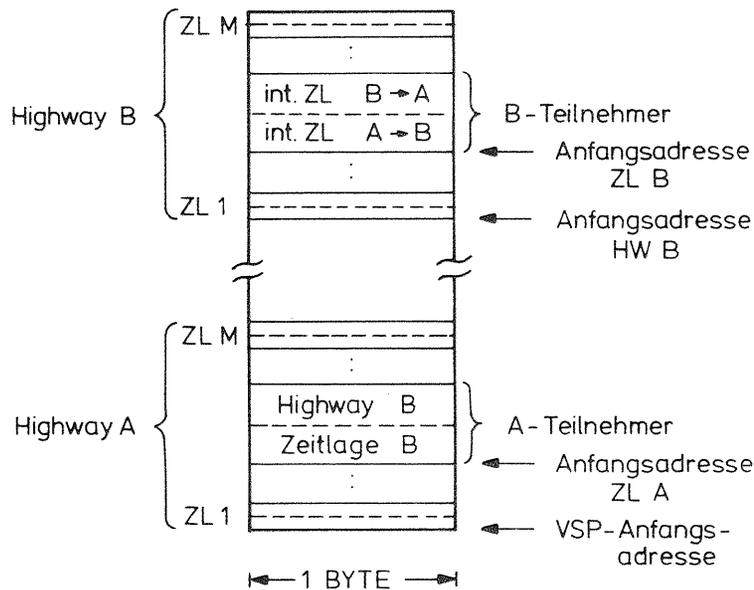


Bild 6.1: Aufbau des Verbindungsspeichers

Die Anfangsadresse VSPADR eines Teilnehmers im VSP berechnet sich wie folgt:

$$VSPADR = VSPANF + 2 \cdot (HWN R \cdot M + ZLNR) \quad (6.1)$$

VSPANF : VSP-Anfangsadresse

HWN R : Nummer des Tln-Highways

ZLNR : Nummer der Tln-Zeitlage

Wählt man für die Anzahl M der externen Zeitlagen eine Zweierpotenz, so reduziert sich die Multiplikation auf reine Schiebeoperationen. Ist M keine Zweierpotenz, so wird auf die nächst größere Zweierpotenz aufgerundet. Jene Speicherplätze, die durch diese eventuelle Aufrundung entstanden sind, werden, um Fehler zu vermeiden, besonders gekennzeichnet.

Der Belegungszustandsspeicher (BZSP) spiegelt den momentanen Belegungszustand des Koppelnetzes wieder (vgl. Bild 6.2). Jede Zwischenleitung ist hier durch ein Bit repräsentiert. Für jede angeschlossene Multiplexleitung ist ein gewisser Speicherbereich vorgesehen, dessen Größe von der Zahl M^* abhängt.

Die Adresse BZADR des ersten Bytes des Belegungsmusters einer ML berechnet sich mit :

$$BZADR = BZANF + HWNR \cdot M^* / 8 \quad (6.2)$$

BZANF : BZSP-Anfangsadresse

HWN R : Nummer des Highways

Durch die Wortbreite von 8 Bit im Speicher ergibt sich die Anzahl der Bytes für das Belegungsmuster einer ML zu

$$BY = M^* / 8 \quad (6.3)$$

Erhält man bei dieser Division kein ganzzahliges Ergebnis, so werden jene Bits, die keine interne ZL repräsentieren, "belegt" geschrieben, damit sie beim Verbindungsaufbau nicht berücksichtigt werden können.

Legt man für die Anzahl M^* der Zeitlagen eine Zweierpotenz zugrunde, so läßt sich für Adreßberechnungen Rechenzeit einsparen, da die Multiplikation in Gl.(6.2) durch reine Schiebeoperationen ausgeführt werden kann. Die Anzahl der für die Wegesuche relevanten Bytes bleibt von einer eventuellen Aufrundung von M^* unbeeinflusst.

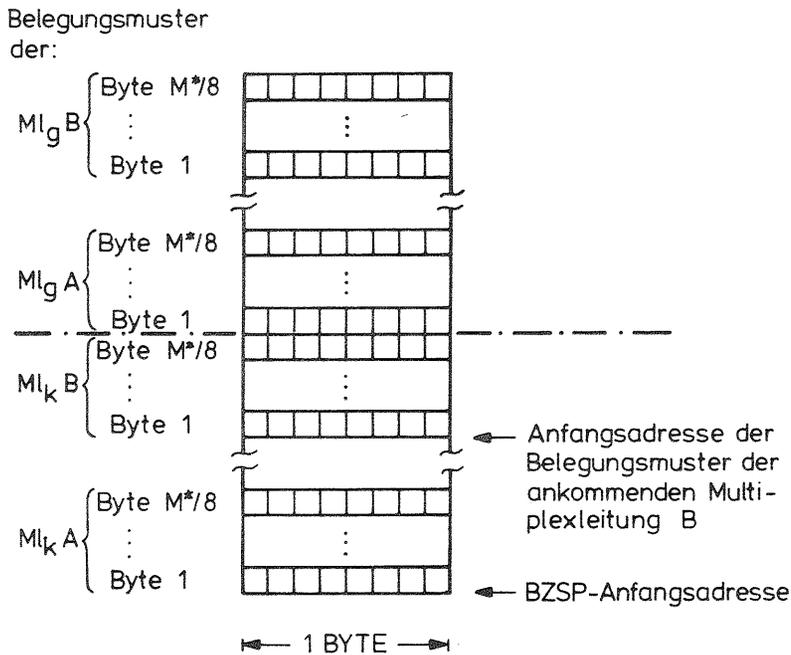


Bild 6.2: Aufbau des Belegungszustandsspeichers

Der BZSP setzt sich aus zwei Blöcken zusammen, demjenigen für die kommenden und jenem für die gehenden Multiplexleitungen. Damit erhält man z.B. die Adresse einer gehenden ML, indem man die konstante Blocklänge des BZSP zur bekannten Adresse der kommenden ML hinzuaddiert.

Für die Realisierung des Absuchverfahrens GZ ergibt sich die zufällige Anfangstellung auf einfache Weise, indem man einen Zeiger einführt, der die Nummer jenes Bytes des BZSP enthält, innerhalb dessen der vorhergehende Ruf erfolgreich durchgeschaltet werden konnte. Dieser Zeiger, der die Werte 1..BY annehmen kann, gilt für die gesamte KAN und gibt die Anfangsstellung an, ab der für den nachfolgenden Ruf die Wegesuche durchgeführt wird, unabhängig davon, welche Highways an dieser Verbindung beteiligt sind. Die Wegesuche mit GZ beginnt also immer mit dem ersten Bit im pseudozufälligen Byte jenes Speicherbereichs im BZSP, welcher der Multiplexleitung des neuen Rufes entspricht.

Die Verbindungsabbauroutine erhält zum Auslösen einer Verbindung die Anschlußposition des A-Teilnehmers als Adresse im VSP. Aus dem Verbindungsspeicher entnimmt sie die Anschlußposition des B-Tln und die von dieser Verbindung belegten Zwischenleitungen. Damit können die Positionen der diesen Zwischenleitungen entsprechenden Bits bestimmt werden und diese selbst wieder im BZSP freimaskiert werden (im folgenden die Fälle reduzierter oder nicht reduzierter BZSP).

Der Verbindungsabbau unterscheidet sich in den einzelnen Wegesuchprogrammen kaum. Je nach Algorithmus müssen eine oder zwei Masken gebildet werden und zwei oder vier Mal je ein Bit auf Null gesetzt werden.

Im Gegensatz dazu unterscheiden sich die Verbindungsaufbau-routinen für die einzelnen Wegesuchprogramme wesentlich. Sie stellen die Realisierung des jeweiligen Wegesuchprinzips dar.

Nachfolgend werden für jedes der im Kapitel 4 vorgestellten Wegesuchprinzips verschiedene Wegesuchalgorithmen behandelt. Hierzu soll wiederum die dreistufige ZRZ-Koppelanordnung als Beispielstruktur dienen.

6.1.1 Wegesuchalgorithmus für die beliebige Wegezuteilung

Bild 6.3 zeigt die äquivalente Raumvielfachdarstellung der ZRZ-KAN mit denselben Verbindungen wie in Bild 4.1; einer HW-Externverbindung (ZL 9 und 17) und einer HW B-Internverbindung über die Zeitlagen 1 und 25. Zusätzlich sind noch die logisch zusammengehörigen Speicherbereiche des Belegungsstatusspeichers, die Belegungsmuster (BM) I bis IV, eingetragen, die den Belegungszustand der Zwischenleitungen wiedergeben. Alle Belegungsmuster zusammengenommen bilden im Datenbereich des Wegesuchprogramms den BZSP, sodaß für die Untersuchung von Wegesuchalgorithmen die äquivalente RVf-Darstellung als das Abbild des Belegungszustandsspeichers aufgefaßt werden kann.

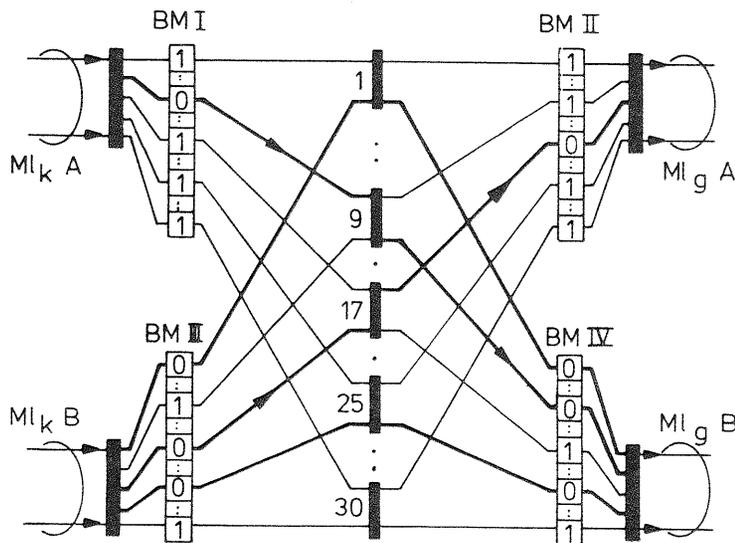


Bild 6.3: Abbild des Belegungszustandsspeichers für die beliebige Wegezuteilung mit dem Absuchverfahren GZ

Definiert man den Freizustand einer Zwischenleitung durch die logische Eins, so erhält man für die im Bild 6.3 angenommene Belegungskonfiguration ein Belegungsmuster der Ausgänge des A-KVf (BM I), das aus lauter Einsen besteht, ausgenommen das neunte Bit. Dieses hat den logischen Wert Null, da die interne ZL 9 von der HW-Externverbindung belegt ist. Analog ergeben sich die Bitmuster in den anderen, dargestellten Speicherbereichen BM I, BM III und BM IV.

Für eine weitere durchzuschaltende Verbindung, z.B. eine Externverbindung vom Highway B zum Highway A, wird nun für beide Sprechwege eine individuelle Wegesuche durchgeführt. Für den Hinweg von B nach A bedeutet dies, daß die BM III und II mit einer UND-Operation verknüpft werden müssen. Diese Verknüpfung liefert, für den angenommenen Belegungszustand, daß alle internen ZL durchgehend frei sind, ausgenommen die ZL 1, 17 und 25. Mit dem Absuchverfahren GZ und einer zufälligen Anfangsstellung "2" wird also der Hinweg über die ZL 9 durchgeschaltet. Die beiden 9.Bits - jeweils das 1.Bit im 2.Byte des BM II und III - werden belegt maskiert. Da der Hinweg für diese Verbindung gefunden wurde, wird nun in völliger Analogie für den Rückweg von A nach B ein Pfad durch die KAN gesucht, jetzt unter Benutzung der BM I und BM IV. Auf Grund des Belegungszustands der KAN könnte mit dem zufälligen Absuchverfahren die interne ZL 17 gewählt werden.

Allerdings ist es durchaus möglich, daß für den Rückweg kein freier Pfad vorhanden ist, obwohl ein Hinweg gefunden wurde. In diesem Fall muß vom Wegesuchalgorithmus der belegte Hinweg im BZSP wieder freimaskiert und eine Verlustmeldung abgegeben werden.

Ist die Verbindung erfolgreich, so werden die beiden benutzten, internen Zeitlagennummern (z.B. 9 und 17) im Verbindungsspeicher abgelegt (Bild 6.1), damit beim Auslösen dieser Verbindung auch die zugehörigen vier Bits wieder zurückgesetzt werden können.

Im Kap. 4.1.1 wurden die Eigenschaften der beliebigen Wegezuteilung in Verbindung mit dem Absuchverfahren GN bereits behan-

delt. Wird die Wegesuche mit einem Algorithmus gemäß diesem Prinzip durchgeführt, so erhält man einen zur mittleren Stufe symmetrischen Belegungszustand der KAn. Dies ist im Bild 6.4 für dieselben Beispielverbindungen dargestellt, wobei die interne ZL 1 als feste Nullstellung gewählt wurde. Die beiden Sprechwege einer HW-Externverbindung, die unabhängig voneinander gesucht werden, benutzen dasselbe KVf in der mittleren Stufe, weil die logische UND-Verknüpfung der BM I und IV wie auch jener von BM III und II dasselbe Bitmuster ergeben. Beim Absuchverfahren werden folglich für den Hin- und Rückweg - unabhängig voneinander - die gleichen internen Zeitlagen gewählt.

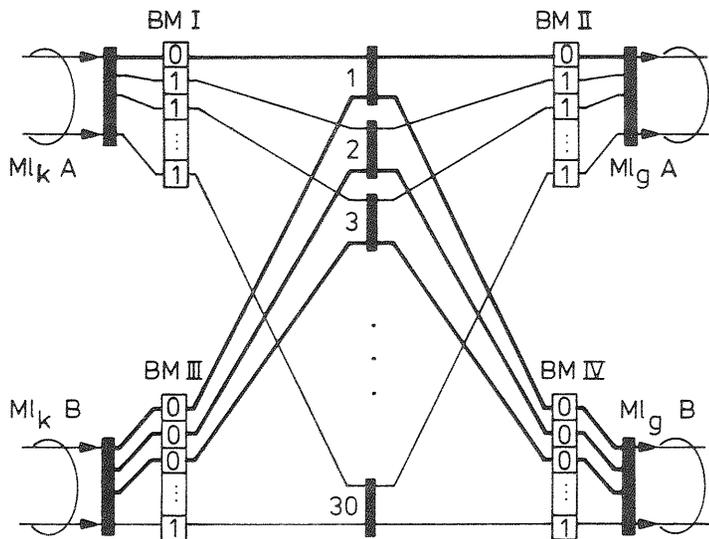


Bild 6.4: Abbild des Belegungszustandsspeichers für die beliebige Wegesuteilung mit dem Absuchverfahren GN

Highway-Internverbindungen führen grundsätzlich über zwei beliebige, aber unterschiedliche interne ZL. Da aber die Belegungsmuster eines Highways, d.h. z.B. BM III und IV für HW B, immer

identisch sind, liefert die UND-Verknüpfung der Muster III und IV mindestens zwei Einsen, d.h. HW-Internverbindungen können immer verlustfrei durchgeschaltet werden. Das Wegesuchprogramm muß in diesem Falle in den BM III und IV dieselben zwei Bits belegt maskieren.

6.1.2 Wegesuchalgorithmus für die symmetrische Wegesuteilung

Mit dem symmetrischen Wegesuteilungsprinzip (vgl. Kap.4.1.2) können nur Highway-Externverbindungen aufgebaut werden, die immer zwei zur Mittelsenkrechten der Koppelanordnung symmetrische Pfade belegen. Dies bedeutet, daß für einen freien Hinweg automatisch auch ein freier Rückweg über dasselbe mittlere KVf existieren muß.

Bild 6.5a zeigt die äquivalente RVF-Darstellung als Abbild des BZSP mit einer HW-Externverbindung, durchgeschaltet über die interne ZL 9. Der Hinweg wurde, wie bei der beliebigen Wegesuteilung, mit Hilfe der BM I und IV gesucht, der Rückweg aber ohne Suche über dieselbe ZL-Nummer belegt. Dies führt, verglichen mit der beliebigen Wegesuteilung zu einer Einsparung an Wegesuchzeit. Die für das Belegen des Hinwegs erzeugte Maske wird ebenfalls auf die BM III und II zum Belegen des Rückwegs angewandt.

Die symmetrische Wegesuteilung erzeugt also einen symmetrischen Belegungszustand der KAn, d.h. die Belegungsmuster der KVf der dritten Stufe sind redundant, da sie immer denselben Inhalt haben wie die BM der Koppelvielfache der ersten Stufe. Es genügt somit für die Beschreibung des Belegungszustands der gesamten Koppelanordnung nur deren linke Hälfte abzuspeichern. Der BZSP reduziert sich dann auch auf die Hälfte, da nur noch der Speicherblock für die kommenden Multiplexleitungen benötigt wird (unterhalb der strichpunktiierten Linie im Bild 6.2).

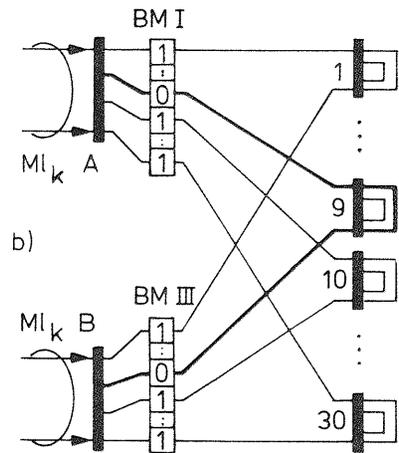
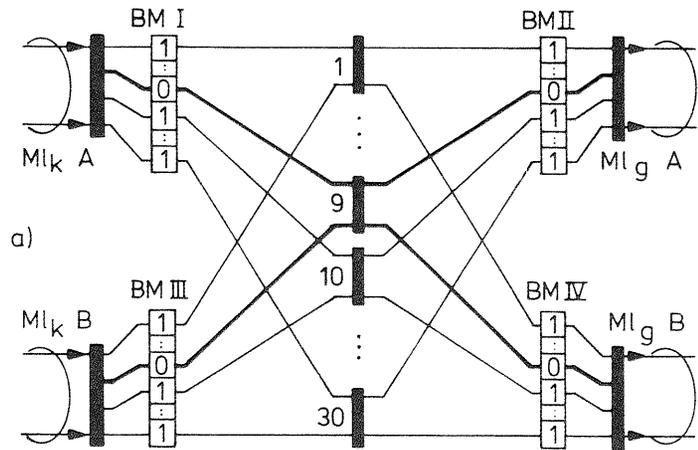


Bild 6.5: Abbild des Belegungszustandsspeichers (a) und sein reduziertes Abbild (b) für die symmetrische Wegezuteilung

Das Abbild des reduzierten BZSP ist im Bild 6.5b dargestellt. Es hat die Form einer Umkehrgruppierung und erlaubt eine nochmals vereinfachte, speicherplatzsparende Wegesuche, da beim Auf- und Abbau einer Verbindung nur noch zwei statt vier Bits geändert werden müssen. Eine Verbindung, die real aus zwei zugeteilten Sprechwegen besteht, reduziert sich hier auf einen zweigeteilten Sprechweg. Dieser setzt sich aus je einer Hälfte der beiden realen Sprechwege zusammen und kehrt im KVf der mittleren Stufe um. Dies wird durch die symbolischen Umkehrschleifen bewirkt, die bei der symmetrischen Wegezuteilung in demselben Koppelvielfach beginnen und endigen.

6.1.3 Der Super-Algorithmus für ZRZ- und RZR-Koppelanordnungen

Bei der beliebigen Wegezuteilung in Verbindung mit dem Absuchmodus GN entstehen stets symmetrische Belegungsmuster, weil die beiden Sprechwege von HW-Externverbindungen zwar unabhängig voneinander, aber über dasselbe KVf der mittleren Stufe aufgebaut werden (vgl. Bild 6.4). Diese Tatsache wird beim Super-Algorithmus benutzt, indem die HW-Externverbindungen mit symmetrischer Wegezuteilung, und die HW-Internverbindungen weiterhin beliebig zugeteilt, durchgeschaltet werden. Mit dieser Superposition der beiden Algorithmen beliebig bzw. symmetrisch behebt man den Nachteil des rein symmetrischen Verfahrens, bei dem keine HW-Internverbindungen hergestellt werden können sowie denjenigen der beliebigen Wegezuteilung, welche die längste Wegesuchzeit benötigt. Weiterhin wird man vom zu benutzenden Absuchverfahren unabhängig, d.h. der Super-Algorithmus kann mit beiden Verfahren, GN und GZ, durchgeführt werden. Die Blockierungsfreiheit einer HW-Internverbindung bleibt dabei erhalten, weil die HW-Externverbindungen stets symmetrische Belegungsmuster erzeugen.

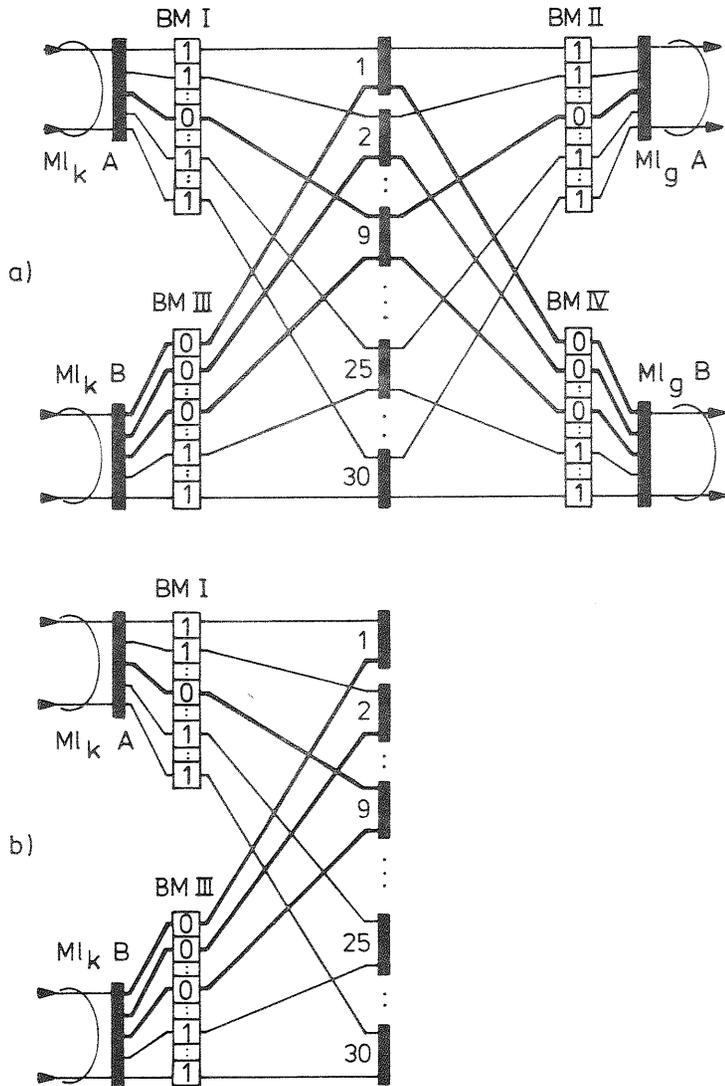


Bild 6.6: Abbild des Belegungs Zustandspeichers (a) und sein reduziertes Abbild (b) für den Super-Algorithmus

Bild 6.6a zeigt die äquivalente RVf-Darstellung der ZRZ KAN als Abbild des BZSP der Wegesuche. Eingetragen sind eine Highway-Externverbindung über die interne ZL 9 und eine Highway B-Internverbindung über die Zeitlagen 1 und 2. Die zufälligen Anfangsstellungen wurden zu "2" und "1" angenommen. Wendet man, im Gegensatz dazu, das Absuchverfahren GN mit der Nullstellung Eins an, so erhält man mit dem Super-Algorithmus denselben Belegungs Zustand wie für den beliebigen Wegesuchalgorithmus (Bild 6.4). Verkehrstheoretisch besteht hier also kein Unterschied zwischen diesen beiden Algorithmen. Der Unterschied liegt in der Wegesuche selber, weil sich für den Super-Algorithmus der notwendige BZSP, analog zum symmetrischen Algorithmus, reduzieren lässt und somit eine stark vereinfachte, schnelle und speicherplatzsparende Wegesuche durchgeführt werden kann. Bild 6.6b zeigt das Abbild dieses reduzierten BZSP. Es gleicht dem für die symmetrische Wegesuche, wobei allerdings hier die Umkehrschleifen fehlen. Diese repräsentieren im Bild 6.5b die fixe Zuteilung der beiden Sprechwege zueinander und müssen hier, wegen der beliebigen Pfade für Highway-Internverbindungen, weggelassen werden.

Die Verbindungsaufbauroutine für den Super-Algorithmus setzt sich aus zwei Teilen zusammen. Für HW-Externverbindungen ist sie identisch derjenigen für den symmetrischen Algorithmus. Für HW-Internverbindungen werden im Belegungsmuster der betreffenden kommenden ML die beiden ersten freien Bits direkt gesucht. Das erste Bit wird sofort belegt, da das zweite freie Bit vorhanden sein muß.

6.1.4 Wegesuchalgorithmus für die quasisymmetrische Wegezuteilung

Bei der quasisymmetrischen Wegezuteilung benutzen die beiden Sprechrichtungen zwei unterschiedliche, aber fest zugeordnete Pfade durch die Koppelanordnung. Als Zuordnungsschema wird für

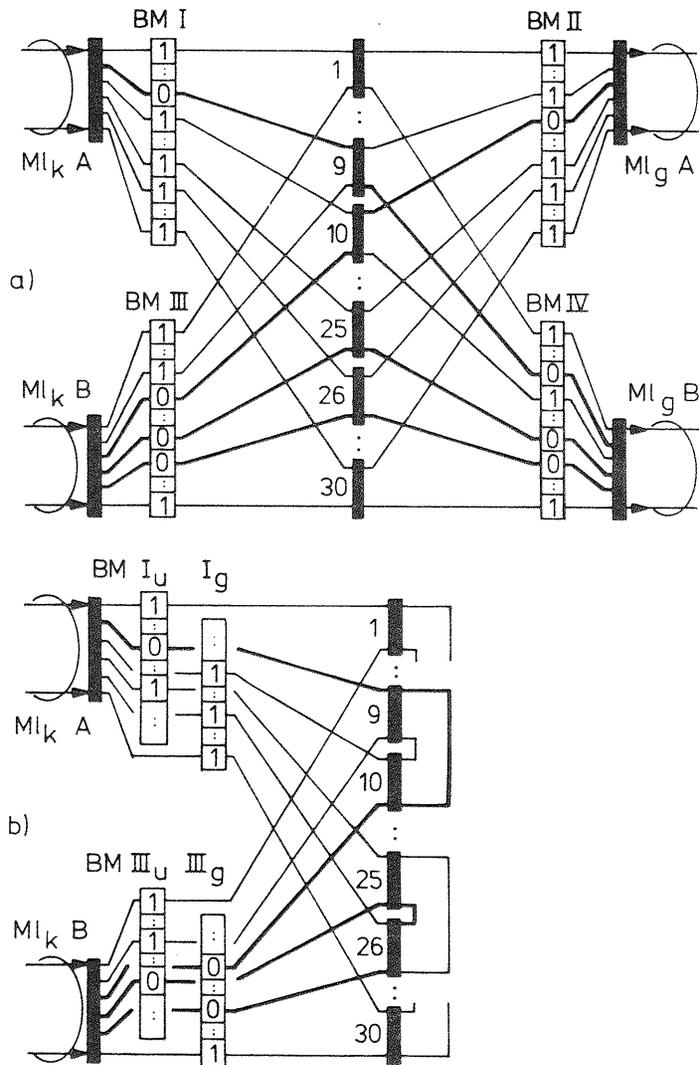


Bild 6.7: Abbild des Belegungszustandsspeichers (a) und sein reduziertes Abbild (b) für die quasisymmetrische Wegezuteilung

die folgenden Ausführungen die sog. gerade/ungerade Zuteilung angenommen (vgl. Kap.4.1.3).

Bild 6.7a zeigt von der Beispielstruktur ZRZ die äquivalente RVf-Darstellung als Abbild des BZSP. Für eine aufzubauende HW-Externverbindung mit der zufälligen Anfangsstellung "2" lieferte die UND-Verknüpfung der BM I und IV die interne Zeitlage 9. Der Hinweg wird demzufolge über das neunte KVF der mittleren Stufe durchgeschaltet, d.h. die entsprechenden Bits in diesen BM belegt maskiert. Nach dem o.a. Zuordnungsschema führt nun der Rückweg über die zugeweilte interne Zeitlage, d.h. die ZL 10. Dieser Weg muß a priori frei sein und wird ohne Suche belegt, d.h. nach der Berechnung der entsprechenden Rückwegmaske werden die zugehörigen Bits in den BM III und II auf Null gesetzt. Koppelvielfach-Internverbindungen, also HW-Internverbindungen bei Z..Z-Strukturen und zeitlagengleiche Verbindungen bei der RZR-Struktur, können mit der quasisymmetrischen Wegezuteilung aufgebaut werden. Dazu werden, für die beispielhafte HW B-Internverbindung im Bild 6.7a, die BM III und IV miteinander UND-verknüpft. Der Hinweg kann demnach, mit dem vierten Byte als Anfangsstellung, die interne ZL 25 benutzen. Der Rückweg führt dann automatisch über die quasisymmetrische ZL 26. Ein direkter Zugriff nur auf das BM III wie beim Super-Algorithmus ist nicht möglich, da ein auf Eins gesetztes Bit im BM III nichts über den Zustand des gleichen Bits im BM IV aussagt. Es besagt nur, daß das quasisymmetrisch zugeweilte Bit im BM IV ebenfalls den logischen Wert Eins hat.

Die Belegungszustände der Ausgänge eines KVf in der ersten Stufe und die der Eingänge des gleichnumerierte KVf in der dritten Stufe sind, "quasisymmetrisch betrachtet", identisch. Es genügt also, wie z.B. bei der symmetrischen Wegezuteilung, für die Beschreibung des Belegungszustands der gesamten Koppelanordnung nur die Zwischenleitungen zwischen der ersten und zweiten Stufe im Belegungszustandsspeicher abzulegen. Dieser reduziert sich damit auf den Block für die kommenden Multiplexleitungen. Sein Abbild ist im Bild 6.7b dargestellt. Es hat die Form einer Umkehrgruppierung, in der die paarweise, gerade/ungerade Zutei-

lung der KVf in der zweiten Stufe deutlich wird. Für die Wegesuche im reduzierten BZSP müssen die geraden ZL im BM der Start-Multiplexleitung mit den ungeraden Zeitlagen des Belegungsmusters der Ziel-ML, und, damit der Verbindungsgraph komplett abgesehen wird, auch die ungeraden ZL mit den geraden ZL UND-verknüpft werden. Deshalb ist es günstig, den reduzierten BZSP so zu unterteilen, daß die geraden bzw. ungeraden Zeitlagen jeweils in einem Speicherbereich zusammengefaßt sind (BM_g bzw. BM_u). Für das Belegen der internen Zeitlagen einer erfolgreichen Verbindung muß jetzt nur noch eine Maske generiert werden, da im aufgeteilten, reduzierten BZSP die Nummer des Bits, das im BM der ungeraden Zeitlagen des Start-KVf gesetzt werden muß, die gleiche ist wie im Belegungsmuster des Ziel-Koppelvielfachs für die geraden ZL. Dies gilt unabhängig vom Verbindungstyp.

Für die Wegesuche, d.h. die Verknüpfung der BM der geraden ZL mit den ungeraden und umgekehrt, gibt es verschiedene Vorgehensweisen. Die naheliegendste ist die schon oben angeführte Möglichkeit, nämlich grundsätzlich im Start-KVf mit den geraden Zeitlagen zu beginnen und, falls hier kein durchgehend freier Weg vorhanden ist, zu den Belegungsmustern der ungeraden ZL überzugehen. Mit diesem Verfahren werden im Start-Koppelvielfach durch HW-Externverbindungen vorzugsweise die geraden ZL belegt, die quasisymmetrischen Zeitlagenpaare des Start-KVf aber durch diese Halbbelegungen für HW-Internverbindungen blockiert. Dieser Algorithmus erhöht somit die Verlustwahrscheinlichkeit der Highway-Internverbindungen. Die Verlustwahrscheinlichkeit für HW-Externverbindungen wird von diesem Verfahren nicht beeinflusst, da diese keine zwei, direkt aufeinanderfolgenden Ausgänge im Start-KVf benötigen.

Modifiziert man dieses Verfahren, indem man, zufällig oder determiniert, die Wegesuche im Start-KVf alternierend mit den geraden oder ungeraden Zeitlagen beginnt, dann ergibt sich eine geringere Benachteiligung der HW-Internverbindungen. Deren Verlustwahrscheinlichkeit ist aber immer noch viel höher, verglichen mit jener, die man mit einer Wegesuche im nicht reduzierten BZSP

erhält, da die Schrittweite "2" bei der Absuche der Ausgänge des Start-KVf erhalten bleibt. Erst das Verfahren der "parallelen Suche" liefert die gleichen Verlustwerte wie die Wegesuche im kompletten BZSP bzw. wie die Simulation auf dem Großrechner. Bei diesem Verfahren werden beide Verknüpfungsergebnisse, das der ungeraden ZL der ML A mit den geraden der ML B und jenes der geraden ZL der ML A mit den ungeraden der ML B parallel gebildet und aus diesen beiden Verknüpfungsergebnissen die durchgehend freie Zeitlage mit der niedrigsten Ordnungsnummer bestimmt. Damit ist sichergestellt, daß alle Ausgänge des Start-KVf unmittelbar aufeinanderfolgend abgesehen werden. Für alle weiteren Betrachtungen wird diese parallele Wegesuche beim quasisymmetrischen Wegezuteilungsprinzip unterstellt.

6.1.5 Wegesuchalgorithmen für die Kombination mehrerer Wegezuteilungsprinzipien

Der in Kap. 6.1.3 besprochene Super-Algorithmus ist ein Wegesuchalgorithmus, bei dem zwei Wegezuteilungsprinzipien angewandt werden. In diesem Abschnitt soll nun die Frage beantwortet werden, ob noch weitere Superpositionen verschiedener Wegezuteilungsprinzipien möglich sind. Dies kann offensichtlich nur dann geschehen, wenn durch diese Superpositionen keine störenden, gegenseitigen Beeinflussungen der Belegungsmuster hervorgerufen werden, d.h. wenn jeder Verbindungstyp einheitlich nach seinem Wegezuteilungsprinzip durchgeschaltet werden kann. Für die dreistufigen PCM-KAN heißt das, daß alle KVf-Internverbindungen nach einem und alle KVf-Externverbindungen nach einem anderen Zuteilungsprinzip behandelt werden. Unter dieser Voraussetzung wären dann sechs Arten von Superpositionen denkbar. Diese sind in der Tabelle 6.1 aufgelistet.

Nr.	Verbindungstyp		Realisierung
	KVf-Intern	KVf-Extern	
1	symmetrisch	beliebig	Super-Algorithmus
2	symmetrisch	quasisymmetrisch	
3	quasisymmetrisch	beliebig	
4	quasisymmetrisch	symmetrisch	
5	beliebig	quasisymmetrisch	
6	beliebig	symmetrisch	

Tabelle 6.1 : Superpositionen von Wegezuteilungsprinzipien bei dreistufigen Koppelanordnungen

Davon scheiden zunächst die zwei Kombinationen in Zeile 1 und 2 aus, welche die symmetrische Wegezuteilung für Internverbindungen vorschreiben. Die Paarungen in den Zeilen 3,4 und 5 enthalten alle für einen Verbindungstyp die quasisymmetrische Wegezuteilung. Sie sind nicht realisierbar, da die beliebig bzw. symmetrisch zugeteilten Verbindungen eine gesicherte quasisymmetrische Wegezuteilung des jeweils anderen Verbindungstyps verhindern.

Nur der Super-Algorithmus, also die Paarung in Zeile 6, erfüllt die Bedingung der gegenseitigen Nichtbeeinflussung. Der symmetrische Belegungszustand der KAn, der bei der symmetrischen Wegezuteilung für KVf-Externverbindungen notwendig ist, wird hier durch die KVf-Internverbindungen nicht gestört, da diese ebenfalls symmetrische Zwischenleitungspaare belegen.

In den vierstufigen ZRRZ-Koppelanordnungen gibt es drei Verbindungstypen, die highwayinternen, die blockinternen und die blockexternen Verbindungen.

Wie bei den dreistufigen KAn scheidet auch hier eine Überlagerung der symmetrischen und quasisymmetrischen Wegezuteilung von vornherein aus, da diese zwei Prinzipien von ihrer Definition

her keine Freiheitsgrade in der Wegeföhrung besitzen und sich somit gegenseitig stören müssen.

Die einzig untersuchenswerten Kombinationen sind jene, welche die HW-Internverbindungen beliebig und die Block-Externverbindungen gemäß der symmetrischen Wegezuteilung durchschalten, weil damit symmetrische Belegungszustände in der KAn erreicht werden können. Aber außerdem müssen hier noch die Block-Internverbindungen betrachtet werden, deren Wege symmetrisch oder beliebig zugeteilt werden könnten. In beiden Zuteilungsarten müßten aber die horizontalen Zwischenleitungen zwischen den beiden mittleren Raumstufen verdoppelt werden, weil sonst bei symmetrischer Wegezuteilung diese Verbindungen unmöglich wären oder bei beliebiger Wegezuteilung für die BL-Internverbindungen störende, unsymmetrische Belegungszustände erlaubt werden müßten.

Aber trotz dieser, zunächst notwendigen, Zwischenleitungsverdopplung sind bei der ZRRZ-KAn keine Super-Algorithmen möglich, da die HW-Internverbindungen diese Doppellinks wieder "halbieren". Dadurch wird eine stets symmetrische Wegezuteilung von Block-Internverbindungen wieder unmöglich. Falls blockinterne Verbindungen beliebig durchgeschaltet würden, erzeugten sie einen unsymmetrischen Belegungszustand, sodaß die beiden Sprechwege von Block-Externverbindungen ebenfalls nicht mehr garantiert symmetrisch zuzuteilen wären. Die Highway-Internverbindungen wären außerdem wieder verlustbehaftet.

Es gibt bei den vierstufigen Koppelanordnungen also keine Superpositionsmethode, bei der die verschiedenen Zuteilungsprinzipien sich nicht gegenseitig stören.

Der einzige Super-Algorithmus ist jener nach Kap. 6.1.3 für die dreistufigen Koppelanordnungen.

6.1.6 Anwendung der Wegesuchalgorithmen bei RZR-Koppelanordnungen

Bei RZR-KAN ist neben der Punkt-Punkt Markierung auch die Punkt-Bündel Markierung möglich (vgl. Kap.2.2.2).
Betreibt man die RZR-KAN mit Punkt-Punkt (PP) Markierung, dann liegen die Start- und Ziel-KVf jeweils fest und die in den obigen Abschnitten am Beispiel der ZRZ-KAN behandelten Wegesuchalgorithmen können ohne prinzipielle Änderung übernommen werden. Bei der Punkt-Bündel (PB) Markierung liegt dagegen nur das Start-KVf und das abgehende Bündel fest. Der Wegesuchprozessor ermittelt deshalb aus dem Verbindungsspeicher eine freie, externe ZL des Highways B und versucht über das nun festliegende Ziel-KVf die Verbindung aufzubauen. Gelingt dies nicht, so werden weitere PP-Versuche unternommen, bis alle freien (max. M) Zeitlagen des HW B berücksichtigt worden sind. Mit der Absuchmethode GN wird dabei der VSP ab der ersten Zeitlage des HW B geordnet abgesucht. Mit der Absuchmethode GZ werden ab der zuletzt erfolgreich belegten externen Zeitlage diese PP-Versuche begonnen.

6.1.7 Anwendung der Wegesuchalgorithmen bei ZRRZ-Koppelanordnungen

Alle in den obigen Abschnitten beschriebenen Wegesuchalgorithmen für die ZRZ-KAN, ausgenommen der Super-Algorithmus, können bei den vierstufigen ZRRZ-KAN grundsätzlich ebenfalls angewendet werden. Die Belegungszustände der Multiplexleitungen zwischen den beiden Raumstufen müssen jedoch in die Wegesuche mit einbezogen werden. Diese sind im sinngemäß erweiterten Belegungszustandsspeicher abgelegt.
Für den Aufbau einer Verbindung wird, wie bei den dreistufigen ZRZ-KAN, für den Hinweg eine interne Zeitlage gesucht, welche im Start- und Ziel-KVf der beiden äußeren Stufen frei ist. Da-

ran anschließend wird durch eine UND-Verknüpfung des entsprechenden Bytes der Zwischen-ML festgestellt, ob diese ZL für den Aufbau des Hinwegs benutzt werden kann.

Wurde bei dem beliebigen Wegesuchalgorithmus ein Hinweg gefunden, so wird in gleicher Art und Weise der Rückweg der Verbindung gesucht. Beim symmetrischen und quasisymmetrischen Wegesuchalgorithmus liegt der zugehörige Rückweg fest und kann sofort belegt werden.

Die Suche des Hinwegs beim symmetrischen und quasisymmetrischen Wegezuteilungsprinzip kann in einem reduzierten BZSP erfolgen. Die Belegungszustände der ML zwischen den beiden R-Stufen sind dann so abgespeichert, daß die durch das Wegezuteilungsprinzip gebotene Redundanz ausgenützt wird. Das heißt, daß bei der symmetrischen Wegezuteilung die Belegungszustände der hier notwendigen, zusätzlichen horizontalen ML nicht abgespeichert sind. Jene Belegungszustände der beiden jeweils zur Mittelsenkrechten symmetrischen, diagonalen ML sind nur einfach abgelegt, da sie ebenfalls jeweils identisch sind. Letzteres gilt auch für die quasisymmetrische Wegezuteilung. Die Belegungszustände der, hier einfach vorhandenen, horizontalen ML sind im reduzierten BZSP so abgespeichert, daß ein quasisymmetrisches Zeitlagenpaar durch ein Bit repräsentiert ist, da die ZL eines Paares immer denselben Zustand besitzen.

Mit den Anschlußpositionen des A- und B-Teilnehmers liegen die ML zwischen der zweiten und dritten Stufe fest. Für das Auslösen einer bestehenden Verbindung ist eine Erweiterung des VSP somit nicht notwendig, da eine bestehende Verbindung mit den darin abgelegten Daten wie bei den ZRZ-KAN wieder ausgelöst werden kann.

6.2 Wegesuchalgorithmen für modulare PCM-Koppelanordnungen

In modularen PCM-Koppelanordnungen erfolgt die Wegesuche dezentral in den Kombinationsvielfachen selbst (vgl. Kap.4.2). Jedes KombVf (Modul) kennt dabei nur den Zustand der eigenen, angeschlossenen Multiplexleitungen und übernimmt, nach dem Prinzip der schrittweisen Durchschaltung, nur die Wegesuche zu der ML, welche zu einem Nachbarmodul führt.

Ist das Nachbarmodul ein Zwischenmodul, so bleibt die Auswahl der zu einem Zwischenmodul führenden ML und die Auswahl der darin benutzten Zwischen-ZL dem Modul selbst überlassen. Andernfalls wählt das Modul nur eine Zeitlage auf der Zwischen-ML zum nachfolgenden Zielmodul.

Diese Einstellinformation, ob das Nachbarmodul ein frei wählbares Zwischenmodul oder ein definiertes Zielmodul ist, erhält das betrachtete Modul über die spätere Sprachzeitlage. Es muß innerhalb einer Rahmendauer auf die freie ZL der weiterführenden Multiplexleitung durchschalten, damit die nachfolgenden Einstellinformationen ihre Module erreichen können. Da die Einstelldauer, d.h. die eigentliche Wegesuchzeit, eines Moduls aber kleiner ist als die Rahmendauer, wird die Verbindungsaufbauzeit durch die Wegesuchzeit nicht beeinflusst. Sie beträgt, gleichgültig um welchen Typ einer modularen KAn es sich handelt, stets ein Mehrfaches der Rahmendauer, und ist abhängig von der Anzahl der im Verbindungsweg liegenden Module.

Betreibt man modulare PCM-Koppelanordnungen mit der symmetrischen Wegezuteilung, so halbiert sich diese Verbindungsaufbauzeit verglichen mit jener bei beliebiger Wegezuteilung. Der Rückweg und der Hinweg führen hier über jeweils dieselben Module, d.h. die Steuerung jedes Moduls kann gleichzeitig beide Sprechwege durchschalten, sodaß beide Sprechwege gleichzeitig, abschnittsweise aufgebaut werden. Bei der beliebigen Wegezuteilung ist dies nicht möglich, da der Hinweg und der Rückweg über unterschiedliche Module führen kann.

7. PROGRAMMLAUFZEITEN DER WEGESUCHALGORITHMEN BEI GEMEINSAMER DURCHSCHALTUNG IN KONVENTIONELLEN PCM - KOPPELANORDNUNGEN

In diesem Kapitel werden die Programmlaufzeiten der verschiedenen Wegesuchalgorithmen vorgestellt. Diese Laufzeiten wurden mit einem Mikroprozessorsystem gemessen, das aus zwei Mikroprozessoren des Typs Motorola M 6800 besteht.

Der eine Prozessor, der sog. Umweltsimulator, erzeugt den Zufallsverkehr und liefert dem Wegesuchprozessor die Verbindungsaufbau- bzw. abbaukommandos. Der Wegesuchprozessor quittiert diese mit Erfolgs- oder Verlustmeldungen, je nach dem ob die gewünschte Verbindung aufgebaut werden konnte oder nicht und meldet, wenn eine bestehende Verbindung ausgelöst wurde. Der Umweltsimulator mißt mit einem programmierbaren Zeitgeber die Zeitdauer, die zwischen einem Kommando und der zugehörigen Meldung verstreicht. Diese Zeitmessung erfolgt getrennt für die erfolgreichen und nicht erfolgreichen Rufe sowie für die Auslöseereignisse.

Nach einem Simulationslauf mit z.B. 25000 Verbindungswünschen, aufgeteilt in fünf Teiltests, sind die Ergebnisse in Tabellenform abgespeichert. Diese werden dann von einem separaten Auswerteprogramm statistisch ausgewertet und ausgedruckt. Die Vertrauensintervalle der Meßwerte werden bei dieser Anzahl von Rufen so klein, daß sie in den folgenden Diagrammen nicht angegeben sind.

Die in den folgenden Abschnitten gezeigten Wegesuchzeiten gelten für die im Kapitel 6 vorgestellten Wegesuchalgorithmen und für die oben angegebene Meßanordnung. Sie sind außerdem noch abhängig vom Programmierstil, sodaß die gemessenen Werte hauptsächlich als Vergleichswerte zwischen den einzelnen Wegesuchalgorithmen aufzufassen sind.

7.1 Dreistufige ZRZ-Koppelanordnungen

In den folgenden Diagrammen sind die Laufzeiten der verschiedenen Wegesuchalgorithmen aufgetragen über der Verkehrsbelastung pro Zeitlage Y/ZL für eine ZRZ-KAN, an welche 16 Highways angeschlossen sind mit jeweils 30 ZL pro Multiplexleitung (Diagr. 7.1 bis 7.7) bzw. jeweils 120 ZL pro ML (Diagr. 7.8 bis 7.14).

Die Verbindungslinien der Simulationenpunkte für den beliebigen Wegesuchalgorithmus sind strichpunktiert, für den symmetrischen Wegesuchalgorithmus gestrichelt, für den Super-Algorithmus punktiert und für den quasisymmetrischen Wegesuchalgorithmus durchgezogen eingetragen. Dick gezeichnet sind jeweils jene Ergebnisse, die mit dem reduzierten Abbild des BZSP erhalten wurden. Die Ergebnisse der Wegesuchalgorithmen, welche den nicht reduzierten BZSP, also die zweiseitige äquivalente RVf-Darstellung als dessen Abbild, benutzen, sind dünn gezeichnet.

Diese Diagramme gelten auch für ZRZ-Koppelanordnungen mit einer anderen Anzahl von Highways, da die Wegesuchzeiten für einen Algorithmus nur von der Verkehrsbelastung, der Aufweitung und der Absuchmethode des jeweiligen Verbindungsgraphen abhängen. Die Highwaynummern werden nur zur Adreßrechnung im Verbindungsspeicher und Belegungszustandsspeicher (vgl. Gl. 6.1 und 6.2) benötigt.

Diagramm 7.1 zeigt die Wegesuchzeiten, die sich mit der GN-Absuche im Mittel für die erfolgreichen Rufe und für die Verlustrufe ergeben, für den Fall, daß die KAN nicht aufgeweitet ist. Im Diagramm 7.2 sind diejenigen Zeiten gezeichnet, die im Mittel ein Auslöseereignis erfordert.

Aus Diagramm 7.1 und 7.2 ersieht man, daß die Wegesuche mit dem reduzierten BZSP weniger Zeit beansprucht als mit dem nicht reduzierten Abbild des BZSP, da hier weniger Adreßberechnungen und Maskierungsoperationen durchzuführen sind.

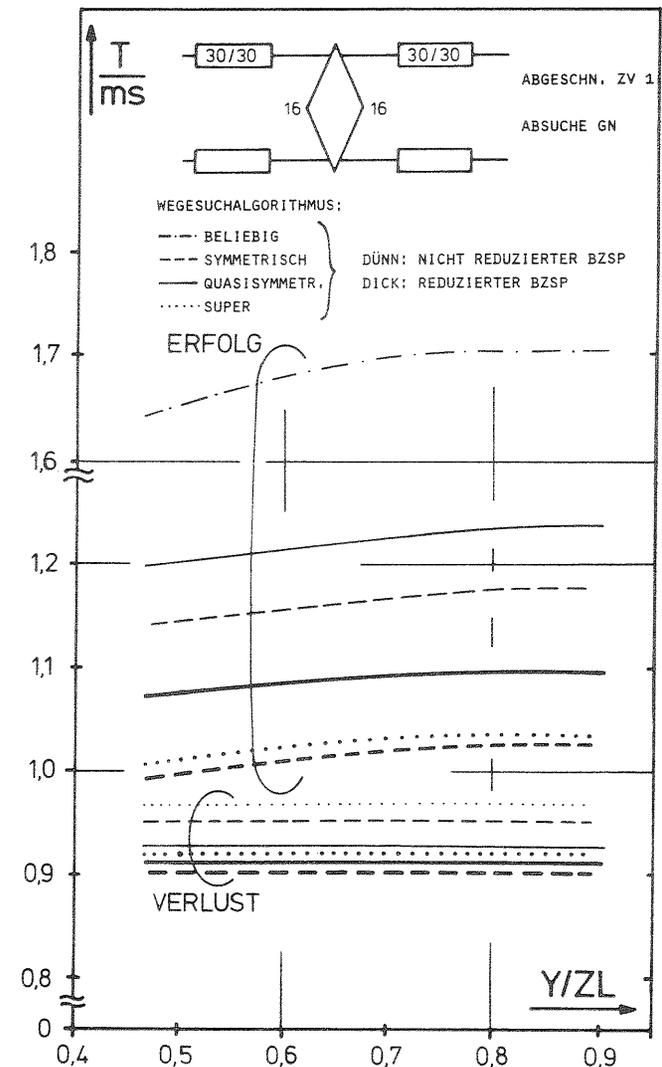


Diagramm 7.1: Vergleich der Wegesuchzeiten für erfolgreiche Rufe und Verlustrufe

Die Wegesuche im reduzierten BZSP für die erfolgreichen Rufe benötigt mit dem quasisymmetrischen Wegesuchalgorithmus wegen der parallelen Suche mehr Zeit als mit dem symmetrischen bzw. Super-Algorithmus, welche sich untereinander kaum unterscheiden.

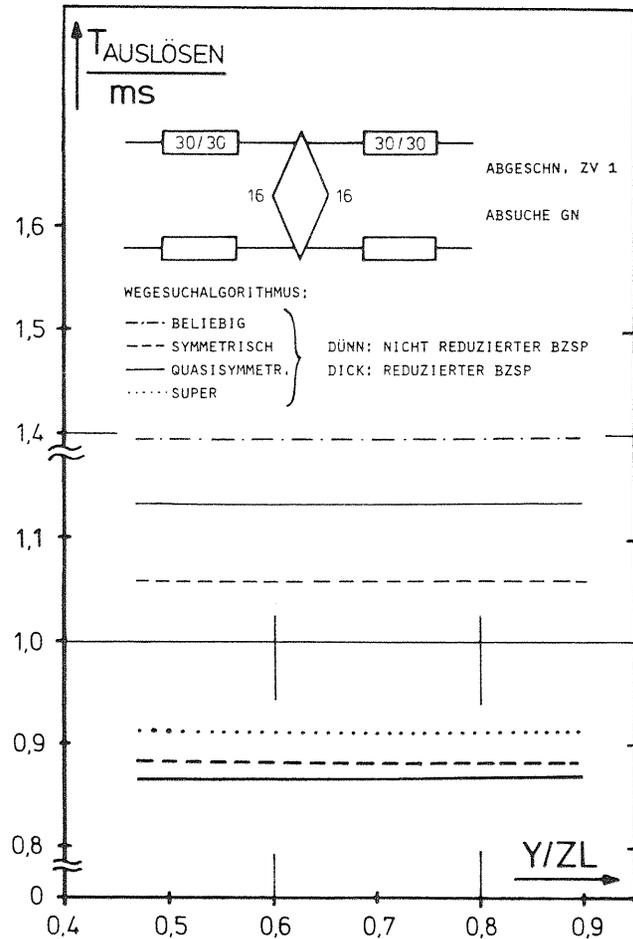


Diagramm 7.2: Vergleich der Zeiten für Auslöseereignisse

Der Wegesuchalgorithmus für die beliebige Wegezuteilung benötigt die meiste Zeit, da beide Sprechwege gesondert gesucht werden. Dies kann außerdem nur im nicht reduzierten BZSP erfolgen. Sucht man den Hinweg einer Verbindung bei der quasisymmetrischen Wegezuteilung ebenfalls im nicht reduzierten BZSP, so dauert dies länger als bei der symmetrischen Wegesuche, weil für den zugeordneten Rückweg eine zweite Maske gebildet werden muß. Die Wegesuchzeiten für die erfolgreichen Rufe, unabhängig davon ob sie im reduzierten oder nicht reduzierten BZSP ermittelt werden, nehmen mit steigender Verkehrsbelastung zu. Dies liegt daran, daß bei höherer Belastung im Mittel weniger freie ZL zur Verfügung stehen und deshalb im Mittel länger gesucht werden muß, um eine solche zu finden. Dagegen sind die Zeiten für die Verlustrufe und für die Auslöseereignisse für jeden Belastungswert gleich groß. Sie hängen nur vom angewandten Wegesuchalgorithmus ab.

Der Vergleich von Diagramm 7.1 und 7.2 zeigt außerdem, daß für den Fall des reduzierten BZSP die Auslöseereignisse die geringsten und die erfolgreichen Rufe die längsten Programmlaufzeiten beanspruchen. Diese Reihenfolge ergibt sich, weil bei den Auslöseereignissen nur definiert zugegriffen wird. Bei den Verlustrufen wird der gesamte Verbindungsgraph byteweise abgesucht. Bei den erfolgreichen Rufen muß innerhalb eines Bytes noch die interne Zeitlage gesucht werden.

Findet die Wegesuche im nicht reduzierten BZSP statt, so tauschen die Auslöseereignisse und die Verlustrufe ihre Positionen aus. Der Grund dafür ist, daß die Zeiten der Verlustrufe nur minimal zunehmen, durch den doppelten Eintrag in den BZSP sich die Zeiten der Auslöseereignisse dagegen stark erhöhen. Für die quasisymmetrische und beliebige Wegezuteilung müssen sogar unterschiedliche Masken erzeugt werden, sodaß dieser Effekt nochmals verstärkt wird.

Den Einfluß des Aufweitungsfaktors zeigt das folgende Diagramm 7.3. Darin sind für alle drei Ereignistypen (Erfolgs-, Verlust- und Auslöseereignisse) die Programmlaufzeiten der Wegesuchalgorithmen, basierend auf dem reduzierten BZSP, dargestellt.

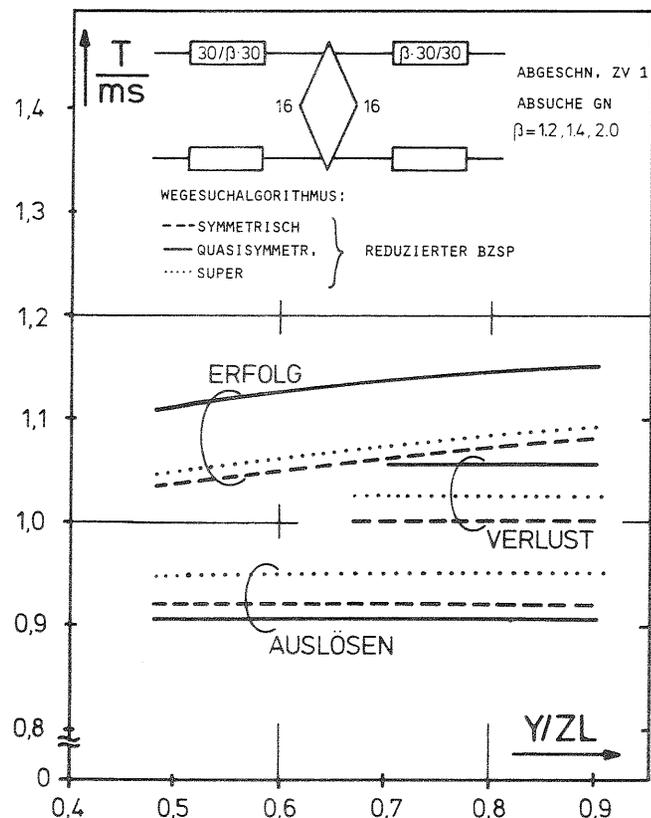


Diagramm 7.3: Wegesuchzeiten mit dem reduzierten Belegungszustandsspeicher für unterschiedlich aufgeweitete ZRZ-Koppelanordnungen

Diejenigen Wegesuchalgorithmen, die den nicht reduzierten BZSP benutzen, werden nicht mehr betrachtet, da sie allgemein schlechtere Werte liefern.

Die eingezeichneten Zeiten gelten für ZRZ-Koppelanordnungen mit 36, 42 und 60 internen Zeitlagen, mit Ausnahme jener für die Verlustrufe. Diese gelten nur für die auf 36 Zeitlagen aufgeweitete

Struktur, weil die KAN mit 60 ZL blockierungsfrei ist und weil für jene mit 42 ZL die Verlustwahrscheinlichkeit in Verbindung mit der GN-Absuche vernachlässigbar gering ist, sodaß Verlustereignisse nicht gemessen werden konnten.

Der Aufweitungsfaktor $\beta > 1$ ändert die o.a. Reihenfolge der Wegesuchzeiten nicht. Verglichen mit der nicht aufgeweiteten KAN (Diagr. 7.1 und 7.2) erhält man etwas erhöhte Werte, da die Adreßberechnungen mehr Zeit benötigen. Ein weiterer Grund ist, daß mehr Bytes im Belegungsmuster des reduzierten BZSP abzusuchen sind. Wird jedoch, mit zunehmender Aufweitung und bei festgehaltener Belastung, die Verlustwahrscheinlichkeit vernachlässigbar gering, so bleibt die Anzahl der abzusuchenden Bytes im Mittel konstant und damit auch die Wegesuchzeiten der erfolgreichen Rufe.

Die Diagramme 7.4, 7.5, 7.6 und 7.7 zeigen die benötigten Wegesuchzeiten, wenn die Absuchmethode GZ angewandt wird. Diese wirkt sich auf die Auslöseereignisse nicht aus. Deren Zeiten sind, wie bei GN, am niedrigsten und unabhängig von der Verkehrsbelastung, da keine Suchvorgänge durchzuführen sind. Die Suchzeiten der erfolgreichen Rufe dagegen sind bei nicht bzw. schwach aufgeweiteten KAN eine deutliche Funktion der Belastung. Diese Abhängigkeit wird aber mit zunehmender Aufweitung immer schwächer. Für ein blockierungsfreies Koppelnetz kann sie vernachlässigt werden. Verglichen mit der Absuchmethode GN erhält man bei den stark aufgeweiteten Koppelanordnungen sogar kürzere Suchzeiten, was auf die gleichmäßigere Verteilung der Belegungen auf die Zwischenleitungen zurückzuführen ist.

Die Zeiten für Verlustrufe sind bei der GZ-Absuche ebenfalls unabhängig von der Belastung, die Werte liegen jedoch erwartungsgemäß über jenen, die mit der GN-Absuche erreicht werden. Dies wird durch den zusätzlichen Verwaltungsaufwand des GZ-Zeigers (vgl. Kap.6.1) verursacht, der bei jedem der byteweisen Zugriffe auf den vollständigen Verbindungsgraphen aktualisiert werden

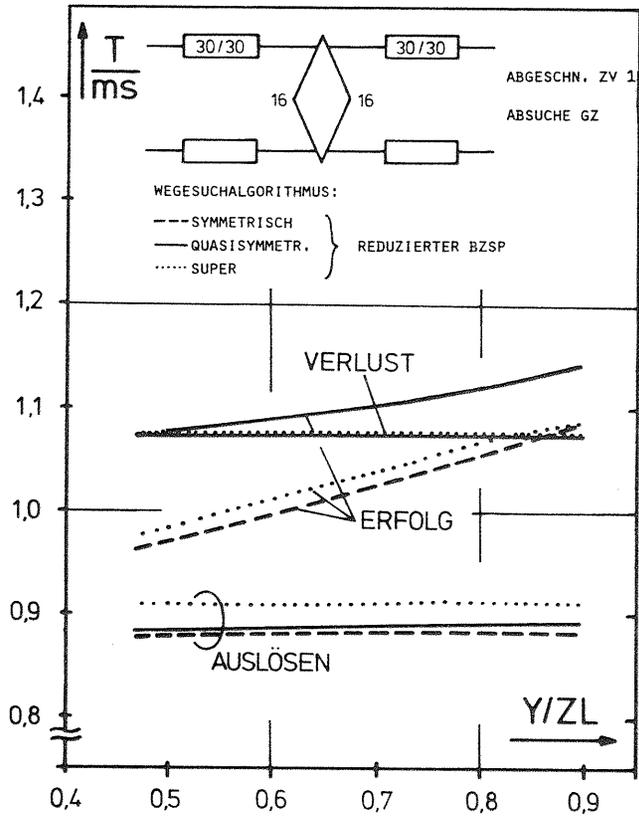


Diagramm 7.4: Vergleich der Wegesuchzeiten mit dem reduzierten Belegungszustandsspeicher für die GZ-Absuche

muß. Mit zunehmender Aufweitung nimmt die Wegesuchzeit der Verlustrufe zu. Der Anteil der Verlustrufe nimmt jedoch ab, weil mit zunehmender Aufweitung die Verlustwahrscheinlichkeit absinkt, sodaß der angewandte Algorithmus nur sehr selten diese langen Laufzeiten benötigt.

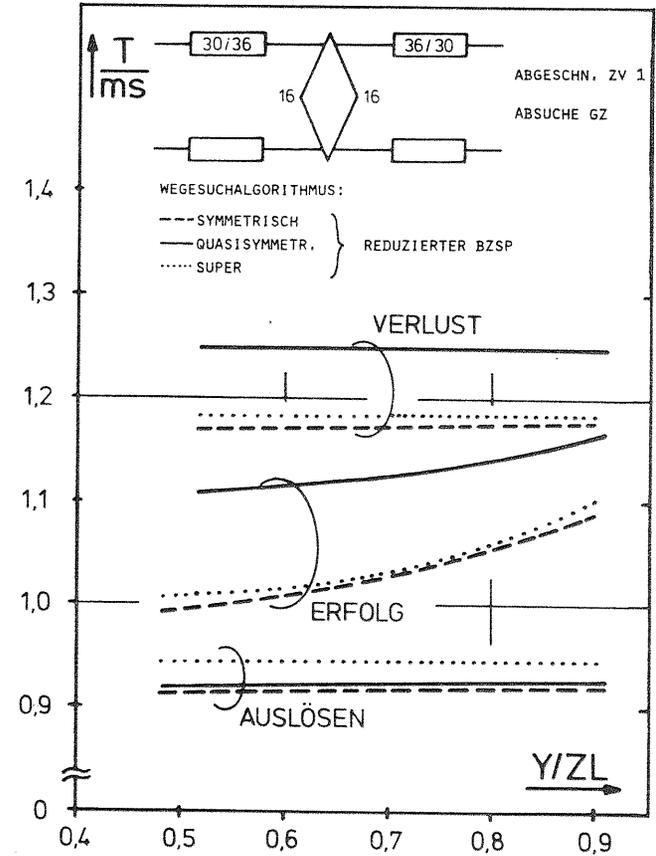


Diagramm 7.5: Vergleich der Wegesuchzeiten mit dem reduzierten Belegungszustandsspeicher für die GZ-Absuche

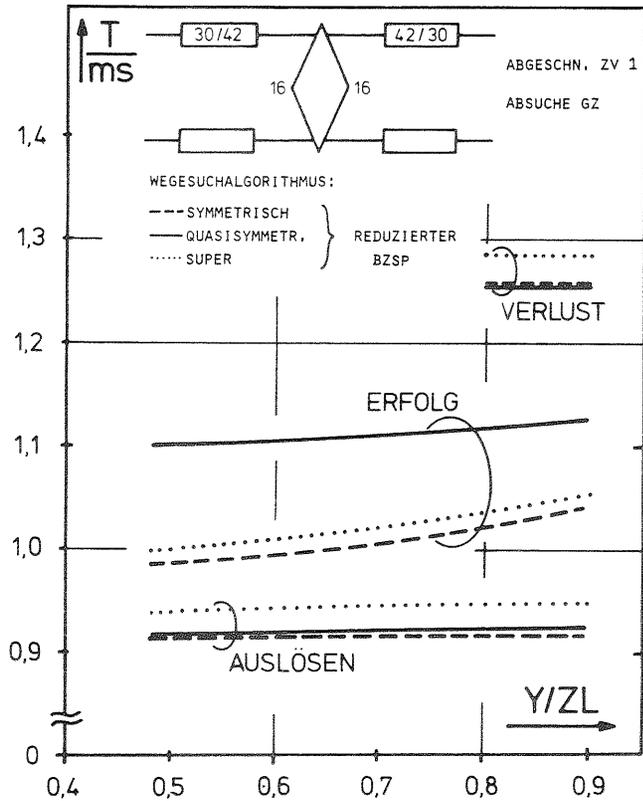


Diagramm 7.6: Vergleich der Wegesuchzeiten mit dem reduzierten Belegungszustandsspeicher für die GZ-Absuche

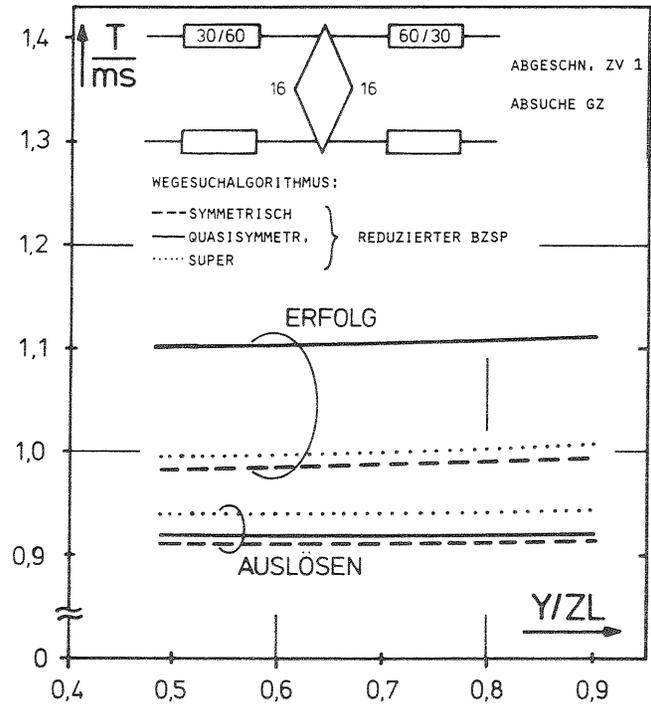


Diagramm 7.7: Vergleich der Wegesuchzeiten mit dem reduzierten Belegungszustandsspeicher für die GZ-Absuche

Erhöht man die Anzahl der Zeitlagen pro Multiplexleitung auf $M = 120$, so ergeben sich die Wegesuchzeiten, die in den Diagrammen 7.8 bis 7.14 dargestellt sind.

Diagramm 7.8 zeigt für eine nicht aufgeweitete ZRZ-KAN die Wegesuchzeiten der erfolgreichen Rufe und der Verlustrufe für den Fall, daß die GN-Absuche des Verbindungsgraphen angewandt wird. Man sieht, daß mit dem reduzierten BZSP auch hier die kürzeren Zeiten erreicht werden.

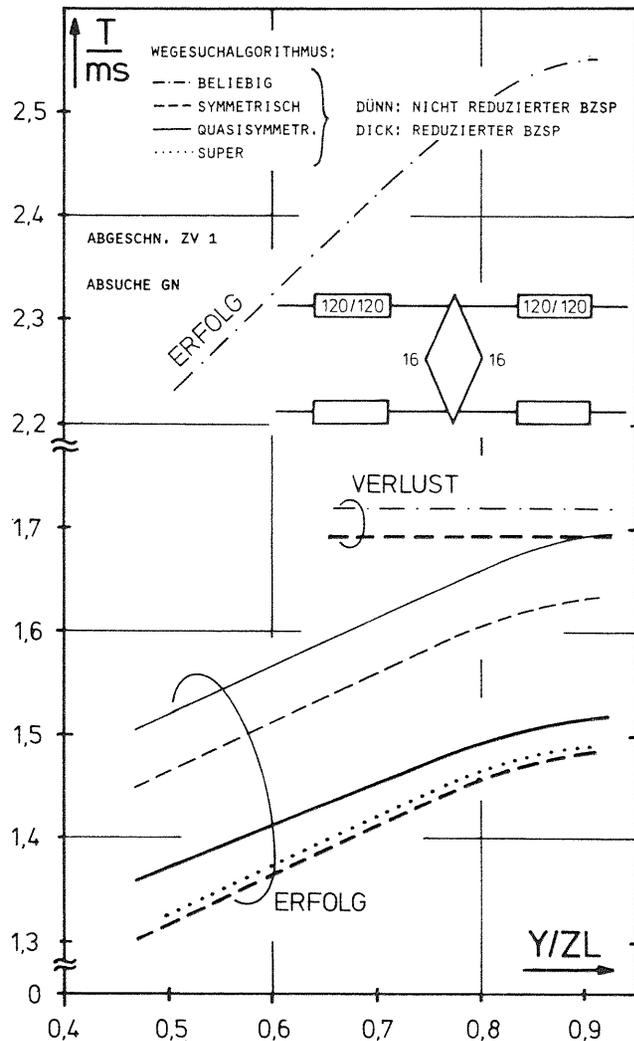


Diagramm 7.8: Vergleich der Wegesuchzeiten für die erfolgreichen Rufe mit dem Absuchverfahren GN

Ein Vergleich mit Diagramm 7.1 zeigt, daß die erfolgreichen Rufe wesentlich längere Wegesuchzeiten benötigen, welche zusätzlich noch stärker von der Verkehrsbelastung abhängen. Die Erhöhung der Zeitlagenzahl bewirkt außerdem, daß die Verlustrufe jetzt mehr Zeit beanspruchen als die erfolgreichen Rufe. Dies kommt daher, daß die byteweise Absuche des gesamten, relativ großen Verbindungsgraphen länger dauert, als die Absuche der mittleren Anzahl an Bytes zusammen mit der sich anschließenden Bestimmung der Einstellinformationen. Eine Ausnahme hiervon bildet der beliebige Wegesuchalgorithmus, der extrem lange Wegesuchzeiten beansprucht.

Im Diagramm 7.8 sind der Übersichtlichkeit halber nur die Verlustzeiten mit dem symmetrischen und dem beliebigen Wegesuchalgorithmus als Grenzkurven eingetragen.

Die Zeiten der Auslöseereignisse sind im Diagramm 7.9 eingezeichnet. Sie sind, unabhängig von der Belastung, mit dem reduzierten BZSP wiederum kleiner, und wesentlich kleiner als diejenigen der erfolgreichen Rufe bzw. Verlustrufe (vgl. Diagramm 7.8).

Für die auf 140 interne Zeitlagen aufgeweitete, bzw. für die blockierungsfreie KAN mit 240 ZL, ergeben sich bei der GN-Absuche die im Diagramm 7.10 dargestellten Ergebnisse. Eine Aufweitung der KAN bewirkt eine kleine Erhöhung der Wegesuchzeiten, sie hat jedoch keinen Einfluß auf deren Belastungsabhängigkeit.

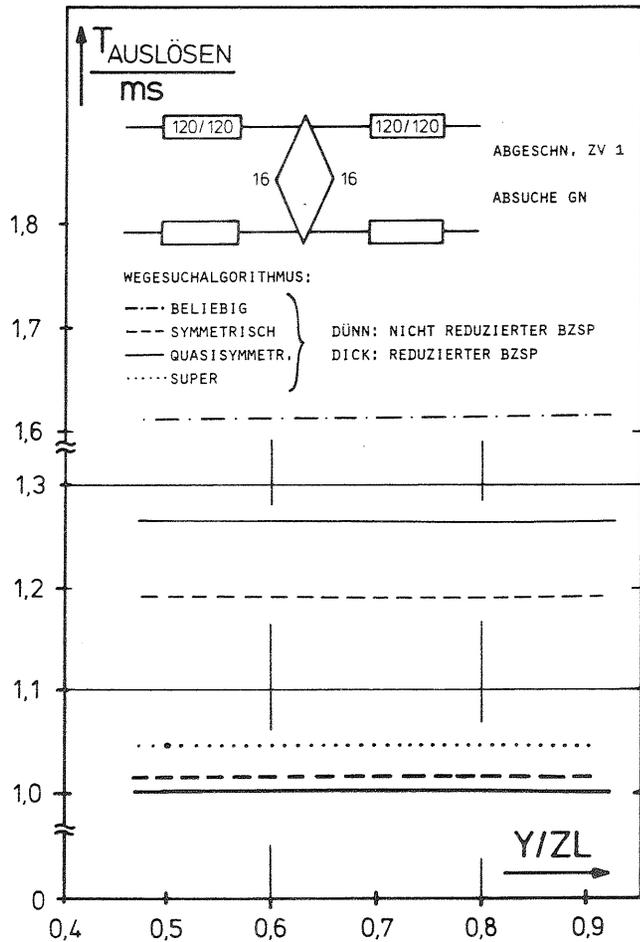


Diagramm 7.9: Vergleich der Zeiten der Auslöseereignisse im reduzierten und nicht reduzierten Belegungszustandsspeicher mit dem Absuchverfahren GN

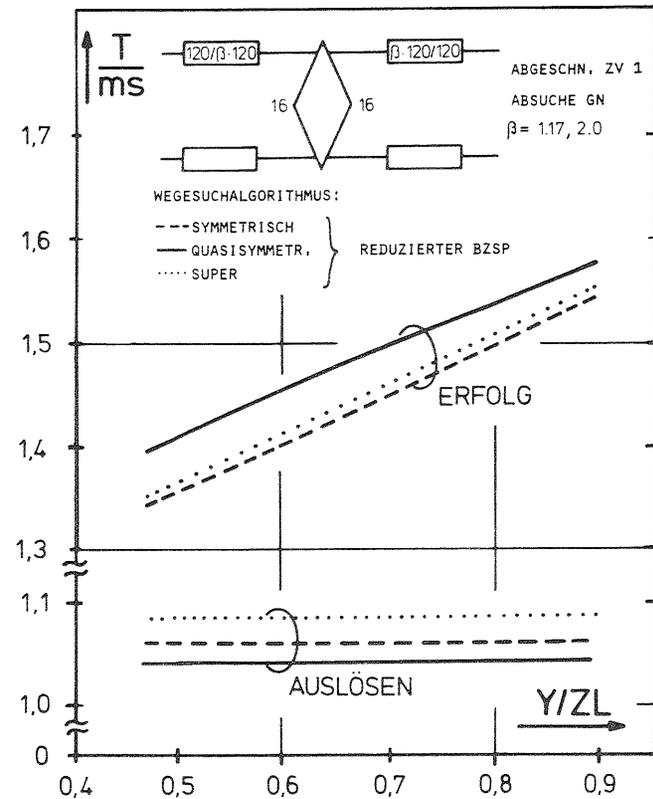


Diagramm 7.10: Vergleich der Zeiten für die erfolgreichen Rufe und für die Auslöseereignisse bei unterschiedlicher Aufweitung der ZRZ-Koppelanordnung

Bei der GZ-Absuche der Verbindungsgraphen dagegen bewirkt die Vergrößerung des Aufweitungsfaktors, wie die Diagramme 7.11 bis 7.14 zeigen, eine Verringerung der Belastungsabhängigkeit der Suchzeiten für die erfolgreichen Rufe.

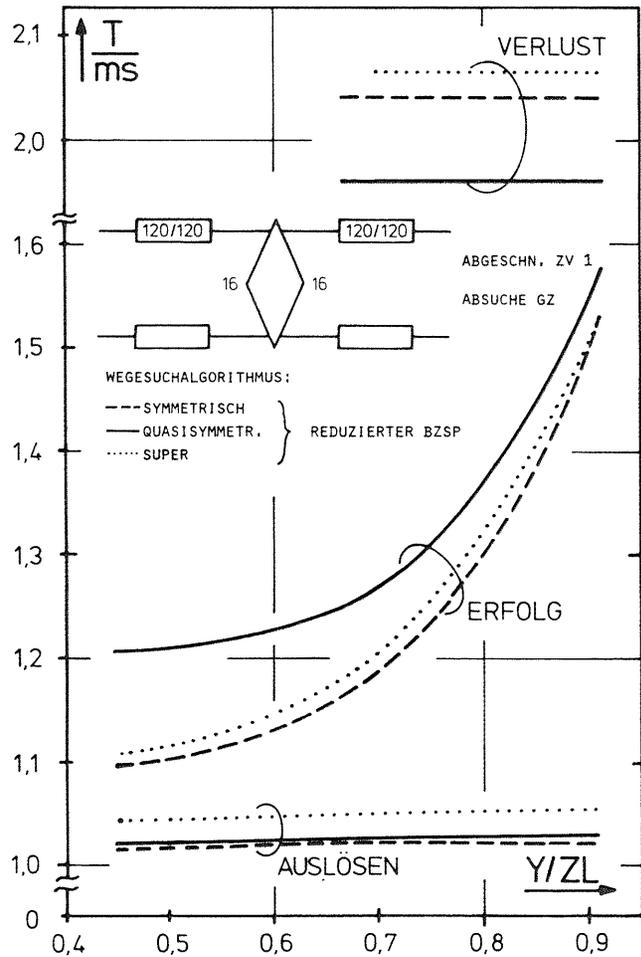


Diagramm 7.11: Vergleich der Wegesuchzeiten mit dem reduzierten Belegungszustandsspeicher für die GZ-Absuche

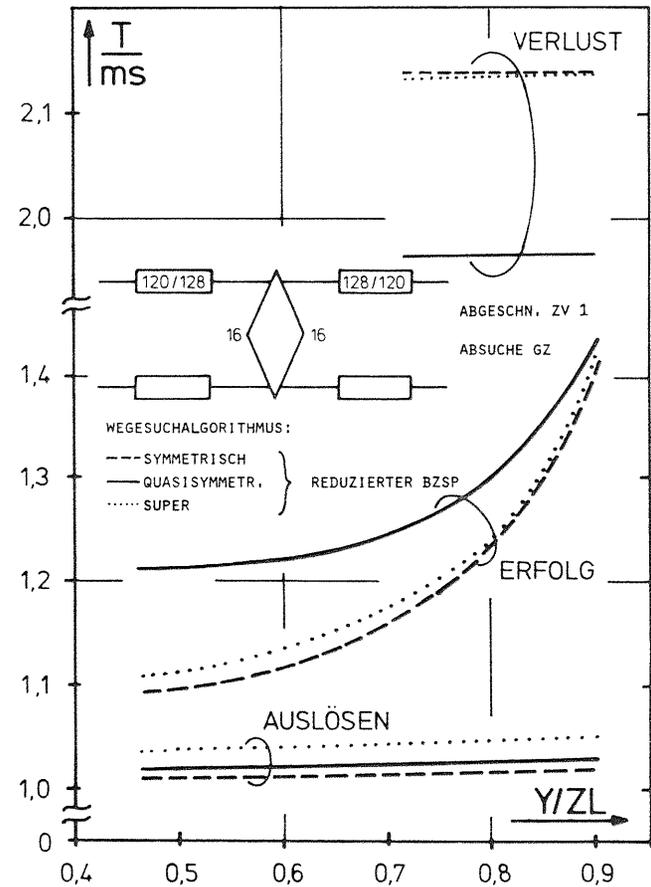


Diagramm 7.12: Vergleich der Wegesuchzeiten mit dem reduzierten Belegungszustandsspeicher für die GZ-Absuche

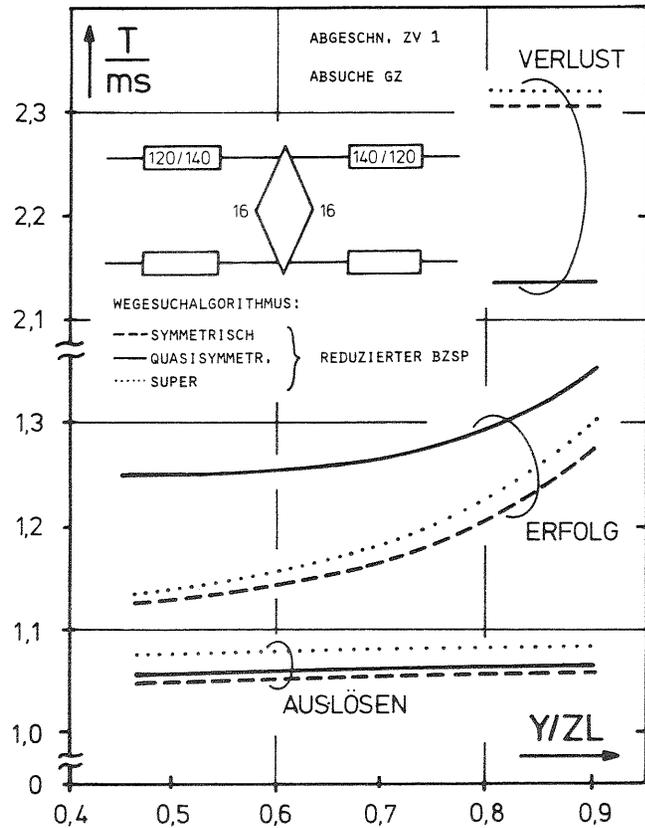


Diagramm 7.13: Vergleich der Wegesuchzeiten mit dem reduzierten Belegungszustandsspeicher für die GZ-Absuche

Deren Werte sind, vergleicht man sie mit jenen der Absuchart GN, deutlich geringer.

Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Absuchmethode GZ zu einer gleichmäßigen Verteilung der Belegungen der internen ZL führt und somit durchgehend freie Zeitlagen schneller gefunden werden.

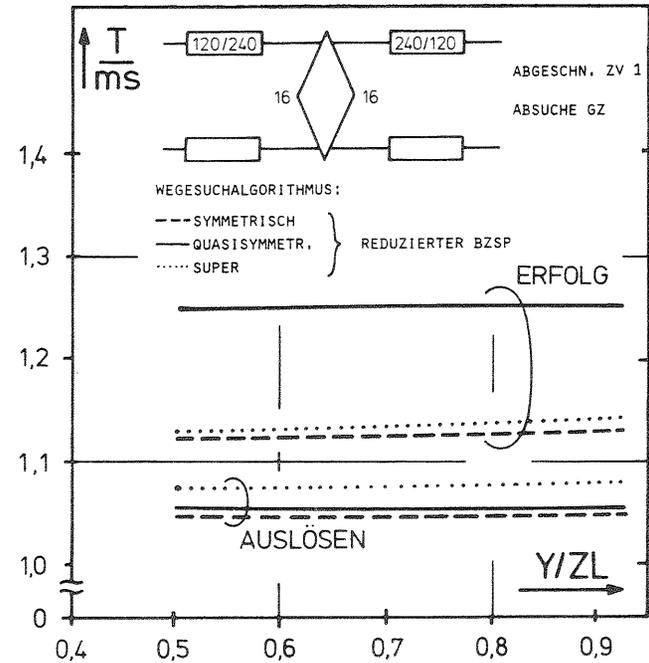


Diagramm 7.14: Vergleich der Wegesuchzeiten mit dem reduzierten Belegungszustandsspeicher für die GZ-Absuche

Die Auslöseereignisse benötigen die kürzeste Zeit, die Verlustrufe, ebenfalls belastungsunabhängig, die längste Zeit. Bei einem entsprechenden Aufweitungsfaktor treten Verluste jedoch sehr selten auf, sodaß diese hohen Werte der Verlustzeiten keinen großen Einfluß auf die Belastung des Wegesuchprozessors haben.

7.2 Dreistufige RZR-Koppelanordnungen

Eine RZR-KAN kann mit Punkt-Punkt Markierung oder mit Punkt-Bündel Markierung betrieben werden (vgl. Kap. 6.1.6).

Für den Fall der PP-Markierung ergeben sich die Wegesuchalgorithmen für die RZR-Koppelanordnung aus jenen der ZRZ-KAN, indem man nur folgende Strukturparameter ersetzt:

- h_2 durch M die Anzahl der angeschlossenen Highways durch die Zeitlagenzahl
- M durch h_1 die Anzahl der Zeitlagen durch die Anzahl der Highways
- M^* durch j_1 die Anzahl der internen Zeitlagen durch die Anzahl der Sprachspeicher

Mit dieser einfachen Ersetzung folgt dann, daß die Eigenschaften und Programmlaufzeiten der Wegesuchalgorithmen für eine RZR-KAN, die mit PP-Markierung betrieben wird, dieselben sind wie für die ZRZ-KAN. Insbesondere heißt dies, daß die Wegesuchzeiten unabhängig von der Anzahl der Zeitlagen je Multiplexleitung sind.

Mit den folgenden Diagrammen 7.15 bis 7.18 werden die Eigenschaften der Punkt-Bündel Markierung näher untersucht. Dazu wird eine Koppelanordnung betrachtet, an welche 16 Highways mit 30 bzw. 120 Zeitlagen pro ML angeschlossen sind. Die KAN wird mit den Absuchverfahren GN und GZ betrieben.

Die Diagramme zeigen die Wegesuchzeiten der erfolgreichen Rufe für verschiedene Aufweitungsfaktoren der KAN, aufgetragen über der Belastung je Zeitlage. Die Diagramme enthalten keine Zeiten für Verlust- und Auslöseereignisse. Diejenigen der Auslöseereignisse können aus den entsprechenden Diagrammen der ZRZ-KAN entnommen werden. Die Zeiten der Verlustereignisse liegen generell im Bereich von 3 bis 5 ms bei 30 ZL je Multiplexleitung bzw. zwischen 9 und 12 ms bei 120 ZL pro ML, je nach Aufweitungsfaktor und angewandtem Wegesuchalgorithmus. Sie wurden in den Diagrammen deshalb nicht dargestellt.

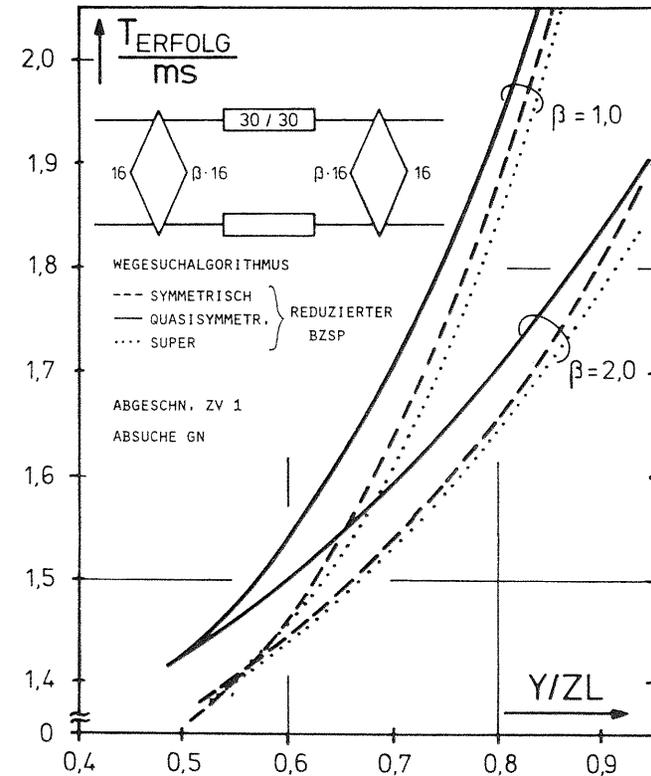


Diagramm 7.15: Vergleich der Wegesuchzeiten mit dem reduzierten Belegungszustandsspeicher für die GN-Absuche (Punkt-Bündel Markierung)

Für PB-Markierung und die Absuchmethode GN zeigen die Diagramme 7.15 und 7.17 - die Diagramme 7.16 und 7.18 für die Absuchart GZ - die Wegesuchzeiten der verschiedenen Wegesuchalgorithmen, basierend auf dem reduzierten Abbild des Belegungszustandsspeichers.

Aus diesen Diagrammen ersieht man, daß die PB-Markierung zeitintensiver ist als die PP-Markierung und daß sie sehr stark mit der Belastung ansteigt. Der Grund dafür ist, daß sich die Punkt-

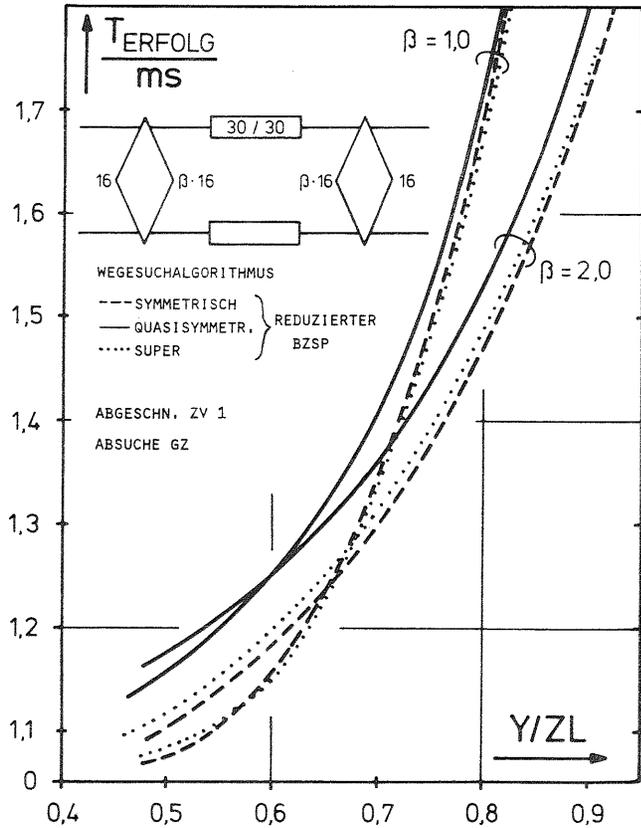


Diagramm 7.16 Vergleich der Wegesuchzeiten mit dem reduzierten Belegungszustandsspeicher für die GZ-Absuche (Punkt-Bündel Markierung)

Bündel Markierung zusammensetzt aus mehrfachen PP-Markierungen zu freien Zeitlagen, die aus dem Verbindungsspeicher mit GN bzw. GZ gesucht werden müssen.

Erhöht man die Aufweitung, so erniedrigt sich die PP-Verlustwahrscheinlichkeit und damit auch die notwendige Anzahl der PP-Markierungen. Dies ist der Grund, weshalb die Wegesuchzeiten mit ansteigendem Aufweitungsfaktor abnehmen.

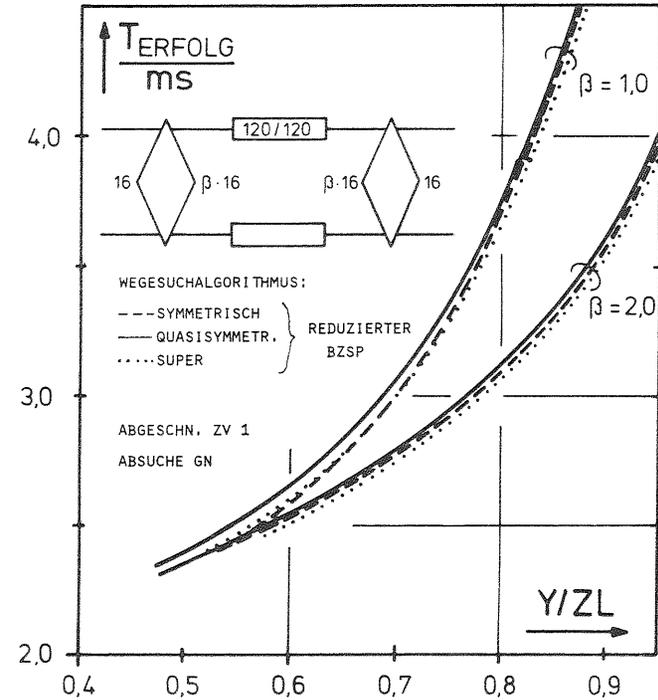


Diagramm 7.17: Vergleich der Wegesuchzeiten mit dem reduzierten Belegungszustandsspeicher für die GN-Absuche (Punkt-Bündel Markierung)

In den Diagrammen sind, als Grenzkurven, nur die Wegesuchzeiten für die Aufweitungsfaktoren $\beta=1$ und $\beta=2$ eingetragen. Die Wegesuchzeiten des z.B. mit $\beta=1.25$ auf 20 Zeitlagenvielfache aufgeweiteten Systems wurden aus zeichnerischen Gründen weggelassen. Sie liegen sehr nahe bei den Kurven für die blockierungsfreie Koppelanordnung.

Vergleicht man die Absuchverfahren GN und GZ miteinander, so ergibt sich, daß mit GZ bei kleinen Belastungen weniger PP-Veruche notwendig sind und somit weniger Wegesuchzeit beansprucht wird.

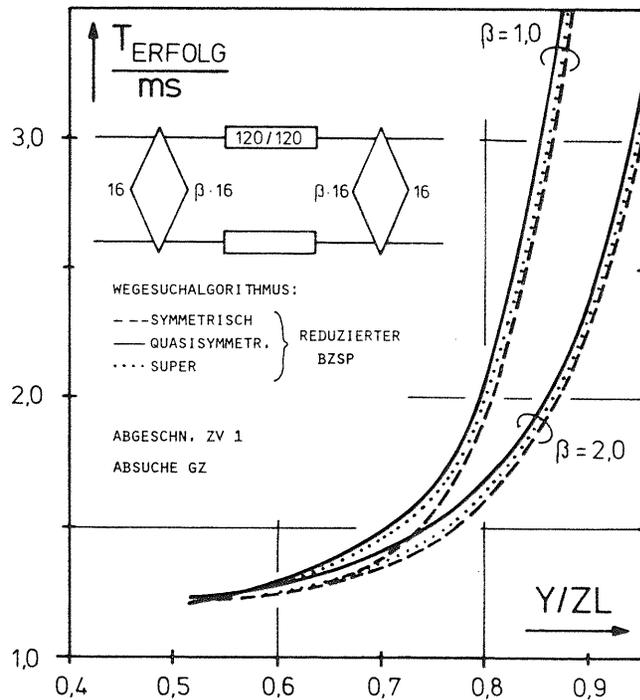


Diagramm 7.18: Vergleich der Wegesuchzeiten mit dem reduzierten Belegungszustandsspeicher für die GZ-Absuche (Punkt-Bündel Markierung)

Bei hohen Belastungen dagegen sind die Wegesuchzeiten bei GN und GZ vergleichbar groß. Dies ist durch die ausgeprägte Belastungsabhängigkeit der GZ-Absuche bedingt, die durch die zusätzliche Verwaltung des GZ-Zeigers für den Verbindungsspeicher hervorgerufen wird.

7.3 Vierstufige ZRRZ-Koppelanordnungen

Eine ZRRZ-Koppelanordnung kann, wie auch eine ZRZ-Koppelanordnung, nur mit PP-Markierung betrieben werden, da ein ankommendes bzw. abgehendes Bündel an jeweils ein KvF in der äußeren Stufe angeschlossen ist.

Im Gegensatz zu den ZRZ-Koppelanordnungen, können die ZRRZ-Strukturen jedoch nur mit dem symmetrischen und quasisymmetrischen Wegesuchalgorithmus betrieben werden, falls man die Wegesuche im reduzierten Abbild des Belegungszustandsspeichers durchführt.

Den Super-Algorithmus, wie er bei den dreistufigen Strukturen zur Wegesuche benutzt werden kann, gibt es hier nicht (vgl. Kap.6.1.5).

Der beliebige Wegesuchalgorithmus ist nur mit dem nicht reduzierten Abbild des BZSP anwendbar. Dies wird aber nicht weiter betrachtet, da man damit lange Programmlaufzeiten erhält.

In die Diagramme 7.19 und 7.20 bzw. 7.21 und 7.22 sind die Wegesuchzeiten eingetragen, die mit dem reduzierten BZSP für 30 ZL je Multiplexleitung bzw. 120 Zeitlagen je ML benötigt werden. Dabei wird jeweils zwischen den Absuchverfahren GN und GZ unterschieden.

Diese Diagramme zeigen, vergleicht man sie mit den entsprechenden der ZRZ-Koppelanordnungen, daß die prinzipiellen Aussagen, die dort gemacht wurden, auf die vierstufigen KAN übertragen werden können. Unterschiedlich ist nur, daß die Steuerung einer vierstufigen KAN für die Bearbeitung eines Ereignisses im Mittel mehr Zeit benötigt. Dies ist durch die Zwischen-Multiplexleitungen zwischen den beiden Raumstufen bedingt, die zusätzliche Adreßberechnungen und Maskierungsoperationen erfordern.

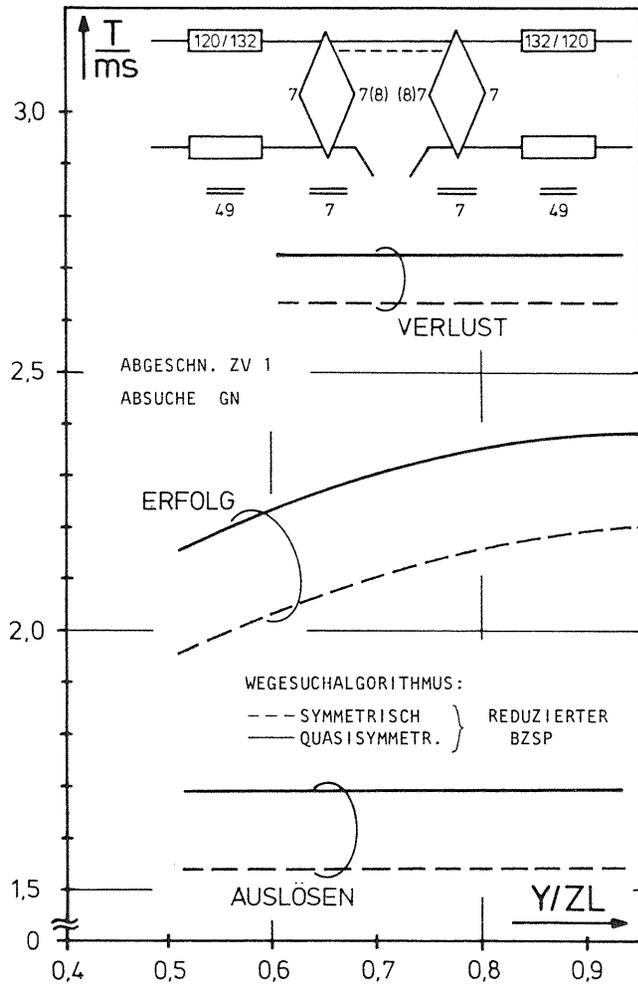


Diagramm 7.21: Vergleich der Wegesuchzeiten mit dem reduzierten Belegungszustandsspeicher für die GN-Absuche. Die zusätzliche, horizontale Multiplexleitung zwischen den Raumstufen wird beim symmetrischen Wegesuchalgorithmus benötigt.

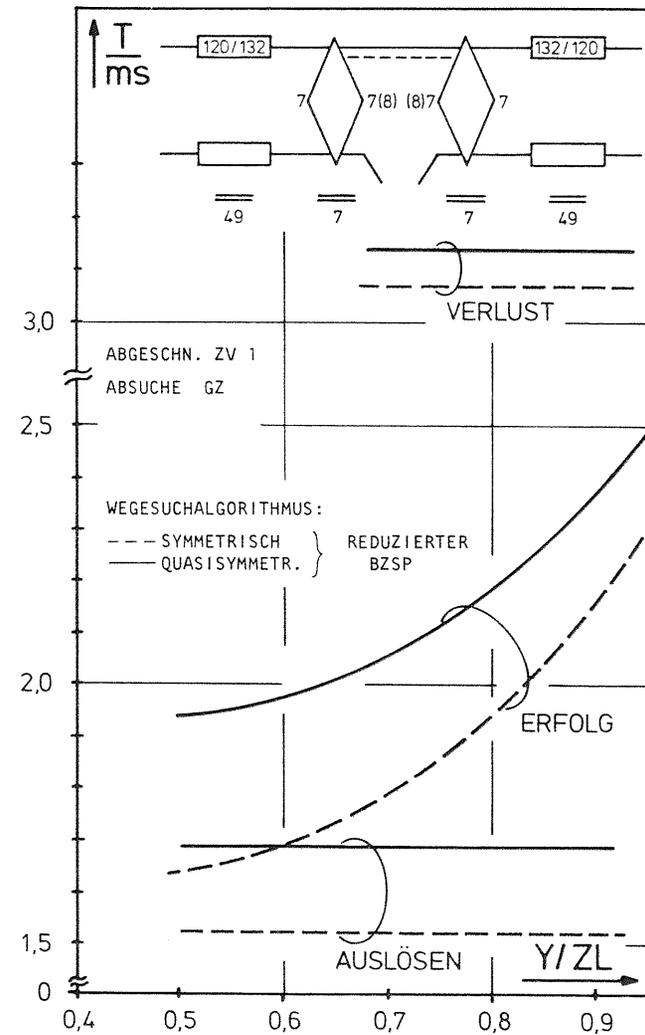


Diagramm 7.21: Vergleich der Wegesuchzeiten mit dem reduzierten Belegungszustandsspeicher für die GZ-Absuche. Die zusätzliche, horizontale Multiplexleitung zwischen den Raumstufen wird beim symmetrischen Wegesuchalgorithmus benötigt.

Des weiteren zeigen diese Diagramme, daß, wie bei den ZRZ-KAN, die Auslöseereignisse die niedrigsten und die Verlustrufe die längsten Zeiten benötigen und daß beide unabhängig von der Verkehrsbelastung sind. Die Zeiten der erfolgreichen Rufe, deren Sprechwege mit dem quasisymmetrischen Wegesuchalgorithmus gesucht werden, liegen a.G. der parallelen Suche (vgl. Kap.6.1.4) über denjenigen Suchzeiten, die mit dem symmetrischen Wegesuchalgorithmus benötigt werden.

Wie Diagramm 7.19 zeigt, wirkt sich mit dem Absuchverfahren GN eine Vergrößerung des Aufweitungsfaktors nicht auf die Programmlaufzeiten der drei Ereignistypen aus. Beim Absuchverfahren GZ jedoch (Diagramm 7.20), bewirkt eine Erhöhung des Aufweitungsfaktors, wie bei den ZRZ-KAN, eine Verringerung der Belastungsabhängigkeit der Suchzeiten der erfolgreichen Rufe.

Die Zeiten der Auslöseereignisse werden dadurch nicht beeinflusst, diejenigen der Verlustrufe hier ebenfalls nicht, weil der Verbindungsgraph bei diesen beiden Aufweitungsfaktoren dieselbe Anzahl an Bytes umfaßt.

Erhöht man die Anzahl der Zeitlagen je ML auf 120, so zeigt ein Vergleich der Diagramme 7.21 und 7.22, daß man mit dem Absuchverfahren GZ deutlich kürzere Suchzeiten für die erfolgreichen Rufe erhält, verglichen mit jenen, die mit der Absuchmethode GN gemessen wurden.

Durch den zusätzlichen Verwaltungsaufwand des GZ-Zeigers verursacht, liegen die Zeiten der Verlustrufe für das Absuchverfahren GZ über jenen, die mit der GN-Absuche erreicht werden.

Die Zeiten der Auslöseereignisse werden vom angewandten Absuchverfahren nicht beeinflusst.

Ein Vergleich mit den Diagrammen 7.19 und 7.20 ergibt, daß die Erhöhung der Zeitlagenzahl je Multiplexleitung einen erhöhten Zeitbedarf zur Folge hat.

8. BESTIMMUNG DER PUNKT - PUNKT VERLUSTWAHRSCHEINLICHKEIT IN PCM - KOPPELANORDNUNGEN MIT GEMEINSAMER DURCHSCHALTUNG

Ein Maß für die Verkehrsgüte einer Koppelanordnung ist ihre Verlustwahrscheinlichkeit als Funktion der Struktur, Betriebsweise und ihrer Verkehrsbelastung. Diese Verlustwahrscheinlichkeit kann grundsätzlich auf vier verschiedene Arten bestimmt werden.

- Verkehrsmessung am realen System

Die Verkehrsleistung, d.h. die Verlustwahrscheinlichkeit als Funktion der Verkehrsbelastung sowie der Steuerung der Koppelanordnung wird in der Praxis mit Hilfe von Verkehrsmessungen ermittelt. Um eine genügend große statistische Aussagesicherheit zu erhalten, muß eine Vielzahl von Messungen durchgeführt werden (ca. 10^5 Rufe je Angebotswert). Wegen dieses hohen Aufwands sind Verkehrsmessungen im natürlichen Fernsprekverkehr für verkehrstheoretische Untersuchungen i.a. nicht anwendbar. Sie sind aber unerlässlich, um z.B. die Verkehrsüberwachung der im Betrieb befindlichen Koppelanordnungen durchführen zu können.

- Simulation von Koppelanordnungen

Bei der Simulation werden die Struktur, deren Betriebsweise sowie der Ankunftsprozeß und Bedienprozeß wirklichkeitstreu in einer Datenverarbeitungsanlage nachgebildet. Dadurch kann die Messung der Verkehrsleistung in zeitlich geraffter und reproduzierbarer Form durchgeführt werden. Weiterhin ist das Simulationsverfahren flexibel bezüglich der nachzubildenden Strukturen, Betriebsweisen und Verkehrsbelastungen. Simulationsläufe liefern nie exakte Werte, ihre Ergebnisse sind stets mit einer gewissen statistischen Unsicherheit behaftet. Deshalb wird zu jedem Simulationsergebnis noch das Vertrauensintervall für eine (übliche) 95 %ige Aussagesicherheit angegeben. Es besagt, daß der wahre Mittelwert mit 95 %iger Sicherheit im Bereich des Vertrauensintervalls liegt.

- Exakte Berechnung

Eine Koppelanordnung kann durch ein mathematisches Modell wirklichkeitsgetreu beschrieben werden. Daraus können mit Hilfe der Verkehrstheorie die interessierenden, charakteristischen Größen exakt berechnet werden. Dabei ergeben sich in der Regel für stationären Verkehr lineare Gleichungssysteme von so hohem Rang, daß die streng exakte Berechnung als Untersuchungsmethode von realen Koppelanordnungen ausscheidet.

- Näherungsrechnung

Wie bei der exakten Berechnung wird die Koppelanordnung durch ein mathematisches Modell nachgebildet. Durch vereinfachende Annahmen (Näherungen) können jedoch die interessierenden Verkehrsgrößen mit noch tragbarem Aufwand berechnet werden. Die Zuverlässigkeit und der Geltungsbereich derartiger Näherungsverfahren müssen anhand von Simulationsläufen abgesichert werden.

8.1 Allgemeines

8.1.1 Begriffe und Definitionen

Die in den folgenden Abschnitten immer wieder auftretenden verkehrstheoretischen Begriffe und Definitionen sollen an dieser Stelle erläutert werden.

- Erreichbarkeit k

Anzahl der Leitungen eines Abnehmerbündels, die von einer freien Zubringerleitung aus auf ihren Belegungszustand geprüft werden können.

- effektive Erreichbarkeit k_{eff}

Erreichbarkeit einer mehrstufigen Koppelanordnung, deren Wert gleich ist der Erreichbarkeit einer einstufigen Koppelanordnung,

die bei gleicher Verkehrsbelastung sowie gleicher Anzahl von Zubringer- und Abnehmerleitungen die gleiche Verlustwahrscheinlichkeit hat.

- Verkehrsangebot A

Mittlere Anzahl aller pro Zeiteinheit eintreffender Belegungsversuche (Anrufe), multipliziert mit der mittleren Belegungsdauer h der erfolgreichen Belegungen.

- Verkehrsbelastung Y

Mittlere Anzahl der pro Zeiteinheit eintreffenden, erfolgreichen Belegungsversuche (Anrufe), multipliziert mit deren mittlerer Belegungsdauer h.

- Blockierungswahrscheinlichkeit E

Wahrscheinlichkeit, daß eine Blockierung besteht, d.h. daß ein eventueller Belegungsversuch abgewiesen würde (Zeitblockierung).

- Verlustwahrscheinlichkeit B

Wahrscheinlichkeit, daß ein Belegungsversuch abgewiesen wird ("zu Verlust geht", Rufblockierung).

- Punkt-Punkt Verlustwahrscheinlichkeit B_{pp}

Wahrscheinlichkeit, daß mindestens noch eine Leitung im gewünschten Abnehmerbündel frei ist und daß ein eintreffender Belegungsversuch abgewiesen wird, d.h. daß kein Weg innerhalb der Koppelanordnung zu einer freien Abnehmerleitung gefunden wird.

- Poisson-Ankunftsprozeß

Belegungsversuche werden einem Bündel mit einer konstanten Anrufrate λ angeboten. Diese ist zeitinvariant und unabhängig von der Anzahl der momentan bestehenden Belegungen. Die Ankunftsabstände T_A sind um ihrem Mittelwert $1/\lambda$ negativ exponentionell verteilt.

$$P\{T_A > t\} = e^{-\lambda t} \tag{8.1}$$

- Bernoulli-Ankunftsprozeß

Belegungsversuche werden über ein Zubringerbündel mit M Leitungen mit einer Ankunftsrate α pro freier Zubringerleitung angeboten. Die gesamte Ankunftsrate λ ist zeitinvariant, aber abhängig von der Anzahl x der momentan belegten Zubringerleitungen.

$$\lambda(x) = \alpha (M-x) \quad , \quad x = 0, 1, \dots, M \quad (8.2)$$

Die Freizeitdauern T_F jeder einzelnen Leitung sind um ihren Mittelwert $1/\alpha$ negativ exponentionell verteilt (Poisson Ankunftsprozeß pro freier Leitung).

$$P\{T_F > t\} = e^{-\alpha t} \quad (8.3)$$

- Bedienprozeß

Die Belegungsauern T_H sind um ihren Mittelwert $h = 1/\epsilon$ negativ exponentiell verteilt.

$$P\{T_H > t\} = e^{-\epsilon t} \quad (8.4)$$

- Die Enderate ϵ einer belegten Leitung ist konstant und zeitinvariant. Die Wahrscheinlichkeit für das Endigen einer Belegung ist unabhängig davon, wie lange diese Belegung schon andauert (Markoff-Eigenschaft).

- Zufallsverkehr 1.Art (ZV 1)

Unter Zufallsverkehr 1.Art versteht man einen Verkehrsablauf mit einem Poisson-Ankunftsprozeß und dem o.a. Bedienprozeß

- Abgeschnittener Zufallsverkehr 1.Art (abg. ZV 1)

Unter abgeschnittenem Zufallsverkehr 1.Art versteht man einen abgeschnittenen Poisson-Ankunftsprozeß in Verbindung mit dem o.a. Bedienprozeß. Die Ankunftsrate ist konstant gleich λ , solange noch mindestens eine Zubringerleitung frei ist. Sind alle M Leitungen belegt, so trifft kein Belegungsversuch mehr ein. Für die zustandsabhängige Ankunftsrate gilt dann

$$\lambda(x) = \begin{cases} \lambda & x = 0, 1, \dots, M-1 \\ 0 & x = M \end{cases} \quad (8.5)$$

- Zufallsverkehr 2.Art (ZV 2)

Zufallsverkehr 2.Art ist definiert durch einen Bernoulli-Ankunftsprozeß und dem o.a. Bedienprozeß.

- Zustandswahrscheinlichkeit p(x)

Wahrscheinlichkeit, daß z.B. in einem Abnehmerbündel der Zustand x herrscht, d.h. genau x Abnehmerleitungen belegt sind.

8.1.2 Zustandswahrscheinlichkeiten

Für die in den folgenden Abschnitten behandelte näherungsweise Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit von PCM-Koppelanordnungen werden die Formeln der Zustandswahrscheinlichkeiten benötigt. Diese sind für ZV 1 und ZV 2 unterschiedlich und sollen in diesem Abschnitt eingeführt werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wird nur Zufallsverkehr 1.Art auf den Zubringerbündeln betrachtet. Diese Annahme hat sich auf Grund zahlreicher Messungen als gute Näherung für das reale Verkehrsgeschehen erwiesen.

Bei RZR-Koppelanordnungen sind diese Zubringerbündel aufgefächert, auf alle Koppelvielfache der ersten Stufe, angeschlossen. Der Verkehr auf einem KVF der ersten Stufe kann dann mit dem mathematischen Modell ZV 2 besser beschrieben werden.

- Zustandswahrscheinlichkeiten bei ZV 1

Die Wahrscheinlichkeit $p_e(x_e)$, mit welcher der Zustand "x_e Leitungen sind belegt in einem Bündel mit M Leitungen" herrscht, wird bei ZV 1 und abgeschnittenem ZV 1 durch die sog. Erlang-Verteilung beschrieben.

$$p_e(x_e) = \frac{A_o^{x_e} / x_e!}{\sum_{z=0}^M A_o^z / z!} \quad x_e = 0, 1, \dots, M \quad (8.6a)$$

Hierbei wurde noch angenommen, daß jeder Belegungsversuch nur eine freie Leitung im Zubringerbündel belegt. Diese Erlang-Verteilung gilt nur dann exakt, wenn das Bündel vollkommen erreichbar ist.

Wird nicht das Verkehrsangebot A_e , sondern die Verkehrsbelastung Y_e vorgeschrieben, so muß die Berechnung der Zustandswahrscheinlichkeiten durch ein fiktives Verkehrsangebot A_o iterativ so bestimmt werden, daß sich auf dem Bündel die vorgeschriebene Verkehrsbelastung Y_e ergibt nach der Formel

$$Y_e = \sum_{x_e=0}^M x_e \cdot p_e(x_e) \quad (8.6b)$$

Für jede vierdrahtmäßige PCM-Verbindung müssen immer zwei Sprechwege aufgebaut werden. Für den Sonderfall, daß ein Belegungsversuch immer zwei Leitungen in demselben Zubringerbündel belegt, berechnen sich die Zustandswahrscheinlichkeiten mit

$$p_i(2x_i) = \frac{A_o^{x_i} / x_i!}{\sum_{z=0}^{[M/2]} A_o^z / z!} \quad x_i = 0, 1, \dots, [M/2] \quad (8.7a)$$

Es können nur Zustände herrschen, in denen die Anzahl der belegten Leitungen geradzahlig ist. Das fiktive Angebot A_o muß wiederum iterativ bestimmt werden, so daß gilt

$$Y_i = \sum_{x_i=0}^{[M/2]} 2 x_i \cdot p_i(2x_i) \quad (8.7b)$$

Für den allgemeinen Fall, daß ein Belegungsversuch entweder eine Leitung oder auch zwei Leitungen gleichzeitig belegen kann, ergibt sich die Wahrscheinlichkeit für das Bestehen des Zustands " x_e Einfach- und x_i Zweifach-Belegungen" zu

$$p(2x_i, x_e) = \frac{A_{oi}^{x_i} / x_i! \cdot A_{oe}^{x_e} / x_e!}{\sum_{z_i=0}^{[M/2]} \sum_{z_e=0}^{M-2z_i} A_{oi}^{z_i} / z_i! \cdot A_{oe}^{z_e} / z_e!} \quad \begin{matrix} x_i = 0, 1, \dots, [M/2] \\ x_e = 0, 1, \dots, M \\ 2x_i + x_e \leq M \end{matrix} \quad (8.8a)$$

Die fiktiven Angebote A_{oi} und A_{oe} dieser zweidimensionalen Erlang-Verteilung müssen iterativ so bestimmt werden, daß sich die vorgegebenen Teilbelastungen einstellen.

$$Y_i = \sum_{x_i=0}^{[M/2]} \sum_{x_e=0}^{M-2x_i} 2x_i \cdot p(2x_i, x_e) \quad (8.8b)$$

$$Y_e = \sum_{x_i=0}^{[M/2]} \sum_{x_e=0}^{M-2x_i} x_e \cdot p(2x_i, x_e)$$

Die Verkehrsbelastung des Bündels ergibt sich aus der Summe dieser Teilbelastungen

$$Y_{ges} = Y_i + Y_e \quad (8.8c)$$

Die Wahrscheinlichkeit, daß der Summenzustand " $x = 2x_i + x_e$ Leitungen im Zubringerbündel sind belegt" herrscht, unabhängig von der jeweiligen Anzahl der Einfach- und Zweifachbelegungen, erhält man durch aufsummieren der zweidimensionalen Zustandswahrscheinlichkeiten aller jener Zustände, die den Summenzustand x ergeben

$$p_s(x) = \sum_{x_i=0}^{[x/2]} p(2x_i, x-2x_i) \quad x = 0, 1, \dots, M \quad (8.9)$$

- Zustandswahrscheinlichkeiten bei ZV 2

Die Zustandswahrscheinlichkeiten eines Bündels mit n Leitungen und mit n Verkehrsquellen, das mit Zufallsverkehr 2.Art betrieben wird, gehorchen einer Binomial-Verteilung

$$P_b(x) = \binom{n}{x} \left(\frac{y}{n}\right)^x \left(1 - \frac{y}{n}\right)^{n-x} \quad x=0,1,\dots,n \quad (8.10)$$

Diese Binomial-Verteilung gilt exakt, falls das Bündel vollkommen erreichbar ist. Sie kann auch folgendermaßen interpretiert werden: Der Quotient y/n ist die einheitliche Verkehrsbelastung pro Leitung, d.h. deren mittlere Belegungswahrscheinlichkeit. Falls diese statistisch unabhängig vom Belegungszustand der restlichen Leitungen ist, so werden die Zustandswahrscheinlichkeiten mit obiger Verteilung beschrieben.

8.2 Näherungsweise Berechnung der Punkt-Punkt Verlustwahrscheinlichkeiten in konventionellen PCM-Koppelanordnungen (PPLE-Verfahren)

Die in dieser Arbeit untersuchten PCM-Koppelanordnungen werden mit der konjugierten und gemeinsamen Durchschaltung betrieben. Die beiden Sprechwege einer Verbindung werden nach dem Prinzip der beliebigen oder quasisymmetrischen oder symmetrischen Wege-zuteilung durch ein gemeinsames Koppelnetz durchgeschaltet.

In der ZRZ-,RZR- und ZRRZ-KAN erhält man, je nach Verbindungstyp und Wege-zuteilungsprinzip unterschiedliche Verlustwahrscheinlichkeiten. Das Verfahren PPLE (engl.: Point-to-Point Loss, Extended Method) zur näherungsweisen Berechnung dieser Punkt-Punkt Verlustwahrscheinlichkeiten wird in diesem Kapitel vorgestellt. Auf den ankommenden Multiplexleitungen wird dabei abgeschnittener Zufallsverkehr 1.Art vorausgesetzt.

Das Verfahren benutzt denselben Grundgedanken wie das bekannte PPL-Verfahren /39/. Der Grundgedanke beider Verfahren ist, für die betrachtete mehrstufige KAN zunächst eine effektive Erreichbarkeit k_{eff} zu bestimmen, mit deren Hilfe diese mehrstufige KAN auf eine einstufige Koppelanordnung abgebildet werden kann.

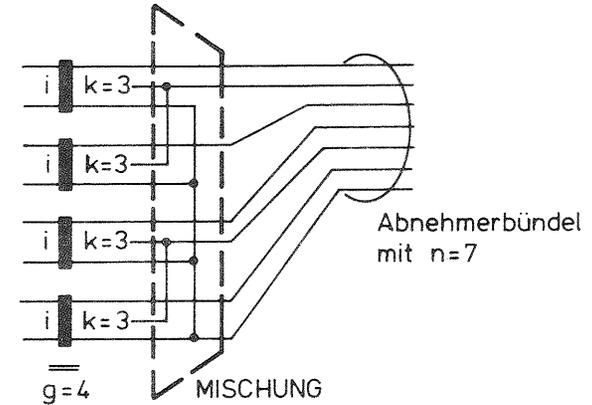


Bild 8.1: Einstufige Koppelanordnung mit unvollkommener Erreichbarkeit des Abnehmerbündels

Bild 8.1 zeigt als Beispiel eine einstufige Koppelanordnung mit $g=4$ Koppelvielfachen, jedes mit i Eingängen und $k=3$ Ausgängen. Das Abnehmerbündel besteht aus $n=7$ Abnehmerleitungen, von denen aber nur $k=3$ von jedem KVf aus erreichbar sind, d.h. auf ihren Belegungszustand hin abgeprüft werden können. Die Verdrahtung der Ausgänge der Koppelvielfache wird als Mischung bezeichnet. Die sehr genaue, näherungsweise Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit solcher Mischungen erfolgt dann mit der modifizierten Palm-Jacobaeus-Formel /26/.

Im Bild 8.2a ist ein dreistufiges Linkssystem mit seinen Parametern dargestellt. Zur näherungsweisen Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit von Verbindungen zwischen einem Start- und

Unter der Annahme, daß alle Muster eines Belegungszustands x_3 im Ziel-KVf gleichwahrscheinlich sind, gilt für die Sperrwahrscheinlichkeit

$$C(x_3) = \frac{\binom{x_3}{k_{eff}}}{\binom{i_3}{k_{eff}}} \quad (8.11)$$

Diese Bedingung der Gleichwahrscheinlichkeit der Belegungsmuster wird durch die Absuchmethode GZ in der Simulation sehr gut erfüllt.

8.2.1 Dreistufige ZRZ-Koppelanordnungen

In dreistufigen ZRZ-KAN erhält man für die beliebige, quasi-symmetrische und symmetrische Wegezuteilung unterschiedliche Verlustwahrscheinlichkeiten B_{pp} für Punkt-Punkt Verbindungen. Diese unterscheiden sich nochmals für highwayinterne und highwayexterne Verbindungen.

8.2.1.1 Verlustwahrscheinlichkeiten B_{ppe} für Highway-Externverbindungen

I. B e l i e b i g e Wegezuteilung

Im Bild 8.3 ist der Verbindungsgraph des Hinwegs von HW-Externverbindungen gezeichnet, mit welchem die effektive Erreichbarkeit bestimmt werden kann. Dabei ist angenommen, daß momentan x_1 Ausgänge des Start-KVf belegt sind, davon $2x_i$ durch highwayinterne und x_e durch highwayexterne Verbindungen, d.h.

$$x_1 = 2x_i + x_e.$$

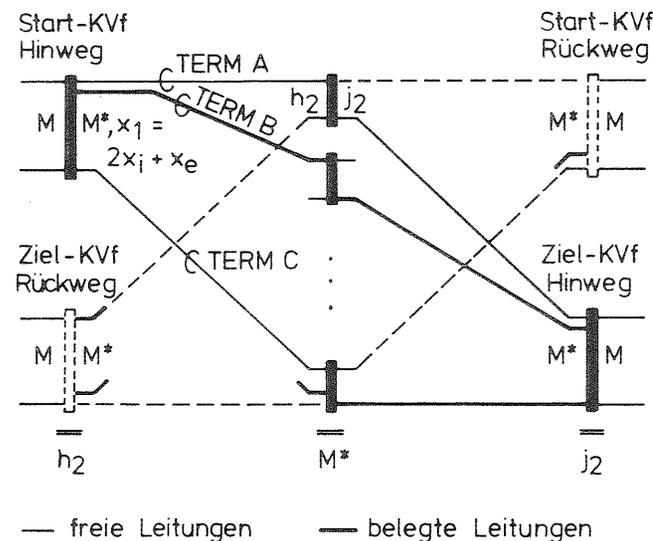


Bild 8.3: Verbindungsgraph für die Bestimmung der effektiven Erreichbarkeit des Hinwegs und Rückwegs von Highway-Externverbindungen (vgl. auch Bild 8.4)

Die effektive Erreichbarkeit, mit deren Hilfe die PP-Verlustwahrscheinlichkeit berechnet wird, setzt sich aus verschiedenen Teilbeträgen zusammen, die nachstehend als Terme bezeichnet werden.

$$\text{TERM A} = (M^* - x_1) \cdot (1 - Y_2/j_2) \quad (8.12a)$$

Vom Start-KVf aus können $(M^* - x_1)$ KVf der zweiten Stufe über freie Zwischenleitungen erreicht werden. Von jedem dieser Koppelvielfache führt eine Zwischenleitung in das Ziel-KVf der dritten Stufe. Mit der Wahrscheinlichkeit $(1 - Y_2/j_2)$ ist diese Zwischenleitung frei, da ein KVf der zweiten Stufe im Mittel mit dem Verkehr Y_2 belastet ist. Der Term A gibt also für den

Belegungszustand x_1 die mittlere Zahl der vom Start-KVf zum Ziel-KVf durchgehend freien Wege an.

$$TERM B = x_e / 2 \cdot (j_2 - 1) \quad (8.12b)$$

Der Term B umfaßt jene Zahl der Externverbindungen, die im Mittel zwischen Start- und Ziel-KVf bestehen. Dabei ist angenommen, daß sich der HW-Externverkehr gleichmäßig auf alle $(j_2 - 1)$ Extern-KVf in der dritten Stufe aufteilt. Nach der Auslösung können die davon betroffenen Wege sofort wieder für eine Verbindung derselben Art verwendet werden.

Die Halbierung der Anzahl von extern belegten Ausgängen x_e des Start-KVf (Faktor 1/2 in Gl.8.12b) ist notwendig, da sie auch die Rückwege jener HW-Externverbindungen umfassen, deren Hinwege von den Ziel-KVf des Rückwegs aus (vgl. Bild 8.3) aufgebaut wurden. Dem Hinweg einer HW-Externverbindung stehen also im Mittel nur die Hälfte der in das Ziel-KVf durchgehend belegten Leitungen zur Verfügung.

$$TERM C = (M^* - x_1) \cdot Y_2 / j_2 \quad (8.12c)$$

Im Mittel sind Y_2 Ausgänge eines Koppelvielfachs der Stufe 2 belegt. Mit der Wahrscheinlichkeit Y_2 / j_2 - unter der Voraussetzung gleichmäßiger Aufteilung des Verkehrs - ist eine Zwischenleitung in das betrachtete Ziel-KVf belegt.

Term C gibt also die mittlere Zahl der in das Ziel-Koppelvielfach belegten Leitungen an, die vom Start-KVf aus über $(M^* - x_1)$ freie Zwischenleitungen abgesucht werden können. Die vom Term C erfaßten, bestehenden Verbindungen gehen von anderen KVf der ersten Stufe aus, also nicht vom betrachteten Start-KVf. Endigt eine solche Verbindung, so kann sofort eine neue Belegung zwischen dem Start- und dem Ziel-KVf durchgeschaltet werden.

Die effektive Erreichbarkeit für den Hinweg von beliebig zugeordneten Sprechwegen von Highway-Externverbindungen ergibt sich nun aus der Summe dieser drei Terme

$$k_{eff,e, bel}(x_1) = TERM A + TERM B + TERM C \quad (8.12d) \\ = (M^* - x_1) + x_e / 2 \cdot (j_2 - 1)$$

Bei der Addition von Term A und Term C bleibt nur noch die Anzahl $(M^* - x_1)$ der freien Ausgänge des Start-KVf übrig. Der Grund liegt darin, daß in dreistufigen KAN von allen KVf der zweiten Stufe aus alle Eingänge des Ziel-KVf auf belegt oder frei geprüft, d.h. erreicht werden könnten. Vom betrachteten Start-KVf aus werden demzufolge zunächst soviel Eingänge des Ziel-KVf erreicht, wie Koppelvielfache in der zweiten Stufe über freie Ausgänge erreicht werden. Neben diesem Anteil zählt zur effektiven Erreichbarkeit noch die Hälfte der vom Start-KVf in das Ziel-KVf durchgehend belegten Zwischenleitungen.

Dies gilt unabhängig vom Wegezuteilungsprinzip für alle dreistufigen Koppelanordnungen. Es werden deshalb im folgenden bei der Bestimmung der effektiven Erreichbarkeiten für dreistufige ZZR- und RZR-KAN die Terme A und C nicht mehr getrennt betrachtet.

Bei der beliebigen Wegezuteilung wird, nach der erfolgreichen Durchschaltung des Hinwegs, ein beliebiger Rückweg durch die KAN gesucht. Für die Bestimmung der effektiven Erreichbarkeit dieses Rückwegs ist es günstig, dessen Aufbaurichtung durch die KAN in Gedanken umzukehren. Das Start-KVf des Rückwegs befindet sich dann in der dritten Stufe und besitzt dieselbe Ordnungsnummer wie das Start-KVf des Hinwegs. Durch diese rein gedankliche Umkehrung der Suchrichtung hat man nun ein Start-KVf für den Rückweg, welches aus Symmetriegründen denselben Belegungszustand $x_1 = 2x_1 + x_e$ wie das Start-KVf für den Hinweg besitzt. Der Verbindungsgraph für den Rückweg (gestrichelt im Bild 8.3) ist immer von jenem des Hinwegs getrennt, sodaß keine gegenseitige Beeinflussung besteht. Folglich sind ebensoviele Leitungen

des Ziel-KVf des Rückwegs vom Start-KVf aus erreichbar, d.h. die effektive Erreichbarkeit des Rückwegs ist aus Symmetriegründen gleich groß wie diejenige des Hinwegs. Im Bild 8.4 ist der Verbindungsgraph des Hinwegs einer Highway-Externverbindung nochmals vereinfacht dargestellt. Im Start-KVf seien $x_1 = 2x_i + x_e$ Eingänge bzw. Ausgänge mit der Wahrscheinlichkeit $p(2x_i, x_e)$ nach Gl.(8.8) belegt. Erfolgreiche HW-Internverbindungen belegen in gleichnamigen Koppelvielfachen der ersten und letzten Stufe gleichzeitig zwei Leitungen, HW-Externverbindungen dagegen jeweils nur eine Leitung in den beteiligten KVf der beiden äußeren Stufen. Die Bestimmung der Zustandswahrscheinlichkeiten erfolgt deshalb mit einer zweidimensionalen Erlang-Verteilung.

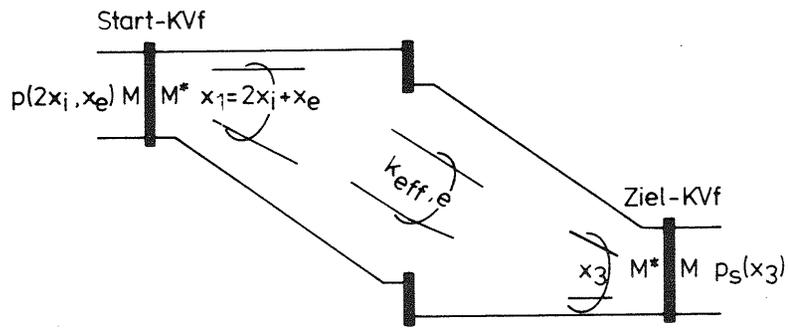


Bild 8.4: Verbindungsgraph des Hinwegs von Highway-Externverbindungen

Im Ziel-KVf seien insgesamt x_3 Eingänge bzw. Ausgänge belegt mit der Wahrscheinlichkeit $p_s(x_3)$ nach Gl.(8.9). Der Hinweg einer HW-Externverbindung ist in diesem Belegungszustand des Verbindungsgraphen gesperrt, wenn alle k_{eff} Leitungen nach Gl.(8.12) des Ziel-KVf, die vom Start-KVf her erreichbar sind, belegt sind. Dabei ist es unerheblich, ob diese Belegungen von HW-Internverbindungen oder von HW-Externverbindungen hervor-

gerufen wurden. Deshalb wird im Ziel-KVf die Wahrscheinlichkeit des Summenzustands x_3 verwendet.

Die Sperrwahrscheinlichkeit berechnet sich dann analog zu Gl.(8.11)

$$C_{e, bel}(x_1, x_3) = \frac{\binom{x_3}{k_{eff, e, bel}}}{\binom{M^*}{k_{eff, e, bel}}} \quad (8.13)$$

Die Sperrwahrscheinlichkeit des Rückwegs ist gleich groß. Damit erhält man die Blockierungswahrscheinlichkeit einer HW-Externverbindung im Zustand x_1 des Start-KVf durch Aufsummation der Sperrwahrscheinlichkeiten des Hin- und Rückwegs, gewichtet mit der Zustandswahrscheinlichkeit im Ziel-KVf

$$E_{e, bel}(x_1) = \frac{1}{1 - p_s(M)} \sum_{x_3=0}^{M-1} p_s(x_3) (C_{e, bel} + (1 - C_{e, bel}) \cdot C_{e, bel}) \quad (8.14)$$

Die Blockierungswahrscheinlichkeit ist die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Ziel-KVf blockiert ist, d.h. mit welcher ein eintreffender Ruf nicht durchgeschaltet werden könnte. Dabei gilt die Voraussetzung, daß mindestens noch eine Abnehmerleitung im Ziel-KVf markiert werden konnte. Die obere Summationsgrenze ist deshalb $M-1$.

Die PP-Verlustwahrscheinlichkeit, mit der ein am Start-KVf eintreffender Ruf das Ziel-KVf blockiert vorfindet und deshalb verloren geht, ergibt sich dann für abg. ZV 1 zu

$$B_{PPe, bel} = \frac{1}{1 - p_s(M)} \sum_{x_i=0}^{\lfloor \frac{M-1}{2} \rfloor - 1} \sum_{x_e=0}^{M-2x_i-1} p(2x_i, x_e) \cdot E_{e, bel}(x_1) \quad (8.15)$$

Dabei wurde die Annahme der statistischen Unabhängigkeit der Zustände im Start- und Ziel-KVf verwendet. Die Blockierungswahrscheinlichkeiten nach Gl.(8.14) wurden gewichtet aufsummiert. Auch hier läuft die Summation des Summenzustands $x_1 = 2x_i + x_e$ nur bis $M-1$, damit ein Ruf überhaupt eintreffen kann (abgeschnittener ZV 1).

II. Quasisymmetrische Wegezuteilung

Für die Bestimmung der Verlustwahrscheinlichkeit von Highway-Externverbindungen, deren Sprechwege quasisymmetrisch zugeteilt werden, muß nur der Hinweg berücksichtigt werden (vgl. 4.1.3). Dessen effektive Erreichbarkeit kann ebenfalls anhand Bild 8.3 ermittelt werden. Im Start-KVf herrsche der Zustand x_1 , hervorgerufen durch x_i HW-Internverbindungen und x_e HW-Externverbindungen.

Zur effektiven Erreichbarkeit zählen hier alle freien Ausgänge des Start-KVf, weil damit in dreistufigen KAn ebensoviel Eingänge des Ziel-KVf erreicht werden (s.o.). Die durch HW-Externverbindungen belegten x_e Ausgänge des Start-KVf umfassen, im Mittel betrachtet, je zur Hälfte nicht paarweise zusammenhängende Hin- und Rückwege. Der Anteil zur effektiven Erreichbarkeit der von ins Ziel-KVf durchgehend belegten Leitungen herrührt, muß deshalb halbiert werden.

Die effektive Erreichbarkeit für die quasisymmetrische Wegezuteilung ist also genau so groß wie im Falle der beliebigen Wegezuteilung Gl.(8.12)

$$k_{eff,e,quasi}(x_i) = (M^* - x_i) + x_e / 2 \cdot (j_2 - 1) \quad (8.16)$$

Bei der Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit für die quasisymmetrische Wegezuteilung muß jedoch der Rückweg nicht berücksichtigt werden, weil er aus Gründen der Zuordnung stets frei

ist, wenn auch der Hinweg frei ist. Der Verlust ergibt sich allein aus der gewichteten Aufsummation der Blockierungswahrscheinlichkeiten des Hinwegs

$$B_{ppe,quasi} = \frac{1}{(1 - p_s(M))^2} \sum_{x_i=0}^{\{M/2-0,1\}-1} \sum_{x_e=0}^{M-2x_i-1} p(2x_i, x_e) \sum_{x_3=0}^{M-1} p_s(x_3) \cdot c_{e,quasi} \quad (8.17)$$

mit der Sperrwahrscheinlichkeit des Hinwegs nach Gl.(8.13)

$$c_{e,quasi}(x_i, x_3) = c_{e,bel}(x_i, x_3) \quad (8.18)$$

Die Verlustwahrscheinlichkeit $B_{ppe,quasi}$ gilt für abgeschnittenen Zufallsverkehr 1.Art und mit der Bedingung, daß das Ziel-KVf nur dann markiert wird, wenn noch mindestens ein Ausgang frei ist.

III. Symmetrische Wegezuteilung

Beim symmetrischen Wegezuteilungsprinzip können keine Highway-Internverbindungen aufgebaut werden. Für die Bestimmung der effektiven Erreichbarkeit von HW-Externverbindungen kann jedoch Bild 8.3 ebenfalls verwendet werden. Die dort angenommenen Belegungszustände gelten dann für den Fall $x_i = 0$, d.h. alle belegten Ausgänge sind reine Externbelegungen ($x_i = x_e$). Wie bei der quasisymmetrischen Wegezuteilung muß auch hier nur der Hinweg betrachtet werden, um die Verlustwahrscheinlichkeit der HW-Externverbindungen zu bestimmen. Im Gegensatz zur quasisymmetrischen Wegezuteilung muß jedoch bei der Bestimmung der effektiven Erreichbarkeit für die symmetrische Wegezuteilung berücksichtigt werden, daß die Verbindungsgraphen des Hin- und Rückwegs sich in den KVf der mittleren Stufe beeinflussen. Der Grund hierfür liegt darin, daß die beiden Sprechwege einer Ver-

bindung hier immer über dasselbe KVf der mittleren Stufe führen, sodaß die Ein- und Ausgänge dieser KVf immer paarweise belegt oder freigeschaltet werden. Dies bewirkt eine Reduzierung der effektiven Erreichbarkeit des Hinwegs und damit auch der gesamten HW-Externverbindung, weil für den Rückweg ein Ausgang des benutzten KVf der mittleren Stufe mit Sicherheit noch frei sein muß.

Die Folge davon ist, daß, im Vergleich zur quasisymmetrischen Wegezuteilung bei derselben Verkehrsbelastung, über ein KVf der mittleren Stufe jeweils nur halbsoviel Verbindungen (allerdings je in beiden Sprechrichtungen) durchgeschaltet werden können. Die effektive Erreichbarkeit für die symmetrische Wegezuteilung läßt sich aus derjenigen der quasisymmetrischen Wegezuteilung ableiten, indem man die Anzahl der KVf der mittleren Stufe mit einem Reduktionsfaktor $(j_2-2)/j_2$ multipliziert. Dieser Reduktionsfaktor berücksichtigt die Tatsache, daß nur bis zum Belegungszustand $x_2 = j_2-2$ eines mittleren KVf noch eine Durchschaltung der beiden Sprechwege einer symmetrischen HW-Externverbindung möglich ist. Deshalb gilt

$$k_{eff,e,sym}(x_1) = (M^* - x_1) \cdot (j_2 - 2) / j_2 + x_1 / 2 (j_2 - 1) \quad (8.19)$$

Zur effektiven Erreichbarkeit zählen auch die durchgehend belegten Zwischenleitungen. Deren Beitrag wird in völlig analoger Weise zu den oben besprochenen Zuteilungsverfahren berechnet.

Die Blockierungswahrscheinlichkeit erhält man durch gewichtetes aufsummieren der Sperrwahrscheinlichkeiten, mit welchen die k_{eff} von Stufe 2 aus absuchbaren Eingänge des Ziel-KVf momentan belegt sind. Für die Berechnung der Zustandswahrscheinlichkeiten im Ziel-KVf wird die Erlang-Verteilung nach Gl.(8.6) verwendet, da bei der symmetrischen Wegezuteilung keine HW-Internverbindungen aufgebaut werden können, und somit auch keine internen Zweifachbelegungen im Ziel-KVf vorkommen können.

$$C_{e,sym}(x_1, x_3) = \frac{\binom{x_3}{k_{eff,e,sym}}}{\binom{M^*}{k_{eff,e,sym}}} \quad (8.20)$$

$$E_{e,sym}(x_1) = \frac{1}{1 - p_e(M)} \sum_{x_3=0}^{M-1} p_e(x_3) C_{e,sym}(x_1, x_3) \quad (8.21)$$

Die Verlustwahrscheinlichkeit ergibt sich zu

$$B_{ppe,sym} = \frac{1}{1 - p_e(M)} \sum_{x_1=0}^{M-1} p_e(x_1) \cdot E_{e,sym}(x_1) \quad (8.22)$$

Ein Verlust kann definitionsgemäß nur dann eintreten, wenn sowohl im Start- als auch im Ziel-KVf noch mindestens eine Leitung frei ist. Zur Berechnung der Zustandswahrscheinlichkeiten im Start-KVf wird ebenfalls die Erlang-Verteilung nach Gl.(8.6) benutzt.

8.2.1.2 Verlustwahrscheinlichkeiten B_{ppi} für Highway-Internverbindungen

Wie bereits in Kapitel 2 und 4 beschrieben, sind Highway-Internverbindungen bei ZRZ-KAN solche Verbindungen, deren Sprechwege zwischen KVf der ersten und dritten Stufe mit der gleichen Ordnungsnummer aufgebaut werden. Sie können nur nach dem Prinzip der beliebigen oder quasisymmetrischen Wegezuteilung durchgeschaltet werden.

I. B e l i e b i g e W e g e z u t e i l u n g

Im Bild 8.5 ist der Verbindungsgraph für Highway-Internverbindungen dargestellt, mit dessen Hilfe die effektive Erreichbarkeit abgeleitet werden kann. Das Start-KVf in der ersten Stufe und das Ziel-KVf in der dritten Stufe besitzen jetzt dieselbe Ordnungsnummer. Im Start-KVf seien x_1 Ausgänge belegt, davon x_i HW-Internverbindungen und weitere x_e durch HW-Externverbindungen.

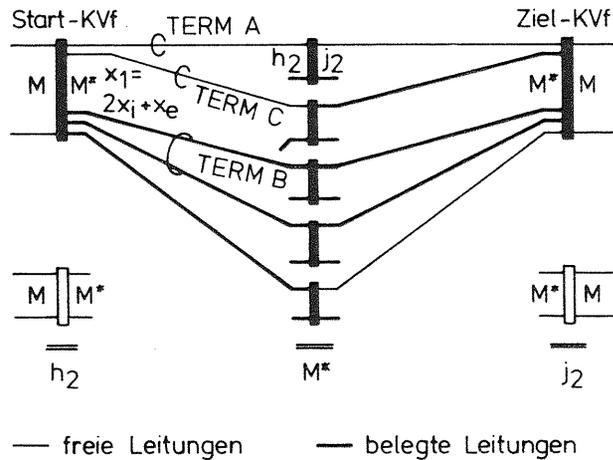


Bild 8.5: Verbindungsgraph zur Bestimmung der effektiven Erreichbarkeit von Highway-Internverbindungen bei beliebiger Wegezuteilung

Die effektive Erreichbarkeit des Hinwegs setzt sich, wie aus Bild 8.5 ersichtlich ist, aus drei Termen zusammen. Die Addition der Terme A und C ergibt wiederum die Anzahl der freien Ausgänge des Start-KVf, die, unabhängig von ihrem Belegungszustand, ab-suchbar sind. Die im Term B zu berücksichtigenden, durchgehend belegten $2x_i$ Leitungen, werden ausschließlich durch HW-Intern-

verbindungen hervorgerufen. Deren Hin- und Rückwege verlaufen beide in diesem Verbindungsgraphen, sodaß zum Term B der effektiven Erreichbarkeit des Hinwegs wiederum nur die Hälfte der durchgehend zum Ziel-KVf belegten Leitungen gewählt werden darf.

$$k_{eff,i, bel}(x_i) = (M^* - x_i) + x_i \quad (8.23)$$

Der Rückweg einer HW-Internverbindung wird, nach der erfolgreichen Durchschaltung des Hinwegs, unabhängig gesucht. Er liefert deshalb ebenfalls einen Beitrag zur Verlustwahrscheinlichkeit. Da aber beide Sprechwege in demselben Verbindungsgraphen verlaufen, kann die Sperrwahrscheinlichkeit einer HW-Internverbindung nur mit der effektiven Erreichbarkeit des Hinwegs berechnet werden, wobei der Einfluß des Rückwegs mitberücksichtigt wird.

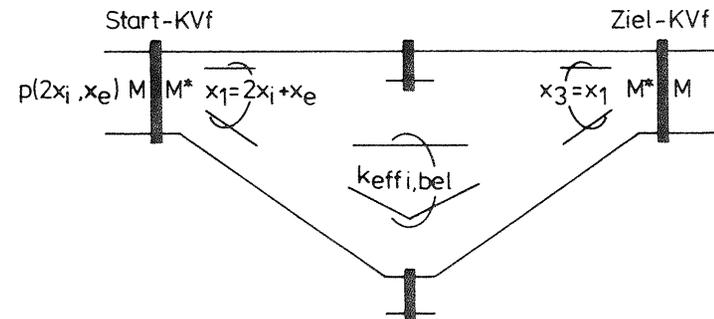


Bild 8.6: Verbindungsgraph für Highway-Internverbindungen bei beliebiger Wegezuteilung

Im Bild 8.6 ist der Verbindungsgraph für die highwayinternen Verbindungen nochmals vereinfacht dargestellt. Im Start-KVf seien $x_1 = 2x_i + x_e$ Belegungen mit der Zustandswahrscheinlichkeit $p(2x_i, x_e)$ vorhanden. Im Ziel-KVf der dritten Stufe, das dieselbe

In dieser zeichnerischen Aufteilung des Verbindungsgraphen belegt dann eine HW-Internverbindung durchgehend zwei Zwischenleitungen mit derselben Ordnungsnummer, je eine in jeder Hälfte. Belegt eine HW-Externverbindung im Start-KVf einen Ausgang z.B. in der unteren Hälfte, dann belegt sie mit ihrem zugeordneten, zweiten Sprechweg den Eingang im Ziel-KVf mit derselben Ordnungsnummer in der oberen Hälfte. Allgemein bedeutet dies, daß der Belegungszustand der Ausgänge in der unteren Hälfte eines betrachteten Start-KVf identisch ist mit jenem des entsprechenden Ziel-KVf in der oberen Hälfte und umgekehrt.

Für die Berechnung der effektiven Erreichbarkeit des Hinwegs von HW-Internverbindungen wird deshalb nur eine, z.B. die obere Hälfte des Verbindungsgraphen betrachtet. Die andere Hälfte ist dann für den Rückweg reserviert und muß nicht weiter berücksichtigt werden, da die Verlustwahrscheinlichkeit von HW-Internverbindungen nur aus der Blockierung der Hinwege resultiert.

Im Start-KVf seien x_1 Ausgänge belegt, davon $2x_i$ durch Internverbindungen und x_e weiteren durch Highway-Externverbindungen. Von diesen Belegungen befänden sich insgesamt ξ_1 in der oberen Hälfte. Die effektive Erreichbarkeit (Bild 8.7) ergibt sich nun aus der Anzahl der freien Ausgänge im halben Start-Koppelvielfach (TERM A + TERM C) und der Anzahl der durchgehend belegten Zwischenleitungen zum Ziel-KVf, die hier gleich der Anzahl der bestehenden Internverbindungen ist.

$$k_{eff,i,quasi}(x_1, \xi_1) = (M^*/2 - \xi_1) + x_i \quad (8.26)$$

Im Bild 8.8 ist der Verbindungsgraph nochmals vereinfacht dargestellt. Die k_{eff} absuchbaren Eingänge des Ziel-KVf sind dann gesperrt, wenn sie auf $\xi_3 \geq k_{eff}$ belegte Eingänge treffen. Die Anzahl ξ_3 ergibt sich aus

$$\xi_3 = x_1 - \xi_1 \quad (8.27)$$

Die Sperrwahrscheinlichkeit berechnet sich damit zu

$$C_{i,quasi}(x_1, \xi_1) = \frac{\binom{x_1 - \xi_1}{k_{eff,i,quasi}}}{\binom{M^*/2}{k_{eff,i,quasi}}} \quad (8.28)$$

In der oberen Hälfte des Start-KVf sind ξ_1 Ausgänge mit der Wahrscheinlichkeit $p(\xi_1 | x_1)$ unter der Bedingung belegt, daß im gesamten Start-KVf $x_1 = 2x_i + x_e$ Ausgänge mit der Wahrscheinlichkeit $p(2x_i, x_e)$ belegt sind.

Diese bedingte Wahrscheinlichkeit erhält man mit

$$p(\xi_1 | x_1) = \frac{\binom{M^*/2 - x_i}{\xi_1 - x_i} \cdot \binom{M^*/2 - x_i}{x_e - \xi_1 + x_i}}{\binom{M^* - 2x_i}{x_e}} \quad (8.29)$$

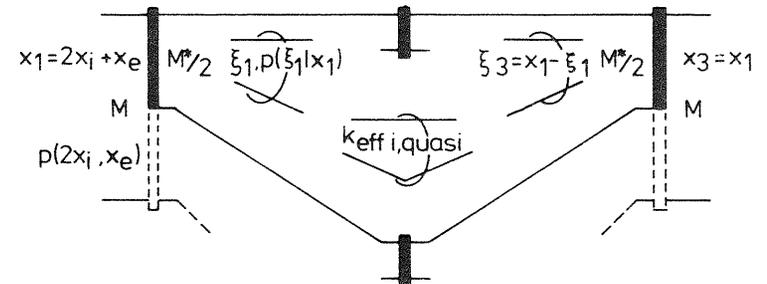


Bild 8.8: Verbindungsgraph für Highway-Internverbindungen bei quasisymmetrischer Wegezuteilung

Da in jeder Hälfte des Verbindungsgraphen x_i Leitungen intern belegt sind, läßt sich diese bedingte Wahrscheinlichkeit mit Hilfe der möglichen Zustandsmuster kombinatorisch berechnen, welche die x_e Externbelegungen in beiden Hälften des gesamten Verbindungsgraphen bilden können. Gleichung (8.29) gibt gleich-

zeitig an, mit welcher Wahrscheinlichkeit die ξ_3 Eingänge in der oberen Hälfte des Ziel-KVf belegt sind, sodaß sich die interne Blockierungswahrscheinlichkeit des zu betrachtenden halben Verbindungsgraphen für einen bestimmten Belegungszustand des gesamten Start- wie auch Ziel-KVf angeben läßt.

$$E_{i,quasi}(x_1) = \sum_{\xi_1 = \xi_{1u}}^{\xi_{1o}} p(\xi_1 | x_1) \cdot C_{i,quasi}(x_1, \xi_1) \quad (8.30a)$$

Der Belegungszustand x_1 des gesamten Start-KVf wirkt sich auch auf die Summationsgrenzen aus. Die untere ergibt sich aus

$$\xi_{1u} = \max. \{x_i, x_1 - M^*/2\} \quad (8.30b)$$

und die obere Summationsgrenze aus

$$\xi_{1o} = \min. \{x_i + x_e, M^*/2\} \quad (8.30c)$$

Die untere Grenze der Anzahl der belegten Ausgänge ξ_{1u} ist also x_i oder $x_1 - M^*/2$, wenn mehr x_e Externbelegungen bestehen, als die untere Hälfte des Verbindungsgraphen allein aufnehmen kann. Die obere Grenze ξ_{1o} ist $x_i + x_e$, wenn alle Externbelegungen in der oberen Hälfte Platz finden. Sie ist jedoch, strukturbedingt, maximal $M^*/2$.

Die Verlustwahrscheinlichkeit für Highway-Internverbindungen, deren Sprechwege quasisymmetrisch zugeteilt werden, erhält man schließlich indem man die Blockierungswahrscheinlichkeiten der oberen Hälfte des Verbindungsgraphen gewichtet aufaddiert.

$$B_{ppi,quasi} = \frac{1}{1 - p_s(M-1) - p_s(M)} \sum_{x_i=0}^{\{M/2 - \alpha_i\} - 1} \sum_{x_e=0}^{M - 2x_i - 2} p(2x_i, x_e) E_{i,quasi}(x_1) \quad (8.31)$$

Im Start-KVf, und damit auch im Ziel-KVf, müssen mindestens noch zwei Eingänge bzw. Ausgänge frei sein. Deshalb wird in Gl.(8.31) nur bis zum Zustand $x_1 = M-2$ aufaddiert.

8.2.2 Dreistufige RZR-Koppelanordnungen

Die dreistufigen Koppelanordnungen des Typs ZRZ und RZR unterscheiden sich strukturell in ihren äquivalenten Raumvielfachdarstellungen innerhalb der beiden äußeren Stufen nicht (vgl. Bilder 2.4 und 2.5). Dies bewirkt, daß die Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeiten für Punkt-Punkt Verbindungen in der RZR-KAN analog zu der Berechnung für die ZRZ-KAN durchgeführt werden kann. Damit können die effektiven Erreichbarkeiten und die Sperrwahrscheinlichkeiten für die einzelnen Wegezuteilungsprinzipien übernommen werden.

Die äquivalenten RVf-Darstellungen von ZRZ- bzw. RZR-KAN unterscheiden sich dagegen durch andersartige Bündelanschaltungen an die Koppelvielfache der ersten und letzten Stufe. Dies hat zur Folge, daß bei der RZR-KAN die Zustandswahrscheinlichkeiten $p(x_1)$ und $p(x_3)$ dieser KVf für Zufallsverkehr 2.Art berechnet werden müssen (vgl. Gl.8.10).

Die Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeiten muß jetzt getrennt für zeitlagengleiche (ZLgl) und zeitlagenungleiche (ZLugl) Verbindungen erfolgen (vgl. Abschnitte 2.2.2 und 5.1.2). Die ZLgl-Verbindungen stellen das Analogon zu den HW-Internverbindungen bei ZRZ-KAN dar, da ihre beiden Sprechwege Koppelvielfache mit derselben Ordnungsnummer in der ersten und letzten Stufe benutzen. Die ZLugl-Verbindungen entsprechen den HW-Externverbindungen bei ZRZ-KAN. Sie belegen ebenfalls mit ihren beiden Sprechwegen Koppelvielfache unterschiedlicher Ordnungsnummer in den beiden äußeren Stufen.

Die highwayinternen und highwayexternen Verbindungen der RZR-KAN werden nicht separat behandelt. Sie besitzen beide die Verlustwahrscheinlichkeit der zeitlagenungleichen Verbindungen (vgl. Kap. 5.1.2).

Bei der Bündelanschaltung nach Bild 8.10 ist an jedes KVf der ersten bzw. letzten Stufe genau eine Leitung jedes Zubringer- bzw. Abnehmerbündels angeschlossen. Mit guter Näherung kann deshalb angenommen werden, daß die Belegungen der Eingänge jedes dieser KVf statistisch unabhängig auftreten. Die Zustandswahrscheinlichkeit des Summenzustands x_1 bzw. x_3 im Start- bzw. Ziel-KVf kann deshalb analog zu der Binomialverteilung nach Gl.(8.10) berechnet werden.

$$p_{b,s}(x_1) = \binom{h_1}{x_1} \cdot \left(\frac{y}{M}\right)^{x_1} \left(1 - \frac{y}{M}\right)^{h_1 - x_1} \quad x_1 = 0, 1, \dots, h_1$$

$$p_{b,s}(x_3) = p_{b,s}(x_1) \quad j_3 = h_1 \quad (8.33)$$

Die Sperrwahrscheinlichkeit des Hinwegs einer ZLugl-Verbindung erhält man analog zu Gl.(8.13).

$$c_{ugl, bel}(x_1, x_3) = \frac{\binom{x_3}{k_{eff, ugl, bel}}}{\binom{h_3}{k_{eff, ugl, bel}}} \quad (8.34)$$

Mit dieser Wahrscheinlichkeit sind jene Eingänge des Ziel-KVf, die vom Start-KVf aus absuchbar sind, gesperrt. Bei der beliebigen Wegezuteilung trägt auch der Rückweg zur Verlustwahrscheinlichkeit bei. Dessen Sperrwahrscheinlichkeit ist gleich groß wie die des Hinwegs. Somit erhält man die Blockierungswahrscheinlichkeit einer ZLugl-Verbindung durch die gewichtete Aufsummation der Sperrwahrscheinlichkeiten für den Hin- und Rückweg. Dabei gilt die Voraussetzung, daß im Ziel-Koppelvielfach die Abnehmerleitung in die gewünschte Richtung noch frei ist.

Für einen Belegungszustand x_3 ist dies mit

$$a = 1 - x_3 / j_3 \quad (8.35)$$

bei gleichmäßiger Verkehrsbelastung der Ausgänge erfüllt. Mit der gesamten Sperrwahrscheinlichkeit einer zeitlagenungleichen Verbindung,

$$c_{ugl, bel, ges}(x_1, x_3) = c_{ugl, bel} + (1 - c_{ugl, bel}) \cdot c_{ugl, bel} \quad (8.36)$$

zusammengesetzt aus den Sperrwahrscheinlichkeiten des Hin- und Rückwegs, ergibt sich die Blockierungswahrscheinlichkeit zu

$$E_{ugl, bel}(x_1) = \frac{\sum_{x_3=0}^{j_3} (1 - x_3 / j_3) \cdot p_{b,s}(x_3) \cdot c_{ugl, bel, ges}(x_1, x_3)}{\sum_{x_3=0}^{j_3} (1 - x_3 / j_3) \cdot p_{b,s}(x_3)} \quad (8.37a)$$

und umgeformt

$$E_{ugl, bel}(x_1) = \sum_{x_3=0}^{j_3} \frac{j_3 - x_3}{j_3 - y_3} p_{b,s}(x_3) \cdot c_{ugl, bel, ges}(x_1, x_3) \quad (8.37b)$$

y_3 stellt die mittlere Belastung eines KVf in der dritten Stufe dar.

Der Summenzustand $x_1 = 2x_{g1} + x_{ug1}$ im Start-KVf (Bild 8.10) wird aus $2x_{g1}$ zeitlagengleichen und x_{ug1} zeitlagenungleichen Belegungen gebildet. Es hat sich gezeigt, daß die Auftrittswahrscheinlichkeit für zwei und mehr ZLgl-Verbindungen pro KVf in der ersten und letzten Stufe vernachlässigbar gering ist (vgl. Kap.5.1.2). Deshalb kann für die Bestimmung der zweidimensionalen Zustandswahrscheinlichkeit angenommen werden, daß höchstens eine ZLgl-Verbindung je Start-KVf besteht. Damit erhält man für diese vereinfachten, zweidimensionalen Zustände ($2x_{g1}=0, x_{ug1}$) und ($2x_{g1}=2, x_{ug1}$) die Zustandswahrscheinlichkeit, indem man die Wahrscheinlichkeit des Summenzustands x_1 folgendermaßen aufteilt:

$$\left. \begin{aligned}
 p_b(2x_{gl}=0, x_{ugl}=x_1) &= p_{b,s}(x_1) & x_1 &= 0, 1 \\
 p_b(2x_{gl}=0, x_{ugl}=x_1) &= (1-f) p_{b,s}(x_1) \\
 p_b(2x_{gl}=2, x_{ugl}=x_1-2) &= f \cdot p_{b,s}(x_1)
 \end{aligned} \right\} x_1 = 2, 3, \dots, h_1 \quad (8.38)$$

Der Aufteilungsfaktor f ergibt sich, bei vorausgesetzter gleichmäßiger Aufteilung des Verkehrs, aus den Strukturgrößen der KAN. Er stellt die Wahrscheinlichkeit dar für das Auftreten dieser einen, o.a. ZLgl-Verbindung, die beim Typ RZR nur eine Highway-Externverbindung sein kann. Bei h_1 angeschlossenen Highways und damit einem Externverkehrsanteil von $(1-1/h_1)$ ergibt sich dann

$$f = 1/M (1 - 1/h_1) = (h_1 - 1) / (M - h_1) \quad (8.39)$$

Die Ankunftsrate $\lambda(x_1)$ der Rufe am Start-KVf nimmt mit zunehmendem Belegungszustand des Start-KVf ab, da jede Zubringerleitung im Mittel die konstante Anrufrate α besitzt.

$$\lambda(x_1) = \alpha (h_1 - x_1) \quad x_1 = 0, 1, \dots, h_1 \quad (8.40)$$

Die PP-Verlustwahrscheinlichkeit ist jene bedingte Wahrscheinlichkeit, mit der ein eintreffender Ruf das Ziel-KVf blockiert vorfindet. Sie wird bestimmt durch gewichtetes Aufsummieren der Blockierungswahrscheinlichkeiten nach Gl.(8.37) über alle zwei-dimensionalen Zustände des Start-KVf.

$$B_{PP_{ugl},bel} = \frac{\sum_{x_{gl}=0}^1 \sum_{x_{ugl}=0}^{h_1-2x_{gl}} \alpha (h_1 - x_1) \cdot p_b(2x_{gl}, x_{ugl}) E_{ugl,bei}(x_1)}{\sum_{x_1=0}^{h_1} \alpha (h_1 - x_1) p_{b,s}(x_1)} \quad (8.41a)$$

bzw. umgeformt

$$B_{PP_{ugl},bel} = \sum_{x_{gl}=0}^1 \sum_{x_{ugl}=0}^{h_1-2x_{gl}} \frac{h_1 - x_1}{h_1 - y_1} p_b(2x_{gl}, x_{ugl}) E_{ugl,bei}(x_1) \quad (8.41b)$$

y_1 in obiger Gleichung ist die einheitliche Verkehrsbelastung jedes Koppelvielfachs der ersten Stufe.

Ein Vergleich der Blockierungs- und Verlustwahrscheinlichkeit der zeitlagenungleichen Verbindungen in einer RZR-Struktur mit den highwayexternen Verbindungen in einer gleichgroßen ZRZ-KAN (Gl.(8.37b) mit (8.14) und (8.41b) mit (8.15)) liefert die beiden wesentlichen Unterschiede der Berechnung, die sich in den Gleichungen (8.35) und (8.40) widerspiegeln:

- Ein Koppelvielfach der dritten Stufe in der äquivalenten RVf-Darstellung der RZR-KAN wird nur unter der Bedingung markiert, d.h. ist nur dann ein Ziel-KVf, wenn die einzige, dort angeschlossene und gewünschte Abnehmerleitung frei ist.
- Der Ankunftsprozeß in einem Start-KVf der RZR-KAN ist ein Bernoulli-Ankunftsprozeß, d.h. die Verlustwahrscheinlichkeit wird für Zufallsverkehr 2.Art berechnet.

Diese beiden Unterschiede werden nun auch im folgenden benutzt, indem die entsprechenden Formeln für die ZRZ-KAN entsprechend abgeändert werden.

II. Quasisymmetrische Wegezuteilung

Bei der Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit für die quasisymmetrische Wegezuteilung muß nur der Hinweg berücksichtigt werden. Dessen effektive Erreichbarkeit und Sperrwahrscheinlichkeit erhält man zu (vgl. Gl.(8.16) und (8.18)) :

$$k_{\text{eff}, \text{ugl}, \text{quasi}}(x_1) = (j_1 - x_1) + x_{\text{ugl}} / 2(M-1) \quad (8.42)$$

und

$$c_{\text{ugl}, \text{quasi}}(x_1, x_3) = c_{\text{ugl}, \text{bel}}(x_1, x_3) \quad (8.43)$$

Damit gilt für die Verlustwahrscheinlichkeit

$$B_{\text{ppugl}, \text{quasi}} = \sum_{x_{\text{gl}}=0}^1 \sum_{x_{\text{ugl}}=0}^{h_1 - 2x_{\text{gl}} - 1} \frac{h_1 - x_1}{h_1 - y_1} p_b(2x_{\text{gl}}, x_{\text{ugl}}) E_{\text{ugl}, \text{quasi}}(x_1) \quad (8.44a)$$

In diese Formel ist für die Blockierungswahrscheinlichkeit einzusetzen:

$$E_{\text{ugl}, \text{quasi}}(x_1) = \sum_{x_3=0}^{j_3-1} \frac{j_3 - x_3}{j_3 - y_3} p_{b,s}(x_3) c_{\text{ugl}, \text{quasi}}(x_1, x_3) \quad (8.44b)$$

III. S y m m e t r i s c h e Wegezuteilung

Durch Ersetzen der entsprechenden Strukturparameter erhält man die effektive Erreichbarkeit mit GL.(8.19) zu

$$k_{\text{eff}, \text{ugl}, \text{sym}}(x_1) = (j_1 - x_1) \cdot (1 - 2/M) + x_1 / 2(M-1) \quad (8.45)$$

und die Sperrwahrscheinlichkeit mit GL.(8.20)

$$c_{\text{ugl}, \text{sym}}(x_1, x_3) = \frac{\binom{x_3}{k_{\text{eff}, \text{ugl}, \text{sym}}}}{\binom{h_3}{k_{\text{eff}, \text{ugl}, \text{sym}}}} \quad (8.46)$$

Unter Berücksichtigung der Gleichungen (8.35) und (8.40) lassen sich die Blockierungswahrscheinlichkeit und die Verlustwahrscheinlichkeit aus den Gl.(8.21) und (8.22) ableiten:

$$E_{\text{ugl}, \text{sym}}(x_1) = \sum_{x_3=0}^{j_3-1} \frac{j_3 - x_3}{j_3 - y_3} p_{b,s}(x_3) \cdot c_{\text{ugl}, \text{sym}}(x_1, x_3) \quad (8.47)$$

$$B_{\text{ppugl}, \text{sym}} = \sum_{x_1=0}^{h_1-1} \frac{h_1 - x_1}{h_1 - y_1} p_{b,s}(x_1) \cdot E_{\text{ugl}, \text{sym}}(x_1) \quad (8.48)$$

Y_1 und Y_3 sind die Verkehrsbelastungen des Start- und Ziel-KVf.

8.2.2.2 Verlustwahrscheinlichkeiten B_{ppgl} für zeitlagengleiche Verbindungen

Zeitlagengleiche Verbindungen sind bei RZR-Strukturen grundsätzlich Highway-Externverbindungen und können nur mit dem beliebigen und dem quasisymmetrischen Wegezuteilungsprinzip durchgeschaltet werden. Sie entsprechen in der äquivalenten RVf-Darstellung der RZR-KAN den HW-Internverbindungen in jener der ZRZ-KAN. Ersetzt man deshalb, neben den Strukturparametern, in den Bildern 8.5, 8.6, 8.7 und 8.8 die Indizes "i" und "e" durch "gl" und "ugl", so können diese Bilder hier ebenfalls für die Berechnung der PP-Verlustwahrscheinlichkeit der zeitlagengleichen Verbindungen bei der beliebigen und quasisymmetrischen Wegezuteilung herangezogen werden.

I. Beliebige Wegezuteilung

Die in den Gl.(8.23) und (8.24) abgeleitete effektive Erreichbarkeit und die mit ihr berechnete Sperrwahrscheinlichkeit gilt sinngemäß auch für ZLgl-Verbindungen:

$$k_{eff,gl,bei}(x_1) = (j_1 - x_1) + x_{gl} \quad (8.49)$$

und

$$c_{gl,bei}(x_1) = \frac{\binom{x_1 - x_{gl}}{k_{eff,gl,bei}} + \binom{x_1 - x_{gl}}{k_{eff,gl,bei} - 1} \cdot (j_1 - x_1)}{\binom{h_3 - x_{gl}}{k_{eff,gl,bei}}} \quad (8.50)$$

Die Punkt-Punkt Verlustwahrscheinlichkeit für zeitlagengleiche Verbindungen läßt sich als gewichtete Aufsummation dieser Sperrwahrscheinlichkeit darstellen.

$$B_{PPgl,bei} = \frac{\sum_{x_{gl}=0}^1 \sum_{x_{ugl}=0}^{h_1 - 2x_{gl} - 2} (h_1 - x_1)(j_3 - x_1 - 1) p_b(2x_{gl}, x_{ugl}) \cdot c_{gl,bei}(x_1)}{\sum_{x_1=0}^{h_1 - 2} (h_1 - x_1)(j_3 - x_1 - 1) p_{b,S}(x_1)} \quad (8.51)$$

Das Analogon zu dieser Verlustwahrscheinlichkeit stellt die* Gl.(8.25) dar. Der unterschiedliche Zufallsverkehr jedoch, d.h. ZV 2 bei dieser RZR-KAN, ist in Gl.(8.51) durch die Faktoren $(h_1 - x_1)$ berücksichtigt. Die Wahrscheinlichkeit $(1 - (x_1 - 1)/j_3)$, daß im Ziel-KVf die gewünschte Abnehmerleitung frei ist, wird durch die Faktoren $(j_3 - x_1 - 1)$ berücksichtigt.

II. Quasisymmetrische Wegezuteilung

Die effektive Erreichbarkeit und die Sperrwahrscheinlichkeit werden mit Hilfe der Gleichungen (8.26) und (8.28) ermittelt. Sie lauten dann für die zeitlagengleichen Verbindungen einer RZR-Struktur:

$$k_{eff,gl,quasi}(x_1, \xi_1) = (j_1/2 - \xi_1) + x_{gl} \quad (8.52)$$

und

$$c_{gl,quasi}(x_1, \xi_1) = \frac{\binom{x_1 - \xi_1}{k_{eff,gl,quasi}}}{\binom{h_3/2}{k_{eff,gl,quasi}}} \quad (8.53)$$

In Gl.(8.53) wurde die Anzahl $\xi_3 = x_1 - \xi_1$ der belegten Eingänge der oberen Hälfte des Ziel-KVf bereits eingesetzt. Die Wahrscheinlichkeit dieses Zustands, der einen bestimmten Zustand x_1 im Start- und Ziel-KVf zur Bedingung hat, erhält man mit Hilfe von Gl.(8.29) zu

$$p(\xi_1 | x_1) = \frac{\binom{j_1/2 - x_{gl}}{\xi_1 - x_{gl}} \cdot \binom{j_1/2 - x_{gl}}{x_{ugl} - \xi_1 + x_{gl}}}{\binom{j_1 - 2x_{gl}}{x_{ugl}}} \quad (8.54)$$

sodaß man die Blockierungswahrscheinlichkeit des Ziel-KVf angeben kann:

$$E_{gl,quasi}(x_1) = \sum_{\xi_1 = \xi_{1u}}^{\xi_{1o}} p(\xi_1 | x_1) c_{gl,quasi}(\xi_1, x_1) \quad (8.55a)$$

mit den von x_1 abhängigen Summationsgrenzen

$$\xi_{1u} = \max. \{ x_{gl}, x_1 - j_1/2 \} \quad (8.55b)$$

$$\xi_{10} = \min \{ x_{gl} + x_{ugl}, j_1/2 \} \quad (8.55c)$$

Für die Verlustwahrscheinlichkeit gilt schließlich, analog zu Gl.(8.31)

$$B_{ppgl,quasi} = \frac{\sum_{x_{gl}=0}^1 \sum_{x_{ugl}=0}^{h_1-2x_{gl}-2} (h_1-x_1)(j_3-x_1-1) p_b(2x_{gl}, x_{ugl}) E_{gl,quasi}(x_1)}{\sum_{x_1=0}^{h_1-2} (h_1-x_1)(j_3-x_1-1) p_{b,s}(x_1)} \quad (8.56)$$

Hier muß wieder der Zufallsverkehr 2.Art und die Voraussetzung der freien Abnehmerleitung berücksichtigt werden. Die oberen Summationsgrenzen verringern sich damit automatisch auf $x_1 = h_1-2$.

8.2.3 Vierstufige ZRRZ-Koppelanordnungen

Bei diesem Typ einer vierstufigen Koppelanordnung müssen drei verschiedene Verbindungstypen, die highwayinternen, die blockinternen und die blockexternen Verbindungen betrachtet werden. Diese haben unterschiedliche Verlustwahrscheinlichkeiten, je nach dem angewendeten Wegezuteilungsprinzip.

8.2.3.1 Verlustwahrscheinlichkeiten B_{ppbe} für Block-Externverbindungen

I. Beliebige Wegezuteilung

Bild 8.11 zeigt den gesamten Verbindungsgraphen einer BL-Externverbindung. Im Verbindungsgraph des Hinwegs sind die einzelnen Terme der effektiven Erreichbarkeit eingetragen, der Graph des Rückwegs ist der Übersichtlichkeit halber nur gestrichelt dargestellt.

Der momentane Belegungszustand des Start-Koppelvielfachs des Hinwegs ist $x_1 = 2x_i + x_e$, hervorgerufen durch HW-Internverbindungen und HW-Externverbindungen. Die Wahrscheinlichkeit dieses Zustands ist durch $p(2x_i, x_e)$ angegeben und wird berechnet mit Gl.(8.8). Im Ziel-KVf des Hinwegs seien x_4 Eingänge mit der Wahrscheinlichkeit $p_s(x_4)$ nach Gl.(8.9) belegt.

Die Koppelvielfache der ersten Stufe tragen jeweils eine Verkehrsbelastung Y_1 , die sich gemäß Gl.(8.8b) und (8.8c) aus der Highway-Internbelastung Y_i und der Highway-Externbelastung Y_e zusammensetzt.

Y_i belastet ausschließlich die horizontalen Zwischenleitungen zwischen Stufe 2 und 3, wogegen Y_e mit dem relativen Anteil an BL-Internverbindungen die horizontalen und mit dem relativen Anteil an BL-Externverbindungen die diagonalen Zwischenleitungen zwischen der zweiten und dritten Stufe belastet. Somit ergibt sich für die Belastung einer horizontalen Zwischenleitung

$$Y_{2H} = Y_i \frac{h_2}{M^*} + Y_e \frac{h_2}{M^*} \frac{j_3-1}{j_2 j_3-1} \quad (8.57a)$$

und einer diagonalen Zwischenleitung von Stufe 2 nach Stufe 3

$$Y_{2D} = Y_e \frac{h_2}{M^*} \frac{j_3}{j_2 j_3-1} \quad (8.57b)$$

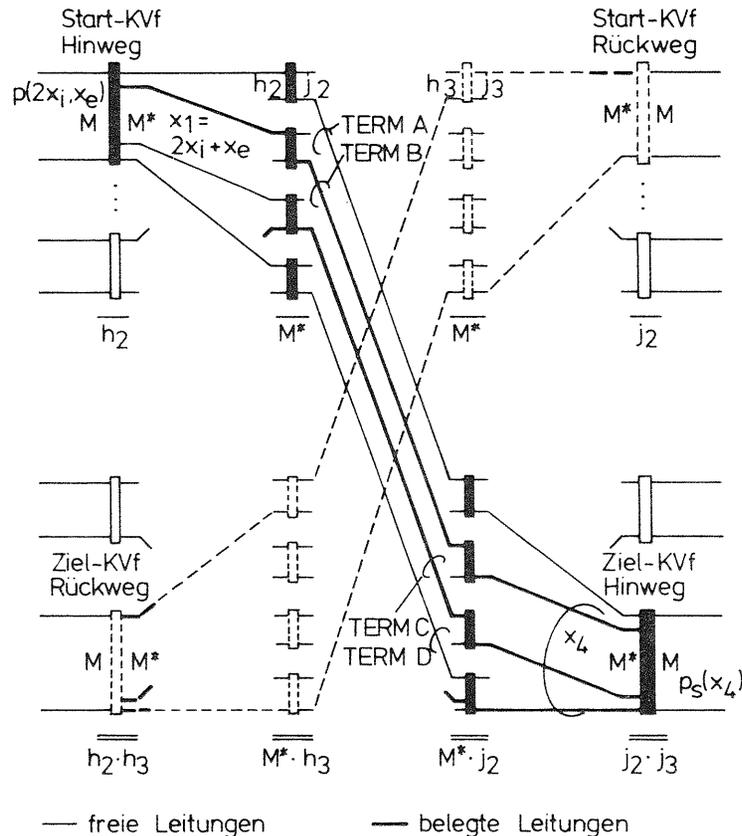


Bild 8.11: Verbindungsgraph zur Bestimmung der effektiven Erreichbarkeit von Block-Externverbindungen

Die Terme der effektiven Erreichbarkeit des Hinwegs einer BL-Externverbindung sind im Bild 8.11 symbolisch eingetragen. Ihre Bedeutung wird im folgenden erklärt.

$$TERM A = (M^* - x_1) \cdot (1 - Y_{2D}) \cdot (1 - Y_3 / j_3) \quad (8.58a)$$

Term A gibt an, wieviele freie Eingänge des Ziel-KVf im Mittel vom Start-KVf aus über freie Zwischenleitungen erreicht werden können, wenn x_1 Ausgänge des Start-KVf belegt sind. Dabei ist eine diagonale Zwischenleitung zwischen Stufe 2 und 3 mit $(1 - Y_{2D})$ frei. Eine Zwischenleitung von einem KVf der dritten Stufe zur vierten Stufe, das mit Y_3 belastet ist, ist mit der Wahrscheinlichkeit $(1 - Y_3 / j_3)$ ins Ziel-KVf frei.

$$TERM B = x_e / 2 (j_2 \cdot j_3 - 1) \quad (8.58b)$$

Term B umfaßt den Bruchteil der vom Start-KVf ins Ziel-KVf bestehenden Externverbindungen bei gleichmäßiger Verkehrsaufteilung. Der Faktor 2 berücksichtigt, daß diese Belegungen auch Rückwegbelegungen anderer Verbindungen enthalten und durch einen Verbindungswunsch im entsprechenden Start-KVf der Gegenrichtung belegt werden könnten.

$$TERM C = (M^* - x_1) \cdot Y_{2D} / j_3 \quad (8.58c)$$

Term C steht für die Anzahl ins Ziel-KVf belegter, diagonaler Zwischenleitungen zwischen der Stufe 2 und 3, die über freie Ausgänge des Start-KVf abgesucht werden können.

$$TERM D = (M^* - x_1) (1 - Y_{2D}) \cdot Y_3 / j_3 \quad (8.58d)$$

Term D repräsentiert jenen Bruchteil ins Ziel-KVf belegter Ausgänge von Koppelvielfachen in der dritten Stufe, die im Mittel vom Start-KVf aus über freie Zwischenleitungen abgesucht werden können.

Bei den Termen A bis D der effektiven Erreichbarkeit werden nur Mittelwerte der Belastungen in den Stufen 2 und 3 berücksichtigt, nicht jedoch deren Verteilung. Dies führt, insbesondere bei aufgeweiteten Systemen, zu einer Überschätzung der effektiven Erreichbarkeit, d.h. die näherungsweise berechneten Verlustwahrscheinlichkeiten besitzen zu geringe Werte bei niedrigen Belastungen, verglichen mit den simulativ ermittelten Werten. Um genauere Ergebnisse zu erzielen, wird der Term D (wie auch beim PPL-Verfahren /39/) in zwei Teilterme D_1 und D_2 so aufgespalten, daß bei nicht aufgeweiteten Koppelanordnungen die Summe der Terme A bis D für die effektive Erreichbarkeit erhalten bleibt. Für aufgeweitete KAN wird jedoch die effektive Erreichbarkeit umso mehr verringert, je kleiner die Belastung der KAN ist. Dadurch wird der o.a. "Mittelwertsfehler" ausgeglichen.

$$\text{TERM } D_1 = (M-x_1)(1-y_{2D}) Y_3/j_3 \quad (8.58e)$$

$$\text{TERM } D_2 = (M^*-M)(1-y_{2D}) Y_3/j_3 \cdot Y_3/j_3 \quad (8.58f)$$

Es hat sich gezeigt, daß diese belastungsabhängige Korrektur der effektiven Erreichbarkeit am besten durch eine weitere Multiplikation des Terms D_2 mit Y_3/j_3 erreicht wird, welcher nur bei aufgeweiteten Systemen ($M^* > M$) einen Beitrag liefert. Die effektive Erreichbarkeit für den Hinweg von beliebig zugeordneten Sprechwegen von Block-Externverbindungen erhält man schließlich aus der Summe der einzelnen Terme

$$k_{\text{eff,be,be}}(x_1) = \text{TERMA} + \text{TERMB} + \text{TERMC} + \text{TERM } D_1 + \text{TERM } D_2 \quad (8.58h)$$

Die effektive Erreichbarkeit des Rückwegs kann, wie bei den dreistufigen KAN, durch eine gedankliche Umkehrung der Suchrichtung bestimmt werden. Da die so definierten Start-KVf und deren Ziel-KVf (vgl. Bild 8.11) aus Symmetriegründen identische Belegungszustände aufweisen, und weil der Verbindungsgraph des Rückwegs von demjenigen des Hinwegs völlig getrennt ist, berechnet sich die effektive Erreichbarkeit des Rückwegs ebenfalls nach Gl.(8.58h).

Beide Sprechrichtungen besitzen demzufolge auch gleich große Sperrwahrscheinlichkeiten; jene einer Sprechrichtung lautet

$$c_{\text{be,be}}(x_1, x_4) = \frac{\binom{x_4}{k_{\text{eff,be,be}}}}{\binom{M^*}{k_{\text{eff,be,be}}}} \quad (8.59)$$

Unter der Annahme der statistischen Unabhängigkeit von Sperrzuständen in beiden Sprechrichtungen kann man die Gesamt-Sperrwahrscheinlichkeit einer BL-Externverbindung angeben:

$$c_{\text{be,be,ges}}(x_1, x_4) = c_{\text{be,be}} + (1 - c_{\text{be,be}}) \cdot c_{\text{be,be}} \quad (8.60)$$

Die Blockierungswahrscheinlichkeit der Ziel-KVf erhält man, indem alle möglichen Belegungszustände x_4 der Ziel-KVf berücksichtigt werden

$$E_{\text{be,be}}(x_1) = \frac{1}{1 - p_S(M)} \sum_{x_4=0}^{M-1} p_S(x_4) \cdot c_{\text{be,be,ges}}(x_1, x_4) \quad (8.61)$$

Der Zustand $x_4 = M$ muß unberücksichtigt bleiben, weil in diesem Zustand keine Abnehmerleitung mehr frei ist und das KVf deshalb nicht markiert wird.

Die Verlustwahrscheinlichkeit der blockexternen Verbindungen läßt sich als gewichtete Aufsummation dieser Blockierungswahrscheinlichkeiten darstellen.

$$B_{\text{ppbe,be}} = \frac{1}{1 - p_S(M)} \sum_{x_i=0}^{\{M/2 - 0,1\} - 1} \sum_{x_e=0}^{M - 2x_i - 1} p(2x_i, x_e) E_{\text{be,be}}(x_1) \quad (8.62)$$

Der Zustand $x_1 = M$ im Start-KVf muß dabei unberücksichtigt bleiben, weil in diesem Zustand keine Zubringerleitung mehr frei ist, und deshalb kein Belegungswunsch mehr eintrifft.

II. Quasisymmetrische Wegezuteilung

Bei der quasisymmetrischen Wegezuteilung der beiden Sprechwege einer BL-Externverbindung muß der Rückweg für die Bestimmung der Verlustwahrscheinlichkeit nicht berücksichtigt werden. Diese ergibt sich allein aus der Blockierung des Hinwegs, dessen effektive Erreichbarkeit und Sperrwahrscheinlichkeit hier genau so groß sind wie für einen Sprechweg bei der oben behandelten, beliebigen Wegezuteilung, Gl.(8.58) und (8.59).

$$k_{eff,be,quasi}(x_1) = k_{eff,be,bel}(x_1) \quad (8.63)$$

$$c_{be,quasi}(x_1, x_4) = c_{be,bel}(x_1, x_4) \quad (8.64)$$

Für die Verlustwahrscheinlichkeit gilt schließlich

$$B_{ppbe,quasi} = \frac{1}{1-p_s(M)} \sum_{x_i=0}^{\{M/2-0,1\}-1} \sum_{x_e=0}^{M-2x_i-2} p(2x_i, x_e) E_{be,quasi}(x_1) \quad (8.65a)$$

mit

$$E_{be,quasi}(x_1) = \frac{1}{1-p_s(M)} \sum_{x_4=0}^{M-1} p_s(x_4) \cdot c_{be,quasi}(x_1, x_4) \quad (8.65b)$$

III. Symmetrische Wegezuteilung

Für die Bestimmung der Verlustwahrscheinlichkeit einer blockexternen Verbindung, deren Sprechwege symmetrisch zugeteilt werden, muß ebenfalls nur der Hinweg berücksichtigt werden. Der Rückweg verläuft, wie im Bild 8.11 dargestellt, im gestrichelten Verbindungsgraphen, und benutzt dort Zwischenleitungen, die zum Hinweg symmetrisch angeordnet sind. Verglichen mit der quasi-

symmetrischen Wegezuteilung ist dies der einzige Unterschied, der jedoch bei ZRRZ-KAN für die effektive Erreichbarkeit ohne Belang ist, weil, im Gegensatz zu dreistufigen Systemen ZRZ, hier kein KVf einer Mittelstufe gleichzeitig für den Hin- und Rückweg benutzt werden kann. Dies bedeutet, daß die Gl.(8.63) und (8.64) auch für die symmetrische Wegezuteilung bei ZRRZ-KAN gelten.

Mit dem symmetrischen Wegezuteilungsprinzip sind allerdings keine HW-Internverbindungen möglich. Die Zustandswahrscheinlichkeiten in den Koppelvielfachen der äußeren Stufen werden deshalb mit einer eindimensionalen Erlang-Verteilung nach Gl.(8.6) ermittelt. Damit erhält man für die Verlustwahrscheinlichkeit, analog zu Gl.(8.65)

$$B_{ppbe,sym} = \frac{1}{(1-p_e(M))^2} \sum_{x_1=0}^{M-1} p_e(x_1) \sum_{x_4=0}^{M-1} p_e(x_4) c_{be,quasi}(x_1, x_4) \quad (8.66)$$

8.2.3.2 Verlustwahrscheinlichkeiten B_{ppbi} für Block-Internverbindungen

I. Beliebige Wegezuteilung

Bild 8.12 zeigt einen Block der ZRRZ-Koppelanordnung in der äquivalenten Raumvielfachdarstellung.

Im Verbindungsgraphen des Hinwegs sind die Terme der effektiven Erreichbarkeit gekennzeichnet. Der Verbindungsgraph des Rückwegs, gestrichelt dargestellt, ist zwischen den Stufen 2 und 3 mit demjenigen des Hinwegs identisch, da die horizontalen Leitungen gemeinsam benutzt werden müssen. In den Start-Koppelvielfachen seien x_1 Ausgänge mit $p(2x_1, x_e)$ und in den Ziel-KVf x_4 Ausgänge mit $p_s(x_4)$ belegt.

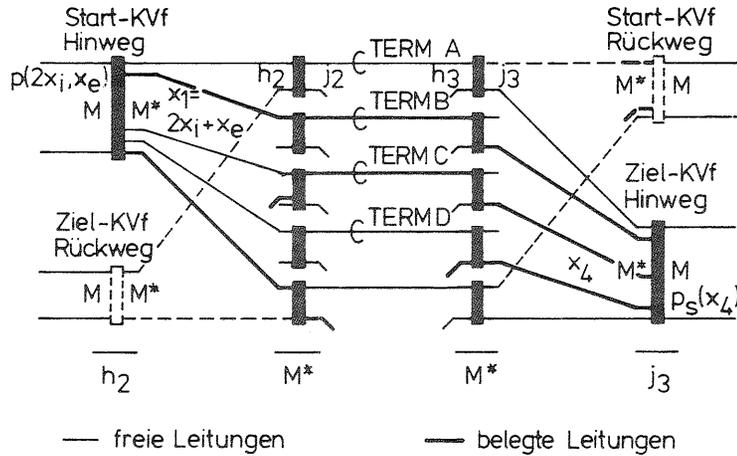


Bild 8.12: Verbindungsgraph zur Bestimmung der effektiven Erreichbarkeit von Block-Externverbindungen

Der gemeinsame Teil der Verbindungsgraphen für Hin- und Rückweg zwischen Stufe 2 und 3 führt zu einer Verringerung der effektiven Erreichbarkeit des Rückwegs, der unmittelbar nach der erfolgreichen Durchschaltung des Hinwegs gesucht wird. Diese Reduzierung ist der einzige Unterschied gegenüber den blockexternen Verbindungen. Man kann also die effektive Erreichbarkeit des Hinwegs einer blockinternen Verbindung aus den Gl.(8.58 a-f) ableiten. Dazu sind nur die diagonalen Zwischenleitungsbelastungen Y_{2D} durch die horizontalen Belastungen Y_{2H} nach Gl.(8.57a) zu ersetzen:

$$TERM A = (M^* - x_1) (1 - Y_{2H}) (1 - Y_3/j_3) \quad (8.67a)$$

$$TERM B = x_e / 2 (j_2 \cdot j_3 - 1) \quad (8.67b)$$

$$TERM C = (M^* - x_1) \cdot Y_{2H} / j_3 \quad (8.67c)$$

$$TERM D_1 = (M - x_1) (1 - Y_{2H}) Y_3 / j_3 \quad (8.67d)$$

$$TERM D_2 = (M^* - M) (1 - Y_{2H}) \cdot Y_3 / j_3 \cdot Y_3 / j_3 \quad (8.67e)$$

$$k_{eff, bi, bel}(x_1) = TERM A + TERM B + TERM C + TERM D_1 + TERM D_2 \quad (8.67f)$$

Für den Hinweg ergibt sich dann, analog zu Gl.(8.59), die Sperrwahrscheinlichkeit zu

$$C_{bi, bel, H}(x_1, x_4) = \frac{\binom{x_4}{k_{eff, bi, bel}}}{\binom{M^*}{k_{eff, bi, bel}}} \quad (8.68)$$

Keht man - in Gedanken - die Suchrichtung des Rückwegs um, so ergibt sich für den Rückweg zunächst dieselbe effektive Erreichbarkeit wie für den Hinweg. Der Rückweg der blockinternen Verbindung wird aber erst dann aufgebaut, wenn der Hinweg erfolgreich durchgeschaltet werden konnte. Somit ist eine weitere, horizontale Zwischenleitung schon belegt, und der Rückweg besitzt eine um eins verminderte Erreichbarkeit, verglichen mit dem Hinweg.

Die Sperrwahrscheinlichkeit des Rückwegs lautet dann

$$C_{bi, bel, R}(x_1, x_4) = (1 - C_{bi, bel, H}(x_1, x_4)) \frac{\binom{x_4}{k_{eff, bi, bel} - 1}}{\binom{M^*}{k_{eff, bi, bel} - 1}} \quad (8.69)$$

und für die gesamte Block-Internverbindung ergibt sich

$$C_{bi, bel}(x_1, x_4) = C_{bi, bel, H}(x_1, x_4) + C_{bi, bel, R}(x_1, x_4) \quad (8.70)$$

Damit kann die Blockierungswahrscheinlichkeit

$$E_{bi, bel}(x_1) = \frac{1}{1 - P_S(M)} \sum_{x_4=0}^{M-1} P_S(x_4) \cdot C_{bi, bel}(x_1, x_4) \quad (8.71)$$

und schließlich die Verlustwahrscheinlichkeit angegeben werden

$$B_{PP_{bi, bel}} = \frac{1}{1 - P_S(M)} \sum_{x_i=0}^{\lfloor M/2 - 0.1 \rfloor - 1} \sum_{x_e=0}^{M - 2x_i - 1} p(2x_i, x_e) E_{bi, bel}(x_1) \quad (8.72)$$

II. Quasisymmetrische Wegezuteilung

Werden die beiden Sprechwege quasisymmetrisch zugeteilt, so muß für die Bestimmung der Verlustwahrscheinlichkeit der blockinternen Verbindung nur noch der Hinweg betrachtet werden. Die beiden Verbindungsgraphen decken sich strukturbedingt zwischen den Stufen 2 und 3. Infolge der quasisymmetrischen Wegezuteilung des Rückwegs sind in den horizontalen Zwischenleitungen immer Paare aus fest zugeordneten Leitungen belegt oder frei.

Dies führt zu einer Reduzierung der effektiven Erreichbarkeit des Hinwegs einer Block-Internverbindung, verglichen mit derjenigen der blockexternen Verbindung. Die einzelnen Terme der effektiven Erreichbarkeit ergeben sich zunächst aus jenen für BL-Externverbindungen nach Gl.(8.63), indem die diagonalen Zwischenleitungsbelastungen Y_{2D} durch die horizontalen Y_{2H} ersetzt werden:

$$TERM A = (M^* - x_1)(1 - Y_{2H})(1 - Y_3/j_3) \quad (8.73a)$$

$$TERM B = x_e/2 (j_2 \cdot j_3 - 1) \quad (8.73b)$$

$$TERM C = (M^* - x_1) Y_{2H}/j_3 \quad (8.73c)$$

$$TERM D_1 = (M - x_1)(1 - Y_{2H}) Y_3/j_3 \quad (8.73d)$$

$$TERM D_2 = (M^* - M)(1 - Y_{2H}) Y_3/j_3 \cdot Y_3/j_3 \quad (8.73e)$$

Für die effektive Erreichbarkeit werden diese Terme addiert, aber zusätzlich muß ein Reduktionsbetrag R subtrahiert werden.

$$k_{eff, bi, quasi}(x_1) = TERM A + TERM B + TERM C + TERM D_1 + TERM D_2 - R \quad (8.74)$$

Der Term R wird später noch berechnet - Gl.(8.81). Setzt man ihn zunächst als bekannt voraus, so lautet die Sperrwahrscheinlichkeit der blockinternen Verbindung

$$C_{bi, quasi}(x_1, x_4) = \frac{\binom{x_4}{k_{eff, bi, quasi}}}{\binom{M^*}{k_{eff, bi, quasi}}} \quad (8.75)$$

Damit gilt für die Blockierungswahrscheinlichkeit

$$E_{bi, quasi}(x_1) = \frac{1}{1 - P_S(M)} \sum_{x_4=0}^{M-1} P_S(x_4) C_{bi, quasi}(x_1, x_4) \quad (8.76)$$

und für die Verlustwahrscheinlichkeit

$$B_{PP_{bi, quasi}} = \frac{1}{1 - P_S(M)} \sum_{x_i=0}^{\lfloor M/2 - 0.1 \rfloor - 1} \sum_{x_e=0}^{M - 2x_i - 2} p(2x_i, x_e) E_{bi, quasi}(x_1) \quad (8.77)$$

Bild 8.13 zeigt als Ausschnitt einen Block aus der äquivalenten RVf-Darstellung der ZRRZ-KAN mit quasisymmetrisch zugeteilten Sprechwegen einer Verbindung. Dieses Zuteilungsprinzip bewirkt, daß die horizontalen Zwischenleitungen zwischen Stufe 2 und 3 immer paarweise belegt oder frei sind. Im Bild 8.13 sind jene Paare mit freien horizontalen Zwischenleitungen (freie Paare) mit * gekennzeichnet, welche einen Beitrag zum Term A oder Term D (= Term D_1 + Term D_2) leisten, entweder mit beiden oder mit nur einer Leitung.

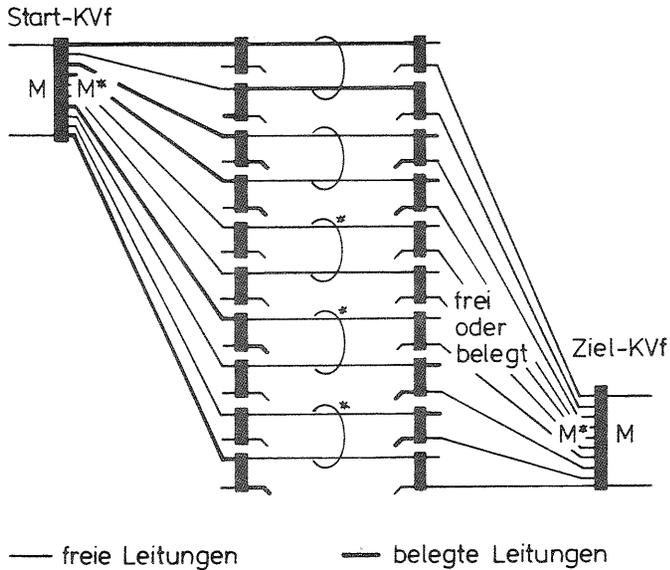


Bild 8.13: Ein Belegungszustand des Verbindungsgraphen für Block-Internverbindungen bei quasisymmetrischer Wegezuteilung

Wird nun solch ein Paar über zwei freie Ausgänge des Start-KVf erreicht, so darf nur ein Ausgang für die effektive Erreichbarkeit des Hinwegs berücksichtigt werden, weil die quasisymmetrisch zugeordnete, zweite horizontale Zwischenleitung für die Durchschaltung des Rückwegs benutzt wird. Damit ist aber der zweite Ausgang des Start-KVf, der die betreffende zweite Zwischenleitung erreicht, für den Hinweg nicht benutzbar. Erreicht man dagegen ein freies Paar zwischen der zweiten und dritten Stufe über nur einen Ausgang des Start-KVf, so kann dieser Ausgang im Term A oder im Term D gewertet werden, da der betreffende zweite Ausgang des Start-KVf ohnehin nicht zur effektiven Erreichbarkeit beiträgt.

Der Reduktionsbetrag R in Gl.(8.74) stellt die mittlere Anzahl jener freien Paare dar, die über zwei freie Ausgänge des Start-Koppelvielfachs erreicht werden. Er wird folgendermaßen berechnet:

Zwischen der Stufe 2 und 3 sind im Mittel

$$2f = M^* (1 - Y_{2H}) \quad (8.78)$$

horizontale Zwischenleitungen frei, die f freie Paare bilden. Die Terme A , D_1 und D_2 ergeben jene Anzahl AD von Koppelvielfachen der dritten Stufe, welche über freie Zwischenleitungen von Stufe 1 über Stufe 2 erreicht werden.

$$AD = \text{TERM } A + \text{TERM } D_1 + \text{TERM } D_2 \quad (8.79)$$

Weiterhin sei $p(u)$ die Wahrscheinlichkeit, daß diese AD Zwischenleitungen aus genau u Paaren und aus $AD-2u$ Einzelleitungen bestehen.

$$p(u) = \frac{\binom{f}{u} \cdot \binom{f-u}{AD-2u} \cdot 2^{AD-2u}}{\binom{2f}{AD}} \quad (8.80)$$

Mit dieser Wahrscheinlichkeit läßt sich der Reduktionsbetrag R bestimmen:

$$R = \sum_{u=u_u}^{u_0} u \cdot p(u) \quad (8.81a)$$

mit den Grenzen

$$u_u = \max \{ 0, AD - f \} \quad (8.81b)$$

$$u_0 = \lfloor AD/2 \rfloor$$

Für die Berechnung von R werden die Werte AD und f ganzzahlig gerundet.

III. Symmetrische Wegezuteilung

Bei der symmetrischen Wegezuteilung benutzen der Hin- und Rückweg dieselbe interne Zeitlage. Um blockinterne Verbindungen durchschalten zu können, müssen deshalb die horizontalen Zwischenleitungen zwischen der Stufe 2 und 3 verdoppelt werden. Diese Verdopplung der horizontalen Zwischenleitungen bewirkt, daß sich die Verbindungsgraphen des Hin- und Rückwegs nicht mehr decken und damit auch keine Beeinflussung der effektiven Erreichbarkeit des Hinwegs hervorgerufen wird. Diese effektive Erreichbarkeit erhält man auf einfache Weise dadurch, daß die diagonalen Zwischenleitungsbelastungen in Gl.(8.63) nun durch die halbe, horizontale Zwischenleitungsbelastung ersetzt werden.

$$Y_{2H,sym} = Y_1 \frac{h_2}{M^*} \frac{j_3-1}{j_2 \cdot j_3-1} \frac{1}{2} \quad (8.82)$$

$$TERM A = (M^*-x_1) (1-Y_{2H,sym}) (1-Y_3/j_3) \quad (8.83a)$$

$$TERM B = x_1/2 (j_2 \cdot j_3 - 1) \quad (8.83b)$$

$$TERM C = (M^*-x_1) Y_{2H,sym} / (j_3-1) \quad (8.83c)$$

$$TERM D = (M^*-x_1) (1-Y_{2H,sym}) Y_3/j_3 \quad (8.83d)$$

Im Gegensatz zu den anderen Wegezuteilungsprinzipien ist hier die Aufspaltung des Terms D in zwei Teilterme und die damit verbundene heuristische Verringerung der effektiven Erreichbarkeit nicht erforderlich. Die Summe der vier Terme ergibt die effektive Erreichbarkeit für die blockinternen Verbindungen bei symmetrischer Wegezuteilung.

$$k_{eff,bi,sym}(x_1) = TERM A + TERM B + TERM C + TERM D \quad (8.84)$$

Damit lautet dann die Sperrwahrscheinlichkeit wie bei der quasimmetrischen Wegezuteilung

$$C_{bi,sym}(x_1, x_4) = \frac{\binom{x_4}{k_{eff,bi,sym}}}{\binom{M^*}{k_{eff,bi,sym}}} \quad (8.85)$$

und auch die Blockier- und Verlustwahrscheinlichkeit wird gleichartig berechnet. Allerdings muß für die Zustandswahrscheinlichkeiten des Start- und Ziel-Koppelvielfachs die Erlang-Verteilung nach Gl.(8.6) eingesetzt werden.

$$E_{bi,sym}(x_1) = \frac{1}{1-P_e(M)} \sum_{x_4=0}^{M-1} P_e(x_4) \cdot C_{bi,sym}(x_1, x_4) \quad (8.86)$$

$$B_{pp,bi,sym} = \frac{1}{1-P_e(M)} \sum_{x_1=0}^{M-1} P_e(x_1) E_{bi,sym}(x_1) \quad (8.87)$$

8.2.3.3 Verlustwahrscheinlichkeiten $B_{pp\Phi}$ für Highway-Internverbindungen

Highway-Internverbindungen können, wie bei den ZRZ-KAN, nur mit dem beliebigen und quasisymmetrischen Wegezuteilungsprinzip aufgebaut werden. Die Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit dieses Verbindungstyps in vierstufigen ZRRZ-Koppelanordnungen kann prinzipiell auf dieselbe Art und Weise erfolgen, wie sie für die dreistufige ZRZ-KAN durchgeführt wurde. Ein Vergleich der Verbindungsgraphen, dargestellt in den Bildern 8.5 bis 8.8 und den folgenden Bildern 8.14 und 8.15 zeigt, daß nur die Berechnung der effektiven Erreichbarkeit bei ZRZ- und ZRRZ-KAN differiert.

I. Beliebige Wegezuteilung

Bild 8.14 zeigt den Verbindungsgraph für highwayinterne Verbindungen, in welchem die einzelnen Terme der effektiven Erreichbarkeit dargestellt sind. Das Start- und das Ziel-KVf sind Kopplervielfache mit derselben Ordnungsnummer der beiden äußeren Stufen. Das bedeutet, daß der Belegungszustand des Ziel-KVf x_4 gleich dem Belegungszustand des Start-KVf x_1 ist. Er setzt sich aus $2x_i$ highwayinternen und x_e highwayexternen Belegungen mit der Wahrscheinlichkeit $p(2x_i, x_e)$ zusammen.

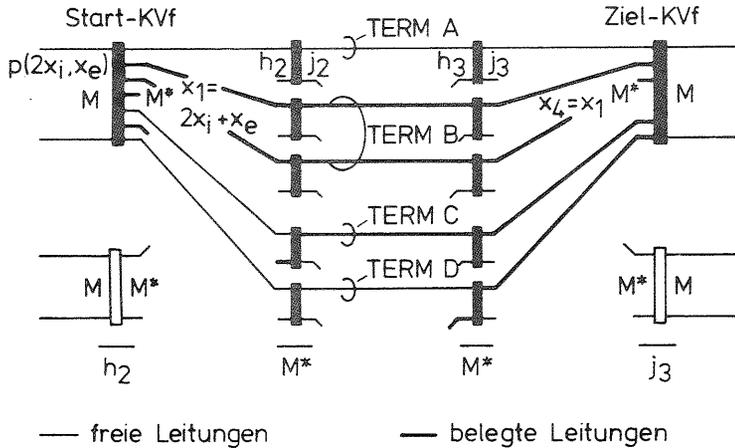


Bild 8.14: Verbindungsgraph zur Bestimmung der effektiven Erreichbarkeit von Highway-Internverbindungen bei beliebiger Wegezuteilung

Die effektive Erreichbarkeit für die Highway-Internverbindungen stimmt, mit einer Ausnahme, mit jener der BL-Internverbindungen - GL.(8.67) - überein. Diese Ausnahme betrifft den Term B, der hier ausschließlich durch die HW-Internverbindungen erzeugt wird.

$$TERM A = (M^* - x_1) (1 - Y_{2H}) (1 - Y_3 / j_3) \quad (8.88a)$$

$$TERM B = x_i \quad (8.88b)$$

$$TERM C = (M^* - x_1) \cdot Y_{2H} / j_3 \quad (8.88c)$$

$$TERM D_1 = (M - x_1) (1 - Y_{2H}) Y_3 / j_3 \quad (8.88d)$$

$$TERM D_2 = (M^* - M) (1 - Y_{2H}) Y_3 / j_3 \cdot Y_3 / j_3 \quad (8.88e)$$

$$k_{eff,hi,bel}(x_1) = TERM A + TERM B + TERM C + TERM D_1 + TERM D_2 \quad (8.88f)$$

Mit dieser effektiven Erreichbarkeit kann man, in völliger Analogie zu den Gl.(8.24) und (8.25) bei der ZRZ-KAN, die Sperrwahrscheinlichkeit

$$C_{hi,bel}(x_1) = \frac{\binom{x_1 - x_i}{k_{eff,hi,bel}} + \binom{x_1 - x_i}{k_{eff,hi,bel} - 1} (M^* - x_1)}{\binom{M^* - x_i}{k_{eff,hi,bel}}} \quad (8.89)$$

und die Verlustwahrscheinlichkeit

$$B_{PPhi,bel} = \frac{1}{1 - p_s(M-i) - p_s(M)} \sum_{x_i=0}^{\{M/2-0.1\}-1} \sum_{x_e=0}^{M-2x_i-2} p(2x_i, x_e) C_{hi,bel}(x_1) \quad (8.90)$$

der highwayinternen Verbindungen mit beliebig zugeteilten Sprechwegen angeben.

II. Quasisymmetrische Wegezuteilung

Der Verbindungsgraph der highwayinternen Verbindungen, deren Sprechwege quasisymmetrisch zugeteilt werden, ist im Bild 8.15 dargestellt. Er ist in zwei Hälften so aufgeteilt, daß der eine

Sprechweg einer Verbindung immer in der einen Hälfte, und der zugeordnete zweite Sprechweg immer in der anderen Hälfte eine Zwischenleitung belegt. Damit genügt es, wie bei der ZRZ-KAN, nur eine Hälfte des Verbindungsgraphen für die Verlustberechnung zu betrachten, da die andere Hälfte ihr quasisymmetrisches Abbild darstellt.

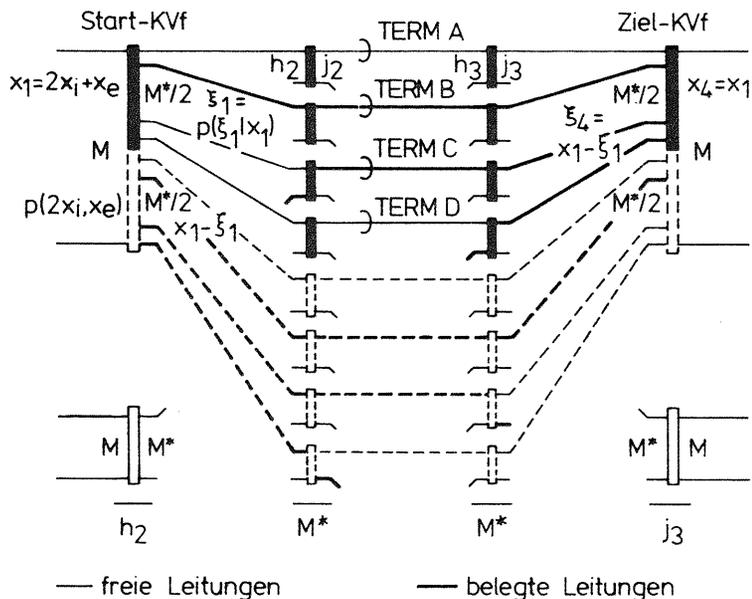


Bild 8.15: Verbindungsgraph zur Bestimmung der effektiven Erreichbarkeit von Highway-Internverbindungen bei quasisymmetrischer Wegezuteilung

Für einen Belegungszustand im Start-KVf von $x_1 = 2x_i + x_e$ (mit der Wahrscheinlichkeit $p(2x_i, x_e)$), und, unter dieser Bedingung, von insgesamt ξ_1 Belegungen in der oberen Hälfte des Graphen (mit der Wahrscheinlichkeit $p(\xi_1 | x_1)$), erhält man die einzelnen Terme der effektiven Erreichbarkeit:

$$TERM A = (M^*/2 - \xi_1)(1 - y_{2H})(1 - y_3/j_3) \quad (8.91a)$$

$$TERM B = x_i \quad (8.91b)$$

$$TERM C = (M^*/2 - \xi_1) y_{2H}/j_3 \quad (8.91c)$$

Um zu verhindern, daß bei einer Aufspaltung des Terms D der Term D_1 für $\xi_1 > M/2$ negativ wird, wird eine Fallunterscheidung vorgenommen.

$$TERM D_1 = (M/2 - \xi_1)(1 - y_{2H}) y_3/j_3 \quad (8.91d)$$

$$TERM D_2 = (M^*/2 - M/2)(1 - y_{2H}) y_3/j_3 y_3/j_3 \quad (8.91e)$$

$$TERM D_1 = 0 \quad (8.91f)$$

$$TERM D_2 = (M^*/2 - \xi_1)(1 - y_{2H}) y_3/j_3 y_3/j_3 \quad (8.91g)$$

Die Summe aller Terme ergibt dann die effektive Erreichbarkeit

$$k_{eff,hi,quasi}(x_1) = TERM A + TERM B + TERM C + TERM D_1 + TERM D_2 \quad (8.91h)$$

Mit dieser, jetzt bekannten, effektiven Erreichbarkeit können die Formeln, die für die Bestimmung der Verlustwahrscheinlichkeit in den ZRZ-KAN hergeleitet wurden, hier direkt angewendet werden.

Der Belegungszustand der oberen Hälfte des Verbindungsgraphen im Ziel-KVf ist identisch demjenigen der unteren Hälfte im Start-KVf.

$$\xi_4 = x_1 - \xi_1 \quad (8.92)$$

Damit lautet die Sperrwahrscheinlichkeit nach Gl.(8.28)

$$C_{hi,quasi}(x_1, \xi_1) = \frac{\binom{x_1 - \xi_1}{k_{eff,hi,quasi}}}{\binom{M^*/2}{k_{eff,hi,quasi}}} \quad (8.93)$$

Die Blockierungswahrscheinlichkeit des Ziel-KVf ergibt sich durch Aufsummation dieser Sperrwahrscheinlichkeiten, gewichtet mit den Zustandswahrscheinlichkeiten $p(\xi_1 | x_1)$ nach Gl.(8.29).

$$E_{hi,quasi}(x_1) = \sum_{\xi_1 = \xi_{1u}}^{\xi_{1o}} p(\xi_1 | x_1) \cdot c_{hi,quasi}(\xi_1, x_1) \quad (8.94a)$$

mit den Grenzen nach Gl.(8.30b) und (8.30c)

$$\xi_{1u} = \max. \{ x_i, x_1 - M^*/2 \} \quad (8.94b)$$

$$\xi_{1o} = \min. \{ x_i + x_e, M^*/2 \} \quad (8.94c)$$

Für die Verlustwahrscheinlichkeit der highwayinternen Verbindungen mit quasisymmetrischer Wegezuteilung gilt schließlich nach Gl.(8.31)

$$B_{pphi,quasi} = \frac{1}{1 - p_s(M-1) - p_s(M)} \sum_{x_i=0}^{\lfloor M/2 - 0.1 \rfloor - 1} \sum_{x_e=0}^{M - 2x_i - 2} p(2x_i, x_e) E_{hi,quasi}(x_1) \quad (8.95)$$

8.3 Näherungsweise Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeiten in modularen PCM-Koppelanordnungen

Die in dieser Arbeit untersuchten modularen PCM-Koppelanordnungen werden mit der schrittweisen, d.h. nicht konjugierten, und gemeinsamen Durchschaltung betrieben. Die beiden Sprechwege einer Verbindung werden nach dem beliebigen oder symmetrischen Wegezuteilungsprinzip durch das eine gemeinsame Koppelnetz geschaltet.

Auf den ankommenden Multiplexleitungen wird abgeschnittener Zufallsverkehr 1.Art angenommen.

8.3.1 Einstufige, modulare PCM-Koppelanordnungen

In den einstufigen, modularen PCM-KAN erleiden nur die Modul-Externverbindungen Verlust, und zwar dann, wenn auf dem Zwischenleitungsbündel zwischen Start- und Ziel-Modul alle M Zwischenleitungen belegt sind (vgl. Bild 2.8).

Für abgeschnittenen ZV 1 auf den Zubringerbündeln und unter der Annahme der statistischen Unabhängigkeit der Belegungszustände in den Zubringer- und Zwischenleitungsbündeln, gilt für die Zustandswahrscheinlichkeit auf einem betrachteten Zwischenleitungsbündel Gleichung (8.6), da mit jedem Ruf nur eine Zwischenleitung belegt wird. Damit erhält man für die Verlustwahrscheinlichkeit der Modul-Externverbindungen den Erlang-Verlust mit $x_e = M$.

$$B_{ppme} = p_e(M) \quad (8.96)$$

Dieser Verlust gilt sowohl für beliebig als auch symmetrisch zugeteilte Sprechwege von MO-Externverbindungen.

8.3.2 Zweistufige, modulare PCM-Koppelanordnungen

Im Bild 2.9 ist die einseitige, zweistufige Struktur dargestellt. In dieser KAN sind die MO-Internverbindungen verlustfrei durchschaltbar, weil das Kombinationsvielfach (Modul) vollkommene Erreichbarkeit besitzt. Die MO-Externverbindungen haben dagegen, je nach angewandtem Wegezuteilungsprinzip, unterschiedliche PP-Verluste.

Beim symmetrischen Wegezuteilungsprinzip führen beide Sprechwege einer Verbindung über dasselbe Zwischenmodul in der zweiten Stufe. Ein Verlust kann deshalb nur dann auftreten, wenn der Hinweg dieser MO-Externverbindung nicht aufgebaut werden kann. Dies ist dann der Fall, wenn die Zwischenleitungen auf jenem Zwischenleitungsbündel, welches das bereits ausgewählte Zwischenmodul mit dem Zielmodul verbindet, alle belegt sind.

Ein Verlust zwischen den Start- und Zwischenmodulen kann nicht auftreten, da bei abg. ZV 1 noch mindestens eine Zwischenleitung zu einem der Zwischenmodule frei sein muß.

Die Verlustwahrscheinlichkeit für symmetrische MO-Externverbindungen erhält man daher mit Gl.(8.6) und $x_e = M$.

$$B_{ppme,sym} = p_e(M) \tag{8.97}$$

Betreibt man die KAN mit abgeschnittenem ZV 1 und dem beliebigen Wegezuteilungsprinzip, so kann Verlust für eine MO-Externverbindung dann eintreten, wenn der Hinweg nicht aufgebaut werden kann, oder, falls dies möglich war, wenn der Rückweg der Verbindung blockiert ist. Damit erhält man den Punkt-Punkt Verlust zu

$$B_{ppme,bei} = p_e(M) + (1 - p_e(M)) \cdot p_e(M) \tag{8.98}$$

Für die Teilverluste, verursacht durch den Hinweg und den Rückweg, wird der Erlang-Verlust nach Gl.(8.6) angewendet, da jede erfolgreiche MO-Externverbindung auf zwei Zwischenleitungsbündeln die Belegung je einer weiteren Zwischenleitung zur Folge hat.

Im Bild 2.10 ist die Struktur der z w e i seitigen, zweistufigen PCM-KAN dargestellt. Hier besteht, wie bei der einstufigen KAN, kein Unterschied im PP-Verlust für die beiden Wegezuteilungsprinzipien (symmetrisch bzw. beliebig), da zwischen dem Startmodul in der ersten Stufe und dem Zielmodul in der zweiten Stufe für den Hin- und Rückweg nur je ein Zwischenleitungsbündel vorhanden ist. Allerdings besitzen nun beide Verbindungstypen eine unterschiedliche Verlustwahrscheinlichkeit.

Zunächst seien die MO-Externverbindungen betrachtet. Diese werden ausschließlich über die diagonalen Zwischenleitungsbündel durchgeschaltet, sodaß auf jedem der beteiligten Bündel je eine Zwischenleitung belegt wird. Aus Symmetriegründen besitzt das Zwischenleitungsbündel des Hinwegs stets denselben Belegungszustand wie jenes des Rückwegs.

Folglich gilt für die Zustandswahrscheinlichkeiten der Diagonalebündel Gl.(8.6), und für den Verlust der sog. Erlang-Verlust.

$$B_{ppme} = p_e(M) \tag{8.99}$$

Modul-Internverbindungen belegen ausschließlich Zwischenleitungen auf den horizontalen Zwischenleitungsbündeln. Gleichartig für beide Wegezuteilungsprinzipien werden immer pro Verbindung zwei Zwischenleitungen auf diesem Bündel belegt, sodaß für den MO-Internverlust die Zustandswahrscheinlichkeit nach Gl.(8.7) für $2x_i = M$ gilt.

$$B_{ppmi} = p_i(M) \tag{8.100}$$

Die Verlustwahrscheinlichkeit von modulinternen Verbindungen wird durch diese Zweifachbelegungen auf den horizontalen Zwischenleitungen zwangsläufig höher (vgl. Diagramm 5.23).

8.3.3 Dreistufige, modulare Koppelanordnungen

Bei der e i n seitigen, dreistufigen modularen KAN, dargestellt in Bild 2.11, sind drei Verbindungstypen zu unterscheiden.

- Die Modul-Internverbindungen sind verlustlos, da deren Highways an dasselbe Modul in der ersten Stufe angeschlossen sind.
- Die Block-Internverbindungen benutzen nur Module eines Blockes der KAN. Ein solcher Block, für sich betrachtet, stellt eine einseitige, zweistufige KAN dar. Die BL-Internverbindungen der dreistufigen KAN entsprechen den MO-Externverbindungen einer zweistufigen KAN, sodaß deren Verlustwahrscheinlichkeiten analog berechnet werden können. Für die symmetrische Wegezuteilung erhält man deshalb

$$B_{ppbi,sym} = p_e(M) \tag{8.101}$$

Bei beliebig zugeteilten Sprechwegen lautet der PP-Verlust für BL-Internverbindungen (zwei Suchvorgänge)

$$B_{pp\ bi, bel} = p_e(M) + (1 - p_e(M)) \cdot p_e(M) \quad (8.102)$$

- Block-Externverbindungen benutzen Module in allen drei Stufen der KAN. Ein Belegungsversuch, dessen Zielmodul in einem anderen Block liegt, kann nur über ein KombVf der dritten Stufe diesen Zielblock erreichen. Dieser BL-Externruf erleidet deshalb nur dann Verlust, wenn

entweder das einzige Zwischenleitungsbündel des bereits ausgewählten Moduls der dritten Stufe vollständig belegt ist, oder, falls dies nicht der Fall ist, wenn das Zwischenleitungsbündel von dem belegten Zwischenmodul der zweiten Stufe zum Zielmodul blockiert ist.

Für das symmetrische Wegezuteilungsprinzip kann damit der Punkt-Punkt Verlust berechnet werden. Bei beliebig zugeteilten Sprechwegen muß dieselbe Betrachtung auch für den zweiten Suchvorgang, d.h. für den Aufbau des Rückwegs angestellt werden.

Bei beiden Wegezuteilungsprinzipien belegen die beiden Sprechwege erfolgreicher Verbindungen zwischen allen Stufen jeweils eine Leitung auf verschiedenen Zwischenleitungsbündeln. Für ZV 1 und bei der angenommenen statistischen Unabhängigkeit der Zustände auf den Zwischenleitungsbündeln erhält man für symmetrisch zugeteilte Sprechwege mit der Erlang-Verteilung nach Gl.(8.6) die Verlustwahrscheinlichkeit

$$B_{pp\ be, sym} = p_{e23}(M) + (1 - p_{e23}(M)) \cdot p_{e12}(M) \quad (8.103)$$

Die Indizes geben die Stufennummern an, zwischen welchen sich das betrachtete, blockierte Zwischenleitungsbündel befindet. Für beliebig zugeteilte Sprechwege einer BL-Externverbindung ist dann der PP-Verlust

$$B_{pp\ be, bel} = B_{pp\ be, sym} + (1 - B_{pp\ be, sym}) \cdot B_{pp\ be, sym} \quad (8.104)$$

Die Verlustwahrscheinlichkeit des Hinwegs ist hier so groß wie jene symmetrisch zugeteilter BL-Externverbindungen. Falls ein Hinweg aufgebaut werden konnte, gilt für den Rückweg dieselbe Verlustwahrscheinlichkeit.

In einer dreistufigen, z w e i seitigen modularen KAN (Bild 2.12) erhält man wieder unterschiedliche Verlustwahrscheinlichkeiten für das symmetrische und beliebige Wegezuteilungsprinzip, da die Sprechwege jeder Verbindung über die Zwischenmodule der zweiten Stufe zu den Zielmodulen der dritten Stufe führen.

Die symmetrisch zugeteilten Sprechwege einer Verbindung führen stets über dasselbe Zwischenmodul der zweiten Stufe. Daraus ergibt sich, daß bei MO-Internverbindungen gleichzeitig zwei Leitungen auf den zur Mittelstufe symmetrischen Zwischenleitungsbündeln belegt werden. Bei der Durchschaltung von MO-Externverbindungen wird auf symmetrischen Zwischenleitungsbündeln jeweils nur eine weitere Leitung belegt.

Der Belegungszustand der Koppelanordnung ist also symmetrisch bzgl. der Mittelsenkrechten. Ein Verlust für MO-Internverbindungen kann folglich nur dann eintreten, falls auf keinem Zwischenleitungsbündel zwischen Stufe 1 und 2 noch mindestens zwei Leitungen frei sind. Ein MO-Externverlust tritt dann auf, wenn der Hinweg a.G. einer Blockierung des Zwischenleitungsbündels zwischen der zweiten und dritten Stufe nicht aufgebaut werden kann.

Alle Zwischenleitungsbündel werden demnach von beiden Verbindungstypen benutzt, sodaß für die Berechnung der Zustandswahrscheinlichkeiten bei ZV 1 die zweidimensionale Erlang-Verteilung nach Gl.(8.8) verwendet werden muß. Für die Blockierungswahrscheinlichkeit eines Zwischenleitungsbündels ist nur der Summenzustand aller Belegungen maßgebend. Deshalb erhält man für den MO-Internverlust

$$B_{pp\ mi, sym} = [p_s(M-1) + p_s(M)]^{J_1} \quad (8.105)$$

und für den MO-Externverlust

$$B_{pp_{me,sym}} = P_S(M) \quad (8.106)$$

unter Verwendung der Gl.(8.9) für $x = 2x_i + x_e = M$ bzw. für $x = M-1$.

Werden die Sprechwege einer Verbindung beliebig zugeteilt, so verursachen die MO-Externbelegungen ebenfalls nur Einfachbelegungen auf den benutzten Zwischenleitungsbündeln. Die MO-Internverbindungen bewirken allerdings, im Gegensatz zur symmetrischen Wegezuteilung, nur noch mit dem Bruchteil $1/j_1$ Zweifachbelegungen, da sie bei der beliebigen Wegezuteilung pro Sprechweg gleichwahrscheinlich eines von allen j_1 Zwischenmodulen benutzen.

Die Berechnung der Zustandswahrscheinlichkeiten auf den Zwischenleitungsbündeln erfolgt unter Berücksichtigung dieser Tatsache ebenfalls mit der zweidimensionalen Erlang-Verteilung nach Gl.(8.8). Die Verlustwahrscheinlichkeiten ergeben sich dann mit der daraus gewonnenen Summenverteilung nach Gl.(8.9) für $x = 2x_i + x_e = M$.

Der Verlust für modulinterne und modulexterne Verbindungen bei beliebiger Wegezuteilung ist gleich groß. Er kann eintreten, falls das Zwischenleitungsbündel in das Ziel-Modul der dritten Stufe blockiert ist, und zwar sowohl beim Aufbau des Hinwegs als auch beim Aufbau des Rückwegs.

Deshalb gilt

$$B_{pp_{mi,bel}} = B_{pp_{me,bel}} = P_S(M) + (1 - P_S(M)) \cdot P_S(M) \quad (8.107)$$

9. ZUSAMMENFASSUNG

In modernen Fernsprechvermittlungsstellen werden heute mehrstufige PCM-Koppelanordnungen eingesetzt. Die sog. konventionellen PCM-KAN bestehen aus Zeit- und Raumstufen, wogegen sich die modularen PCM-KAN aus einheitlichen Kombinationsstufen zusammensetzen. Die konventionellen Koppelanordnungen werden mit der konjugierten Durchschaltung, die modularen KAN mit der step-by-step Durchschaltung betrieben.

Spezifisch für PCM-Koppelanordnungen sind zwei weitere Arten der Durchschaltung, der sog. getrennten oder gemeinsamen Durchschaltung der beiden Sprechwege einer PCM-Verbindung. Für den Fall der gemeinsamen Durchschaltung, bei der die beiden Sprechrichtungen einer Verbindung in einem gemeinsamen Koppelnetz durchgeschaltet werden, können drei unterschiedliche Wegezuteilungsprinzipien angewandt werden. Dies sind die beliebige, die symmetrische und die quasisymmetrische Wegezuteilung.

In der vorgelegten Arbeit wird zunächst gezeigt, daß PCM-Strukturen auf ihre äquivalenten Raumvielfachsysteme abgebildet werden können. Für die in dieser Arbeit untersuchte gemeinsame Durchschaltung wird mit Hilfe dieser Abbildung die Verlustwahrscheinlichkeit von PCM-Koppelanordnungen als Funktion von deren Struktur, deren Verkehrsbelastung, des Verbindungstyps und des Wegezuteilungsprinzips näherungsweise berechnet. An zahlreichen Beispielen werden die Resultate dieser analytischen Verfahren, die im Kapitel 8 beschrieben sind, mit Simulationsergebnissen verglichen. Letztere wurden mit den beiden Absuchverfahren GN und GZ ermittelt, d.h. ab einer festen Nullstellung und ab einer zufälligen Anfangsstellung. In allen untersuchten Systemen wurde eine für die praktische Anwendung voll ausreichende Genauigkeit der Näherungsverfahren erzielt.

Die Untersuchungen über den Einfluß der Wegezuteilungsprinzipien auf die Verkehrseigenschaften von PCM-Koppelanordnungen, die in den Kapiteln 4 und 5 beschrieben sind, haben gezeigt:

- Bei der konjugierten Durchschaltung liefert das Absuchverfahren GN die kleineren Verlustwahrscheinlichkeiten als die GZ-Absuche.
- In Verbindung mit der schrittweisen Durchschaltung ergeben sich beim Absuchverfahren GN extrem große Verlustwerte, sodaß hier nur die Absuchmethode GZ sinnvoll ist.
- Im allgemeinen erleiden bei den konventionellen PCM-Koppelanordnungen die Koppelvielfach-Internverbindungen höhere Verluste als die Koppelvielfach-Externverbindungen. Bei den zweiseitigen modularen PCM-Koppelanordnungen haben die Modul-Internverbindungen höhere Verlustwahrscheinlichkeiten als die Modul-Externverbindungen.
- Bei konventionellen PCM-Koppelanordnungen führt die beliebige Wegezuteilung zu den höchsten und die quasisymmetrische Wegezuteilung zu den niedrigsten Verlustwerten.
- Der Externverlust für die symmetrische Wegezuteilung in dreistufigen konventionellen PCM-Koppelanordnungen liegt geringfügig oberhalb jenem für die quasisymmetrische Wegezuteilung.
- Bei den vierstufigen konventionellen PCM-Koppelanordnungen unterscheiden sich die Block-Externverluste bei symmetrischer und quasisymmetrischer Wegezuteilung nicht. Die Block-Internverluste bei symmetrischer Wegezuteilung profitieren von der prinzipiell notwendigen horizontalen Leitungsverdopplung. Sie haben den geringsten Verlust.
- In dem Sonderfall der beliebigen Wegezuteilung und der Absuchart GN in dreistufigen, konventionellen PCM-Koppelanordnungen sind die Koppelvielfach-Internverbindungen blockierungsfrei. Die Koppelvielfach-Externverbindungen werden symmetrisch durchgeschaltet.
- Bei den zweistufigen, einseitigen und den dreistufigen modularen PCM-Koppelanordnungen liefert die symmetrische Wegezuteilung geringere Verlustwahrscheinlichkeiten als die beliebige Wegezuteilung.

- Bei den einstufigen und zweistufigen, zweiseitigen modularen PCM-Koppelanordnungen hat das Wegezuteilungsprinzip und das Absuchverfahren keinen Einfluß auf die Verlustwahrscheinlichkeiten.
- Die Modul-Internverbindungen bei den dreistufigen, zweiseitigen, modularen PCM-Koppelanordnungen mit dem symmetrischen Wegezuteilungsprinzip können praktisch verlustfrei aufgebaut werden.

Neben dem Einfluß der Wegezuteilungsprinzipien auf die Verkehrsgüte einer Koppelanordnung wird in der vorgelegten Arbeit auch deren Einfluß auf den Steuerungsaufwand einer konventionellen PCM-Koppelanordnung untersucht. Hierzu werden, mit Hilfe der Abbildung der PCM-Koppelanordnung in ihre äquivalente Raumvielfachdarstellung, verschiedene Wegesuchalgorithmen definiert und die von ihnen benötigten Wegesuchzeiten in konventionellen PCM-Koppelanordnungen meßtechnisch erfaßt. Diese Wegesuchalgorithmen basieren jeweils auf e i n e m Wegezuteilungsprinzip, mit Ausnahme des Super-Algorithmus bei den dreistufigen konventionellen PCM-Koppelanordnungen, welcher die Prinzipien der beliebigen und symmetrischen Wegezuteilung gleichzeitig benutzt.

Die Untersuchungen über den Einfluß der Wegesuchalgorithmen auf die Verkehrseigenschaften von PCM-Koppelanordnungen, die in den Kapiteln 6 und 7 beschrieben sind, haben gezeigt:

- Die Wegesuchzeiten hängen nur ab von der Größe des Verbindungsgraphen, dessen Absuchmethode und der Verkehrsbelastung der Koppelanordnung sowie deren Aufweitung.
- Die Wegesuchzeiten mit Hilfe des nicht reduzierten Abbilds der Koppelanordnung im Belegungszustandsspeicher sind länger als mit dem reduzierten Abbild.

- Die Auslöseereignisse beanspruchen die geringsten und die Verlustrufe in der Regel die längsten Programmlaufzeiten. Beide Ereignistypen sind belastungsunabhängig. Dies gilt für alle Wegesuchalgorithmen.
- Die Wegesuchzeiten der erfolgreichen Ereignisse sind eine Funktion der Verkehrsbelastung. Mit zunehmender Größe des Verbindungsgraphen wird diese Abhängigkeit ausgeprägter.
- Der Aufweitungsfaktor spielt nur bei der Absuchmethode GZ eine Rolle. Mit zunehmendem Aufweitungsfaktor verringert sich hier die Belastungsabhängigkeit der Wegesuchzeiten, während bei der GN-Absuche die Suchzeiten praktisch unverändert bleiben. Somit erhält man im allgemeinen mit dem Absuchverfahren GZ kürzere Suchzeiten als mit der GN-Absuche.
- Der symmetrische Wegesuchalgorithmus benötigt die kürzesten, der quasisymmetrische Wegesuchalgorithmus die längsten Suchzeiten. Der Super-Algorithmus liegt leicht oberhalb des symmetrischen Algorithmus.
- Die Wegesuchzeiten der erfolgreichen Rufe bei Punkt-Bündel Markierung nehmen mit zunehmender Aufweitung der Koppelanordnung ab. Ihre Werte sind sehr stark von der Belastung und der Bündelgröße abhängig.
- Die vierstufigen Koppelanordnungen benötigen längere Wegesuchzeiten als die dreistufigen Koppelanordnungen.
- Die Wegesuchzeiten innerhalb der Module modularer PCM-Koppelanordnungen sind vernachlässigbar klein. Bei diesen Strukturen sind die Verbindungsaufbauzeiten von Bedeutung, welche für den symmetrischen Wegesuchalgorithmus halb so groß sind wie für den beliebigen Wegesuchalgorithmus.

Auf Grund dieser Ergebnisse eignen sich der quasisymmetrische Wegesuchalgorithmus und der Super-Algorithmus für eine günstige Betriebsweise der konventionellen PCM-Koppelanordnungen. Der quasisymmetrische Wegesuchalgorithmus liefert die kleineren Verlustwahrscheinlichkeiten und etwas längere Wegesuchzeiten, kann aber für alle Strukturen und Verbindungstypen einheitlich benutzt werden.

Der Super-Algorithmus kann nur bei den dreistufigen Koppelanordnungen angewandt werden. Er liefert hier die kürzeren Wegesuchzeiten, wobei aber Intern- und Externverbindungen unterschiedlich behandelt werden. Die mit ihm aufzubauenden Internverbindungen sind verlustlos, die Externverbindungen erleiden, verglichen mit dem quasisymmetrischen Wegesuchalgorithmus, einen geringfügig größeren Verlust.

Hinsichtlich des Absuchverfahrens, das bei diesen beiden Wegesuchalgorithmen anzuwenden ist, ergibt sich, daß das Absuchverfahren GZ die kürzeren Wegesuchzeiten bewirkt, aber auch deutlich höhere Verlustwahrscheinlichkeiten als die Absuchart GN. Mit einer entsprechend größeren Aufweitung erhält man jedoch mit der GZ-Absuche sowohl kurze Suchzeiten als auch die geforderten kleinen Verluste.

Für eine günstige Betriebsweise der modularen PCM-Koppelanordnungen eignet sich der symmetrische Wegesuchalgorithmus in Verbindung mit dem - hier einzig sinnvollen - Absuchverfahren GZ.

10. LITERATURVERZEICHNIS

- / 1 / Bazlen,D., Kampe,G., Lotze,A.; On the Influence of Hunting Mode and Link Wiring on the Loss of Link Systems. 7.ITC, Stockholm, 1973, S. 232/1-12.
- / 2 / Bazlen,D., Kampe,G., Lotze,A.; Design Parameters and Loss Calculation of Link Systems. IEEE-Com., 22, 1974, S. 1908-1920.
- / 3 / Besier,H., Heuer,P., Kettler,G.; Digitale Vermittlungen. Mitteilungen aus dem Forschungsinstitut der Deutschen Bundespost, 1978/79.
- / 4 / Botsch,D.; Die Verlustwahrscheinlichkeit einstufiger Koppelanordnungen der Vermittlungstechnik mit Extern- und Internverkehr. Dissertation, Universität Stuttgart, 1966.
- / 5 / Caesar,P., Dietze,K.; Das Digitale Vermittlungssystem DIV 200/400. Fernmelde Praxis, 58, 1981, H. 20, S. 798-820.
- / 6 / Charransol,P., Hauri,J., Athenes,C., Hardy,D.; Development of a Time Division Switching Network Usable in a Very Large Range of Capacities. Int. Zürich Seminar, 1978, S. B6/1-6.
- / 7 / Clos,C.; A Study of Nonblocking Switching Networks. BSTJ, 32, 1953, S. 406-424.
- / 8 / Cotton,J.M., Giesken,K., Lawrence,A., Upp,D.C.; System 12 - Digital-Koppelnetz. Elektrisches Nachrichtenwesen, 56, 1981, H. 2/3, S. 135-147.
- / 9 / Dartois.H., Kevorkian,K., Lager,J.; MT 20 Tandem Exchange. Commutation & Transmission, 2, 1980, H.1, S. 55-68.
- / 10/ Hofstetter,H.; Das Verkehrsverhalten des digitalen Koppelnetzes im Fernsprech-Vermittlungssystem EWSD. Telecom Report 3, 1980, H. 3, S. 228-233.
- / 11/ Huber,M.; On the Congestion in TDM Systems. 4.ITC, London, 1964, Paper 104.
- / 12/ Inose,H., Saito,T.; Outlook to PCM Switching Systems and their Calculation by Traffic Theory. 6.ITC, München, 1970.
- / 13/ Jacobaeus,C.; A Study on Congestion in Link Systems. Ericsson Technics, 6, 1950, H. 48, S. 1-68.
- / 14/ Kümmerle,K.; Ein Vorschlag zur Berechnung der Vertrauensintervalle bei Verkehrstests. AEÜ, 23, 1969, H.10, S. 507-511.
- / 15/ Kümmerle,K.; Berechnungsverfahren für mehrstufige Koppelanordnungen mit konjugierter Durchschaltung - Systematik und Analyse. Dissertation, Universität Stuttgart, 1969.
- / 16/ Langenbach-Belz,M., Melis,A., Verhille,H.; System 12 - Einführung. Elektrisches Nachrichtenwesen, 56, 1981, H. 2/3, S. 114-125.
- / 17/ Lotze,A.; Optimum Link Systems. 5.ITC, New York, 1967, S. 242-251.
- / 18/ Lotze,A., Röder,A., Thierer,G.; PPL - A Reliable Method for the Calculation of Point-to-Point Loss. 8.ITC, Melbourne, 1976, S. 547/1-14.
- / 19/ Lotze,A., Röder,A., Thierer,G.; Point-to-Point Loss in Case of Multiple Marking Attempts. 8.ITC, Melbourne, 1976, Ergänzung zu Paper 547.

- / 20/ Lotze,A., Röder,A., Thierer,G.; Point-to-Point Selection in Link Systems. 8.ITC, Melbourne, 1976, S. 541/1-5.
- / 21/ Lotze,A., Röder,A., Thierer,G.; Investigations on Folded and Reversed Link Systems. 8.ITC, Melbourne, 1976, S. 544/1-5.
- / 22/ 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.
- / 23/ Lotze,A., Rothmaier,K., Scheller,R.; TDM Versus SDM Switching Arrays - A Comparison. 9.ITC, Torremolinos, 1979, Paper 345.
- / 24/ Lotze,A., Rothmaier,K., Scheller,R.; PCM-Charts for the Design of Economic PCM Arrays Operating in the Point-to-Point Selection Mode. Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart, 1979.
- / 25/ Lotze,A., Rothmaier,K., Scheller,R.; Verkehrsleistung und wirtschaftliche Struktur von PCM-Koppelanordnungen in digitalen Fernsprechvermittlungsstellen. AEÜ, 35, 1981, H. 1, S. 7-15.
- / 26/ Lotze,A., Wagner,W.; Tafeln der modifizierten Palm-Jacobaeus-Verlustformel. Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart, 1963.
- / 27/ de los Mozos Marques,J.R., Buchheister,A.; System 12 - Verkehrs- und Belegungskapazität. Elektrisches Nachrichtenwesen, 56, 1981, H. 2/3, S. 207-217.

- / 28/ Philip,A.S.; The System X Digital Switching Subsystem (DSS). Systems Technology, No. 32, 1979, S. 5-19.
- / 29/ Risbridger,J.N.A.; System X Subsystems Part 1 - The Digital Switching Subsystem. POEEJ, 73, 1980, S. 19-26.
- / 30/ Röder,A.; Über die Verkehrseigenschaften und Strukturen einseitiger vielstufiger Koppelanordnungen in Verlustsystemen. Dissertation, Universität Stuttgart, 1980.
- / 31/ Roos,S., Ericson,B.; Digital Group Selector in the AXE 10 System. Ericsson Review, 1978, H.4, S. 140-147.
- / 32/ Rothmaier,K., Scheller,R.; Design of Economic PCM Arrays with a Prescribed Grade of Service. 9.ITC, Torremolinos, 1979, Paper 347.
- / 33/ Saito,T.; An Optimum Design Theory for PCM Toll Switching Networks. NTC, Los Angeles, 1977, S. 46/1-6.
- / 34/ Scheller,R.; Verkehrsgerechte Dimensionierung, Analyse und Kostenoptimierung von PCM-Koppelanordnungen. Dissertation, Universität Stuttgart, 1981.
- / 35/ Smith,K.; 256-Channel Digital Crosspoint Switch Fits in 28-Pin DIP. Electronics, 19, 1982.
- / 36/ System 12 - Das Digital-Vermittlungssystem. Technische Beschreibung, SEL Stuttgart, 1754.3802.5.
- / 37/ Tagaki,K.; Design of Multi-Stage Link Systems with Optimum Channel Graph. Review of the ECL, 17, 1969, H. 10, S. 1205.
- / 38/ Tawara,K., Sampei,T., Shimizu,I.; Speech Path System for DTS-11 Digital Toll Switchung System. Review of the ECL, 29, 1981, H. 3-4.

- / 39/ Thierer,G.; Die Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit in Linksystemen mit Punkt-Punkt Markierung. Dissertation, Universität Stuttgart, 1980.
- / 40/ Tokushima,H., Hayashi,Z., Yokoi,T., Yoshida,M.; Switching Network Traffic Design for Digital Telephone System. Review of the ECL, 29, 1981, H. 3-4.
- / 41/ Voyer,P., Ballard,M., Ledieu,B.; Réseaux de Connexion Temporels à Grande Capacité. Commutation et Electronique, 43, 1973.
- / 42/ Neufang,O. (Herausgeber); Lexikon der Elektronik. F. Vieweg & Sohn, Braunschweig, ISBN 3-528-04099-8, 1983.
- / 43/ NTG 0902; Nachrichtenvermittlungstechnik - Begriffe. Entwurf 1980.
- / 44/ NTG 0903; Nachrichtenverkehrstheorie - Begriffe. Entwurf 1983.
- / 45/ Vorlesung Nachrichtenvermittlung I. Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Prof. Dr.-Ing. P.Kühn, Universität Stuttgart.
- / 46/ Vorlesung Nachrichtenvermittlung I+II. Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Prof. Dr.-Ing. A.Lotze, Universität Stuttgart.

Im Text sind nur einige dieser alphabetisch geordneten Literaturangaben zitiert, nämlich nur an jenen Stellen, an denen ihre Ergebnisse direkt verwendet werden.

Die restlichen, nicht im Text zitierten Literaturangaben können als Systembeschreibungen zu den Kapiteln 2 und 4, den Strukturvorstellungen und den Wegezuteilungsprinzipien von PCM-Koppelanordnungen sowie als einführende Literatur für deren verkehrstheoretische Behandlung in Kapitel 8 hilfreich sein. Zu diesem Zweck lassen sich diese den entsprechenden Kapiteln folgendermaßen zuordnen.

Kapitel	Literaturstelle
1	23
2.1	35
2.2/4.1	3, 5, 6, 9, 10, 17, 25 28, 29, 31, 32, 33, 38
2.3/4.2	8, 16, 36, 41
5.1	22, 24
8.2	2, 4, 11, 12, 13, 15, 18, 19, 20, 21, 30, 37
8.3	27, 40
allgemein	42, 43, 44, 45, 46, 47