

Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung  
Universität Stuttgart  
Prof. Dr.-Ing. A. Lotze

**29. Bericht über verkehrstheoretische Arbeiten**

Die Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit  
in Linksystemen mit Punkt-Punkt-Markierung

von  
Gebhard Thierer

Institute of Switching and Data Technics  
University of Stuttgart  
Prof. Dr.-Ing. A. Lotze

**29 th Report on Studies in Congestion Theory**

The calculation of the probability of loss  
in link systems with point-to-point selection

by  
Gebhard Thierer

1980

© 1980 Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung Universität Stuttgart  
Druck: W. Schräpler  
ISBN 3 - 922403 - 39 - 5

## ABSTRACT

This report presents a new approximate calculation method for the point-to-point loss probability (PPL) in multistage switching systems with conjugate selection as widely used in telephone exchanges. The calculation method bases on the derivation of an effective accessibility from a starting to a destination multiple. By means of this effective accessibility, the multistage switching array can be mapped into a loss and load equivalent one-stage array. Thus, known formulae for determining the loss probability can be applied.

The PPL calculation method has been checked by many simulation runs with a total of more than 500 million test calls. In 25 diagrams, calculation results for various link system structures up to eight stages are given and compared to results obtained by simulation.

## CHAPTER I (pp 22-27)

Following a survey on the structure of the considered link systems the two types of application of link systems are discussed:

### Traffic distribution link systems (trunk link networks)

These systems are used - as their name implies - to distribute incoming traffic to different outgoing trunk groups according to the desired direction. The number of inlets approximately equals the number of outlets.

### Subscriber link systems (line link networks)

These systems are used in order to concentrate the traffic from the subscribers, and, vice versa, to distribute incoming traffic from trunk groups. The number of inlets on that side where the subscribers are connected to by far exceeds the number of terminations on the other side.

## CHAPTER II (28-71)

This chapter begins with the definition of the two types of pure chance traffic considered throughout this report:

### P C T 1 (Pure chance traffic of type 1)

The arrival rate  $\lambda$  of calls is constant and independent of the system occupancy. The interarrival times and the holding times are assumed to be negative exponentially distributed.

### P C T 2 (Pure chance traffic of type 2)

The arrival rate  $\lambda(x)$  of calls is proportional to the number  $(q-x)$  of momentarily idle traffic sources. The interarrival times per idle source and the holding times are assumed to be negative exponentially distributed.

Next, the two selection modes in a link system are described:

#### Point-to-group selection

A call offered to an idle inlet in the first stage can hunt all accessible trunks of the desired outgoing group behind the last stage. If no connection to an idle trunk can be set up the call suffers a point-to-group loss.

#### Point-to-point selection

For a call offered to an idle inlet in the first stage, one idle trunk of the desired outgoing group is chosen. Then, control tries to find a chain of idle links to the destination multiple where the a priori determined outlet is connected to. If this fails a point-to-point loss occurs.

Only the latter selection mode (point-to-point) is regarded throughout this report.

In section II.4, the way of solution of the loss calculation is outlined.

In a link system with point-to-point selection, the connection graph embraces all links leading from the starting multiple in stage 1 through the system to the destination multiple in stage  $S$ . The  $i_s$  links from stage  $(S-1)$  to the destination multiple may be regarded like a "trunk group". Therefore, it is sufficient for a calling inlet to have momentarily access within the connection graph to at least one idle "trunk" out of  $i_s$  "trunks" connected to the destination multiple. By means of the effective accessibility from the calling inlet to the "trunk group", one can map the connection graph within the multistage switching array into a loss and load equivalent one-stage array with  $i_s$  being the number of trunks of the desired outgoing group. A momentary congestion probability is determined which then is multiplied with the probabilities of state in the destination multiple and summed up suitably. This yields a momentary blocking probability. Calls arriving while the system is being blocked get lost. One obtains the point-to-point loss probability by dividing the number of lost calls per unit time by the number of offered calls per unit time.

CHAPTER III (pp 42-60)

The explicit formulae for the effective accessibility in traffic distribution link systems are derived and explained. Link systems with single linkage and multilinkage and so-called interleaved wiring are considered.

CHAPTER IV (pp 61-69)

The calculation model for the point-to-point loss is extended to the case of multiple marking attempts. Here, the size and the traffic load of the outgoing trunk group has to be taken into account.

CHAPTER V (pp 70-82)

This chapter describes the necessary adjustments of the point-to-point loss calculation in link systems with concentration (subscriber link systems). Special steps have to be taken in case of systems with more than four stages.

CHAPTER VI (pp 83-89)

Link systems with a reduced connection graph are treated here. For systems with three or four stages, a modification of the calculation of loss is required.

CHAPTER VII (pp 90-101)

Mapping PCM switching arrays into conventional switching arrays with space-division-multiplexing (SDM) yields structures having symmetrical link wiring with respect to the center stage. The loss calculation of systems with more than four stages involves subsystems which have to be calculated first.

CHAPTER VIII (pp 102-135)

A total of more than 500 million test calls have been carried out in extensive simulation runs to back the calculation method. 25 diagrams illustrate the good agreement between calculated results and simulated results of 28 selected link systems with various structures having up to eight stages.

INHALTSVERZEICHNIS	3
SCHRIFTTUMSVERZEICHNIS	7
BEZEICHNUNGEN	11
UNTERSUCHTE STRUKTUREN	13
<u>I. EINLEITUNG</u>	22
I.1 Einsatzgebiete mehrstufiger Koppelanordnungen	22
I.2 Methoden zur verkehrstheoretischen Untersuchung von Linkssystemen	23
I.2.1 Messung am realen System	24
I.2.2 Simulation von Linkssystemen	24
I.2.3 Exakte Berechnung von Linkssystemen	25
I.2.4 Näherungsweise Berechnung von Linkssystemen	25
I.3 Übersicht	26
<u>II. LÖSUNGSWEG ZUR NÄHERUNGSWEISEN BERECHNUNG DER VERLUSTWAHRSCHEINLICHKEIT BEI PUNKT-PUNKT-MARKIERUNG</u>	28
II.1 Verkehrsarten	28
II.2 Markierprinzipien	30
II.3 Verlustwahrscheinlichkeit	31
II.4 Lösungsweg	32
II.4.1 Sperrwahrscheinlichkeit	32
II.4.2 Momentane Blockierung $E_{\text{mom}}(x_1)$	33
II.4.3 Punkt-Punkt-Verlust bei abgeschnittenem Zufallsverkehr 1. Art	37
II.4.4 Punkt-Punkt-Verlust bei Zufallsverkehr 2. Art	39
II.4.5 Gesamtverlust	40
<u>III. EFFEKTIVE ERREICHBARKEIT</u>	42
III.1 Allgemeines	42
III.2 Effektive Erreichbarkeit für 3-stufige Linkssysteme mit einfacher Zwischenleitungsführung (single linkage)	44
III.3 Effektive Erreichbarkeit für 4-stufige Linkssysteme mit einfacher Zwischenleitungsführung (single linkage)	46
III.4 Effektive Erreichbarkeit für 5-stufige Linkssysteme mit einfacher Zwischenleitungsführung (single linkage)	49

III.5 Effektive Erreichbarkeit für 6-stufige Linkssysteme mit einfacher Zwischenleitungsführung (single linkage)	51
III.6 Effektive Erreichbarkeit für 4-stufige Linkssysteme mit mehrfacher Zwischenleitungsführung (multilinkage)	53
III.6.1 Mehrfache Zwischenleitungsführung (multilinkage) zwischen Stufe 2 und 3	53
III.6.2 Mehrfache Zwischenleitungsführung (multilinkage) zwischen allen Stufen	57
III.7 Effektive Erreichbarkeit für 6-stufige Linkssysteme mit mehrfacher Zwischenleitungsführung (multilinkage) zwischen Stufe 3 und 4	59
<u>IV. LINKSYSTEME MIT MEHRFACHER PUNKT-PUNKT-MARKIERUNG</u>	61
IV.1 Markierstrategie bei mehrfacher Punkt-Punkt-Markierung	61
IV.2 Rechenmodell bei mehrfacher Punkt-Punkt-Markierung	62
IV.3 Der Einfluß der Größe des Abnehmerbündels bei mehrfacher Punkt-Punkt-Markierung	67
IV.4 Gesamtverlust bei mehrfacher Punkt-Punkt-Markierung	69
<u>V. LINKSYSTEME FÜR TEILNEHMERWAHLSTUFEN</u>	70
V.1 Linkssysteme zur Verkehrskonzentration	70
V.1.1 Allgemeines	70
V.1.2 Punkt-Punkt-Verlust bei Zufallsverkehr 1. Art	71
V.1.3 Punkt-Punkt-Verlust bei Zufallsverkehr 2. Art	73
V.1.4 Punkt-Punkt-Verlust bei mehrfacher Markierung (ZV1 und ZV2)	74
V.1.5 Zwischenblockierung	75
V.1.5.1 Allgemeines	75
V.1.5.2 Zwischenblockierung in Stufe 2 (bei Linkssystemen mit mehr als 4 Stufen)	75
V.1.5.3 Zwischenblockierung in den Stufen 3, ..., S-1 (bei Linkssystemen mit mehr als 4 Stufen)	78
V.1.5.4 Zwischenblockierung bei Linkssystemen mit 3 und 4 Stufen	79
V.1.5.5 Resultierende momentane Blockierung	79
V.1.6 Effektive Erreichbarkeit für Linkssysteme mit Konzentration in Stufe 1	80

V.2	Linkssysteme zur Verkehrsexpansion	81
V.2.1	Allgemeines	81
V.2.2	Momentane Blockierung	81
<u>VI.</u>	<u>LINKSYSTEME MIT "UNTERTEILTEM" VERBINDUNGSGRAPHEN</u>	83
VI.1	Linkssysteme mit 3 und 4 Stufen	83
VI.1.1	Allgemeines	83
VI.1.2	Momentane Blockierung	84
VI.1.3	Punkt-Punkt-Verlust bei Zufallsverkehr 1. und 2. Art	86
VI.1.4	Effektive Erreichbarkeit	87
VI.1.4.1	Linkssysteme mit 3 Stufen	87
VI.1.4.2	Linkssysteme mit 4 Stufen	88
VI.2	Linkssysteme mit mehr als 4 Stufen	89
<u>VII.</u>	<u>LINKSYSTEME MIT SPIEGELSYMMETRISCHEM VERBINDUNGS-</u> <u>GRAPHEN</u>	90
VII.1	Allgemeines	90
VII.2	Gang der Rechnung	90
VII.3	Spiegelsymmetrische 5-stufige Linkssysteme mit ein- facher Zwischenleitungsführung	94
VII.4	Spiegelsymmetrische 6-stufige Linkssysteme mit ein- facher Zwischenleitungsführung	95
VII.5	Spiegelsymmetrische 7-stufige Linkssysteme mit ein- facher Zwischenleitungsführung	96
VII.6	Spiegelsymmetrische 8-stufige Linkssysteme mit ein- facher Zwischenleitungsführung	99
<u>VIII.</u>	<u>ERGEBNISSE DER NÄHERUNGSRECHNUNG PPL BZW. PPLM</u>	102
VIII.1	Allgemeines	102
VIII.2	Richtungswahlssysteme mit einfacher Punkt-Punkt- Markierung	103
VIII.2.1	Systeme mit einfacher Zwischenleitungsführung	103
VIII.2.2	Systeme mit mehrfacher Zwischenleitungsführung	105
VIII.2.3	Systeme mit unterteiltem Verbindungsgraphen	106
VIII.2.4	Systeme mit spiegelsymmetrischem Verbindungsgraphen	107
VIII.3	Richtungswahlssysteme mit mehrfacher Punkt-Punkt- Markierung	108
VIII.4	Teilnehmerwahlssysteme mit ein- und mehrfacher Punkt-Punkt-Markierung	109

VIII.5	Diagramme	111
IX.	ZUSAMMENFASSUNG	136

SCHRIFTTUM

/ 1/ Bächle, A. Die Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit für unvollkommen erreichbare Bündel bei Zufallsverkehr 2. Art. Studienarbeit Nr. 156 am Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart, 1966

/ 2/ Basharin, G.P. a) O vyvode sistem uravnenij sostojanija dlja dvuchkaskadnyh telefonnyh schem s poterjami. Elektrosvjaz' (1960) 1, 56-64  
b) Derivation of equations of state for two-stage telephone circuits with losses. Telecommunications (1960) 1, 79-90

/ 3/ 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 Proceedings, 232/1-232/12

/ 4/ Bazlen, D. Kampe, G. Lotze, A. Design parameters and loss calculation of link systems. IEEE-Com 22(1974) 12, 1908-1920

/ 5/ Bininda, N. Hofstetter, H. Modelle für die Simulation des Fernsprechverkehrsflusses bei mehrstufigen Koppelanordnungen. NTZ 16(1963) 7, 353-357

/ 6/ Brandt, J. G. Simulation von Vermittlungssystemen auf einer elektronischen Datenverarbeitungsanlage. Seminar "Experimental simulating and solving of probability problems", Prag, 1970 Prebook, 390-403

/ 7/ Brockmeyer, E. Halstrøm, H. L. Jensen, A. The life and works of A. K. Erlang. Transact. Danish Acad. Techn. Sci. Copenhagen, 2(1948)

/ 8/ Dreyfus, M. Anleitung zum praktischen Gebrauch von FORTRAN IV. Oldenbourg Verlag München und Wien, 1970

/ 9/ Elldin, A. On equations of state for two-stage link systems. Ericsson Technics 12(1956), 61-104

/10/ Herschel, R. Anleitung zum praktischen Gebrauch von ALGOL 60. Oldenbourg Verlag München und Wien (5. Auflage)

/11/ Herzog, U. Lotze, A. Schehrer, R. Die Berechnung von Leitungsbündeln hinter vereinfachten Mischungstypen NTZ 22(1969) 12, 684-689

/12/ Huber, M. Wagner, W. Simulation von Nachrichtenvermittlungssystemen. In: Nichtnumerische Informationsverarbeitung, R. Gunzenhäuser (Herausg.), Springer Verlag, Wien, New York, 1968.

/13/ Jacobaeus, C. A study on congestion in link systems. Ericsson Technics 48(1950), 1-68

/14/ Kampe, G. Simscript. Vieweg Verlag, Wiesbaden, 1971

/15/ Kampe, G. Kühn, P. Langenbach-Belz, M. Simulation in der Nachrichtenverkehrstheorie: Problemstellungen und Programmiersprachen. GI-Workshop "Methodik der rechnergestützten Simulation", Karlsruhe, 1973; Gesellschaft für Kernforschung, Karlsruhe, KFK-Bericht 1845, 1973, 240-263

/16/ Kharkevich, A.D. a) Pribligennyj metod rastscheta tschisla soeditelnyh ustrojstv v ATS koordinatnoj sistemy. Elektrosvjaz' (1959) 1, 55-63  
b) An approximate method for calculating the number of junctions in a crossbar system exchange. Telecommunications (1960), 185-197

/17/ Kosten, L. Simulation in traffic theory. 6. ITC, München, 1970 Congress-book, 411/1-411/8

/18/ Krachenfels, E. Punktverlust in Linksystemen mit Expansion und Konzentration. Studienarbeit Nr. 539 am Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart, 1978

/19/ Kümmerle, K. Ein Vorschlag zur Berechnung der Vertrauensintervalle bei Verkehrstests. AEÜ 23(1969) 10, 507-511

/20/ Kümmerle, K. Berechnungsverfahren für mehrstufige Koppelanordnungen mit konjugierter Durchschaltung - Systematik und Analyse. a) Dissertation, Universität Stuttgart, 1969  
b) 9. Bericht über verkehrstheoretische Arbeiten, Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart, 1969  
c) Englisch: Methods of calculation for multi-stage switching systems with conjugate selection - classification and analysis. British Post Office, London, Translation 2929

/21/ Kümmerle, K. Point-to-point loss in link systems - models and calculation methods. a) 6. ITC, München, 1970 Congress-Book, 235/1-235/8  
b) AEÜ 25(1971) 9/10, 466-471  
c) IEEE-Com 19(1971) 3, 261-267

/22/ Lee, C. Y. Analysis of switching networks. Bell System Technical Journal 34(1955) 1287-1315

/23/ Lörcher, w. Exact calculation of the probability of loss for two-stage link systems with preselection and group selection. a) 6. ITC, München, 1970, Congress-Book, 236/1-236/9  
b) AEÜ 25(1971) 9/10, 471-476

- /24/ Lörcher, W. Exakte Berechnung der Zustandswahrscheinlichkeiten und der charakteristischen Verkehrsgrößen mehrstufiger Koppelanordnungen mit konjugierter Durchschaltung.  
a) Dissertation, Universität Stuttgart, 1973  
b) 20. Bericht über verkehrstheoretische Arbeiten, Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart, 1973
- /25/ Lörcher, W. Point-to-point selection in link systems.  
a) 7. ITC, Stockholm, 1973  
Congress-Book, 317/1-317/8  
b) AEÜ 29(1975) 1, 24-30
- /26/ Lotze, A. Über die statistische Sicherheit von Verkehrsmessungen.  
NTZ 11(1958) 1, 5-7
- /27/ Lotze, A. Eine Verlustformel, ihre Prüfung mit künstlichem Zufallsverkehr und Güteermale zur Charakterisierung von Mischungen.  
3. ITC, Paris, 1961, Doc. 28
- /28/ Lotze, A. Verluste und Güteermale einstufiger Mischungen.  
NTZ 14(1961) 9,449-453
- /29/ Lotze, A. Das Näherungsverfahren der "Kombinierten Eingangs- und Abnehmerblockierung" (CIRB) zur Berechnung zwei- und mehrstufiger Linkssysteme mit Richtungswahl oder Vorwahl.  
3. Bericht über verkehrstheoretische Arbeiten, Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart, 1963
- /30/ Lotze, A. Wagner, W. Tafeln der modifizierten Palm-Jacobaeus-Verlustformel.  
Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart, 1963
- /31/ Lotze, A. Optimum link systems.  
5. ITC, New York, 1967, Prebook 242-251
- /32/ Lotze, A. History and development of grading theory.  
a) 5. ITC, New York, 1967, Prebook 148-161  
b) AEÜ 25(1971) 9/10, 402-410
- /33/ Lotze, A. Rothmaier, K. Scheller, R. PCM-CHARTS for the design of economic PCM switching arrays operating in the point-to-point selection mode.  
Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart, 1979
- /34/ Neovius, G. Artificial traffic trials using digital computers.  
Ericsson Technics 11(1955), 279-291

- /35/ Oehme, F. Über die Bedeutung der Hauptverkehrsstunde im Fernsprechverkehr.  
a) NTZ 19(1966) 12, 705-712  
b) Englisch: On the importance of the busy hour in telephone traffic.  
NTZ CJ 7(1968) 2/3, 60-64
- /36/ Schneider, H. Linkssysteme mit mehrfacher Punktwahl.  
Studienarbeit Nr. 531 am Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart, 1976
- /37/ Störmer, H. Anwendung des Stichprobenverfahrens beim Beurteilen von Fernsprechverkehrsmessungen.  
AEÜ 8(1954), 439-446

BEZEICHNUNGEN

1. Strukturgrößen:

- g Anzahl der Koppelvielfache
- $g_j$  Anzahl der Koppelvielfache in Stufe j eines Linksystems
- $g_{lj}$  Anzahl der Koppelvielfache eines Linkblocks in Stufe j eines Linksystems
- $g_{bj}$  Anzahl der Koppelvielfache in einer Gruppe von Linkblöcken eines Linksystems
- i Anzahl der Eingänge eines Koppelvielfachs
- $i_j$  Anzahl der Eingänge eines Koppelvielfachs in Stufe j eines Linksystems
- j Index für die Nr. der Stufe innerhalb des Linksystems ( $1 \leq j \leq S$ )
- k Anzahl der Ausgänge eines Koppelvielfachs
- $k_j$  Anzahl der Ausgänge eines Koppelvielfachs in Stufe j eines Linksystems
- $k_{eff}$  effektive Erreichbarkeit
- $l_{j,j+1}$  Faktor zur Kennzeichnung der Zwischenleitungsführung zwischen Stufe j und Stufe j+1
- N Anzahl der Leitungen
- $n_r$  Anzahl der Leitungen eines Abnehmerbündels in Richtung r
- q Anzahl der Verkehrsquellen
- S Anzahl der Stufen eines Linksystems

2. Verkehrsgrößen:

- $\alpha$  Anrufrate je freie Verkehrsquelle (auch: Ankunftsrate)
- $\epsilon$  Enderate ( $=1/h$ )
- $\lambda$  gesamte Ankunftsrate
- a mittlerer Ankunftsabstand
- A Verkehrsangebot in Erlang
- B Verlustwahrscheinlichkeit
- $c_A$  Zahl der ankommenden Rufe pro Zeiteinheit
- $c_V$  Zahl der Verlustrufe pro Zeiteinheit
- E Blockierwahrscheinlichkeit
- Erl Erlang, dimensionslose Einheit für den Nachrichtenverkehr
- f mittlere Freizeitdauer einer Verkehrsquelle
- h mittlere Dauer einer Leitungsbelegung (holding time)

- M Anzahl der Punkt-Punkt-Markierungsversuche
- $T_A$  Ankunftsabstand
- $T_F$  Freizeitdauer einer Verkehrsquelle
- $T_H$  Dauer einer Leitungsbelegung
- Y Verkehrsbelastung
- $Y_j$  Verkehrsbelastung auf einem Koppelvielfach der Stufe j eines Linksystems
- $Y_r$  Verkehrsbelastung auf einem Abnehmerbündel in Richtung r
- ZV1 Zufallsverkehr 1. Art (vgl. Abschnitt II.1)
- ZV2 Zufallsverkehr 2. Art (vgl. Abschnitt II.1)

3. Zustandsabhängige Größen:

- $c(x)$  Sperrwahrscheinlichkeit im Zustand x
- $E_{mom}(x)$  momentane Blockierungswahrscheinlichkeit im Zustand x
- $p(..)$  Wahrscheinlichkeit für das Bestehen des in Klammern angegebenen Zustands
- $\{x\}$  Zustand, in dem x Leitungen belegt sind

UNTERSUCHTE STRUKTUREN

1. 3-stufige Systeme mit einfacher Zwischenleitungsführung

$(\ell_{1,2} = \ell_{2,3} = 1)$

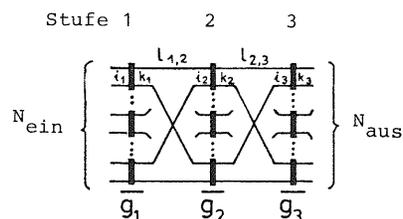
Bild 1 zeigt ein 3-stufiges Links-system und dessen Kurzschreibweise. Es gibt jeweils  $\ell_{1,2} = \ell_{2,3} = 1$  Zwischenleitung zwischen 2 Koppelvielfachen in aufeinanderfolgenden Stufen, d. h. folgende Bedingungen sind erfüllt:

$k_1 = g_{\ell 2} = g_2; g_1 = g_{\ell 1} = i_2; k_2 = g_{\ell 3} = g_3; g_2 = g_{\ell 2} = i_3$  (1)...(4)

Allgemein gilt:  $\ell_{1,2} = k_1/g_{\ell 2}; \ell_{2,3} = k_2/g_3$  (5), (6)

Jedes beliebige Koppelvielfach in Stufe 3 kann (im unbelasteten System) über alle  $k_1$  Zwischenleitungen von Stufe 1 aus erreicht werden ( $k_1$ -fache Masche). Ebenso kann jedes Koppelvielfach der Stufe 1 über alle  $i_3$  Zwischenleitungen von Stufe 3 aus erreicht werden. Die Breite des Verbindungsgraphen ist somit  $k_1 = g_2 = i_3$ .

Ausführliche Darstellung



Kurzschreibweise

$$\frac{i_1 | k_1}{g_1} \quad \overset{-\ell_{1,2}-}{\quad} \quad \frac{i_2 | k_2}{g_2} \quad \overset{-\ell_{2,3}-}{\quad} \quad \frac{i_3 | k_3}{g_3}$$

Bild 1: Ausführliche Darstellung und Kurzschreibweise eines 3-stufigen Link-systems mit einfacher Zwischenleitungsführung

2. 3-stufige Systeme mit unterteiltem Verbindungsgraphen

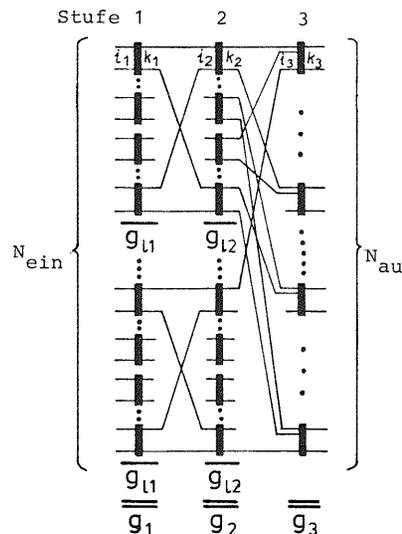
$(\ell_{1,2} = 1; \ell_{2,3} < 1)$

Bild 2 zeigt ein 3-stufiges Links-system mit unterteiltem Verbindungsgraphen und dessen Kurzschreibweise. Es handelt sich hierbei um eine Struktur mit Linkblöcken zwischen Stufe 1 und 2. Jeweils  $\ell_{1,2} = 1$  Zwischenleitung führt von einem Koppelvielfach in Stufe 1 zu einem Koppelvielfach in Stufe 2 innerhalb eines Linkblocks. Jedoch ist die Zahl  $k_2$  der Ausgänge eines Koppelvielfachs der Stufe 2 kleiner als die Gesamtzahl  $g_3$  der Koppelvielfache in Stufe 3. Infolgedessen kann (im unbelasteten System) ein Koppelvielfach der 3. Stufe nicht über alle  $k_1$  Ausgänge eines Koppelvielfachs in der 1. Stufe erreicht werden (vgl. dazu auch Bild 6-1 im Abschnitt VI am Beispiel eines 4-stufigen Systems). Es gelten die folgenden Beziehungen:

$k_1 = g_{\ell 2}; g_{\ell 1} = i_2; k_2 < g_3; g_2 > i_3;$  (7)...(10)

Allgemein gilt:  $\ell_{1,2} = k_1/g_{\ell 2}; \ell_{2,3} = k_2/g_3$  (11), (12)

Ausführliche Darstellung



Kurzschreibweise

$$\frac{i_1 | k_1}{g_{\ell 1}} \quad \overset{-\ell_{1,2}-}{\quad} \quad \frac{i_2 | k_2}{g_2} \quad \overset{-\ell_{2,3}-}{\quad} \quad \frac{i_3 | k_3}{g_3}$$

Bild 2: Ausführliche Darstellung und Kurzschreibweise eines 3-stufigen Link-systems mit Linkblöcken

3. 4-stufige Systeme mit einfacher Zwischenleitungsführung

$(l_{1,2} = l_{2,3} = l_{3,4} = 1)$

Bild 3 zeigt ein 4-stufiges Linkssystem und dessen Kurzschreibweise. Die Verdrahtung der Zwischenleitungen erfolgt von Stufe 1 nach Stufe 2 sowie von Stufe 3 nach Stufe 4 unter Bildung von Linkblöcken. Einfache Zwischenleitungsführung ist dann gegeben, wenn die Beziehungen (13), ..., (17) gelten:

$k_1 = g_{l2} = g_{l3} = i_4; g_{l1} = i_2; k_3 = g_{l4};$  (13) .. (15)

$k_2 = g_3 / g_{l3} = g_4 / g_{l4} =$  Zahl der Linkblöcke in Stufe 3 und 4 (16)

$i_3 = g_1 / g_{l1} = g_2 / g_{l2} =$  Zahl der Linkblöcke in Stufe 1 und 2 (17)

Allgemein gilt:  $l_{1,2} = k_1 / g_{l2}$  (18)

$l_{2,3} = k_2 / (g_3 / g_{l3}) = k_2 / (g_4 / g_{l4})$  (19)

$l_{3,4} = k_3 / g_{l4}$  (20)

Jedes beliebige Koppelvielfach der Stufe 4 kann (im unbelasteten System) über alle  $k_1$  Zwischenleitungen von Stufe 1 aus erreicht werden ( $k_1$ -fache Masche). Umgekehrt kann jedes Koppelvielfach der Stufe 1 über alle  $i_4$  Zwischenleitungen von der Stufe 4 aus erreicht werden. Die Breite des Verbindungsgraphen ist somit  $k_1 = g_{l2} = g_{l3} = i_4$ .

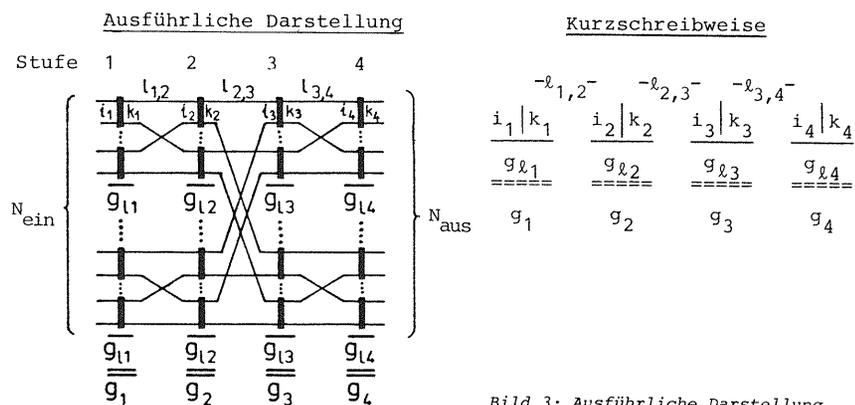


Bild 3: Ausführliche Darstellung und Kurzschreibweise eines 4-stufigen Linksystems mit Linkblöcken

4. 4-stufige Systeme mit mehrfacher Zwischenleitungsführung

$(l_{j,j+1} > 1; j=1,2,3)$

Mehrfache Zwischenleitungsführung liegt dann vor, wenn nachstehende Beziehungen erfüllt sind:

$k_1 > g_{l2}; i_2 > g_{l1}; k_3 > g_{l4}; i_4 > g_{l3};$  (21) .. (24)

$k_2 > g_3 / g_{l3} = g_4 / g_{l4} =$  Zahl der Linkblöcke in Stufe 3 und 4 (25)

$i_3 > g_1 / g_{l1} = g_2 / g_{l2} =$  Zahl der Linkblöcke in Stufe 1 und 2 (26)

Weiterhin gelten die allgemeinen Beziehungen für die Faktoren  $l_{1,2}$ ,  $l_{2,3}$  und  $l_{3,4}$ , wie in den Gleichungen (18,19,20) angegeben.

5. 4-stufige Systeme mit unterteiltem Verbindungsgraphen

$(l_{1,2} = 1, l_{2,3} < 1, l_{3,4} = 1)$

Man spricht von einem 4-stufigen Linksystem mit unterteilten Verbindungsgraphen, wenn die Zahl der Linkblöcke in Stufe 3 und 4 größer ist als  $k_2$  bzw. die Zahl der Linkblöcke in Stufe 1 und 2 größer ist als  $i_3$ . Es gilt also:

$k_1 = g_{l2}; i_2 = g_{l1}; k_3 = g_{l4}; i_4 = g_{l3};$  (27) .. (30)

$k_2 < g_3 / g_{l3} = g_4 / g_{l4} =$  Zahl der Linkblöcke in Stufe 3 und 4 (31)

$i_3 < g_1 / g_{l1} = g_2 / g_{l2} =$  Zahl der Linkblöcke in Stufe 1 und 2 (32)

Die allgemeinen Beziehungen für die Faktoren  $l_{1,2}$ ,  $l_{2,3}$  und  $l_{3,4}$  gelten weiterhin, wie in den Gleichungen (18,19,20) angegeben.

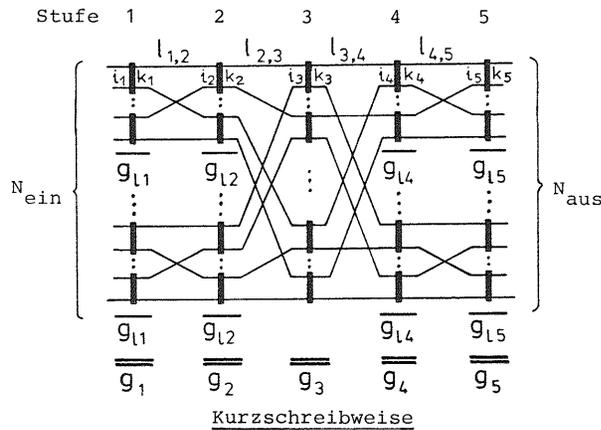
Von einem Koppelvielfach der 2. Stufe gelangt man nicht in alle Linkblöcke der Stufe 3 und 4 (wegen  $k_2 < g_3 / g_{l3}$ ). Der Verbindungsgraph beschränkt sich infolgedessen auf diejenigen ( $< k_1$ ) Koppelvielfache in Stufe 2, über die eine Verbindung in das betrachtete Zielkoppelvielfach hergestellt werden kann. Die Breite des Verbindungsgraphen ist gegeben durch  $k_1 \cdot l_{2,3}$ .

6. 5-stufige Systeme mit einfacher Zwischenleitungsführung

$$(\ell_{1,2} = \ell_{2,3} = \ell_{3,4} = \ell_{4,5} = 1)$$

In Bild 4 ist ein 5-stufiges Linksystem und dessen Kurzschreibweise gezeigt. Die Verdrahtung der Zwischenleitungen von Stufe 1 nach Stufe 2 und von Stufe 4 nach Stufe 5 erfolgt unter Bildung von Linkblöcken. Die Verdrahtung von Stufe 2 nach Stufe 3 ist dergestalt, daß jedes Koppelvielfach der Stufe 3 über genau 1 Weg von einem Koppelvielfach der Stufe 1 erreichbar ist (Fächer bis zur 3. Stufe). Die Verdrahtung von der Stufe 3 zur Stufe 4 entspricht genau derjenigen eines 4-stufigen Linksystems mit einfacher Zwischenleitungsführung zwischen Stufe 2 und 3 (vgl. dazu Bild 3).

Ausführliche Darstellung



$$\begin{array}{ccccc} \overline{i_1|k_1} & \overline{i_2|k_2} & \overline{i_3|k_3} & \overline{i_4|k_4} & \overline{i_5|k_5} \\ \underline{\underline{g_{l1}}} & \underline{\underline{g_{l2}}} & \underline{\underline{g_{l3}}} & \underline{\underline{g_{l4}}} & \underline{\underline{g_{l5}}} \\ g_1 & g_2 & g_3 & g_4 & g_5 \end{array}$$

Bild 4: Ausführliche Darstellung und Kurzschreibweise eines 5-stufigen Linksystems mit einfacher Zwischenleitungsführung

Man bezeichnet die Art von Verdrahtung, wie aus Bild 4 ersichtlich, mit dem englischen Ausdruck "interleaved" (etwa: ausgekreuzt). Eine andere Verdrahtungsart wäre es, die Zwischenleitungen spiegelsymmetrisch (mit Stufe 3 als Symmetrieachse) zu verdrahten. Die Verbindungsgraphen in Bild 5a und 5b veranschaulichen dies. Letztere Verdrahtungsart liefert aber eine schlechtere Erreichbarkeit des Zielkoppelvielfachs und somit eine höhere Verlustwahrscheinlichkeit.

Einfache Zwischenleitungsführung in einem 5-stufigen Linksystem ist dann gegeben, wenn die Beziehungen (33), ..., (40) erfüllt sind:

$$k_1 = g_{l2} = g_{l4} = i_5; \quad g_{l1} = i_2; \quad k_4 = g_{l5}; \quad (33) \dots (35)$$

$$k_1 \cdot k_2 = g_3 = i_4 \cdot i_5; \quad g_1 = i_2 \cdot i_3; \quad g_5 = k_3 \cdot k_4 \quad (36) \dots (38)$$

$$i_3 = g_1 / g_{l1} = g_2 / g_{l2} = \text{Zahl der Linkblöcke in Stufe 1 und 2} \quad (39)$$

$$k_3 = g_4 / g_{l4} = g_5 / g_{l5} = \text{Zahl der Linkblöcke in Stufe 4 und 5} \quad (40)$$

$$\text{Allgemein gilt: } \ell_{1,2} = k_1 / g_{l2} \quad (41)$$

$$\ell_{2,3} = i_3 / (g_1 / g_{l1}) = i_3 / (g_2 / g_{l2}) \quad (42)$$

$$\ell_{3,4} = k_3 / (g_4 / g_{l4}) = k_3 / (g_5 / g_{l5}) \quad (43)$$

$$\ell_{4,5} = i_5 / g_{l4} \quad (44)$$

Der Verbindungsgraph umfaßt an seiner breitesten Stelle (zwischen den Stufen 2 und 4)  $k_1 \cdot k_2 = g_3 = i_4 \cdot i_5$  Zwischenleitungen. In Bild 5a und 5b sind die beiden möglichen Arten "interleaved bzw. ausgekreuzt" und "spiegelsymmetrisch" skizziert.

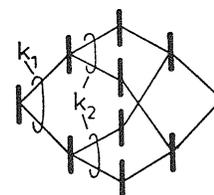


Bild 5a

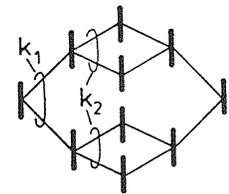


Bild 5b

Bild 5: Mögliche Arten von Verbindungsgraphen in einem 5-stufigen Linksystem mit einfacher Zwischenleitungsführung

- a) interleaved bzw. ausgekreuzt
- b) spiegelsymmetrisch

7. 6-stufige Systeme mit einfacher Zwischenleitungsführung

$$(\ell_{1,2} = \ell_{2,3} = \ell_{3,4} = \ell_{4,5} = \ell_{5,6} = 1)$$

In Bild 6 ist ein 6-stufiges Links-System und in Bild 7 dessen Kurzschreibweise gezeigt. Die Verdrahtung der Zwischenleitungen von Stufe 1 nach 2 sowie von Stufe 5 nach 6 erfolgt unter Bildung von Linkblöcken, die Verdrahtung von Stufe 2 nach 3 sowie von Stufe 4 nach 5 unter Bildung von Gruppen von Linkblöcken. Analog zu 5-stufigen Systemen kann die Verdrahtung zwischen der Stufe 4 und 5 entweder nach dem Prinzip "interleaved" oder "spiegelsymmetrisch" durchgeführt werden, wobei letztere Verdrahtungsart die höheren Verlustwahrscheinlichkeiten liefert.

Ausführliche Darstellung

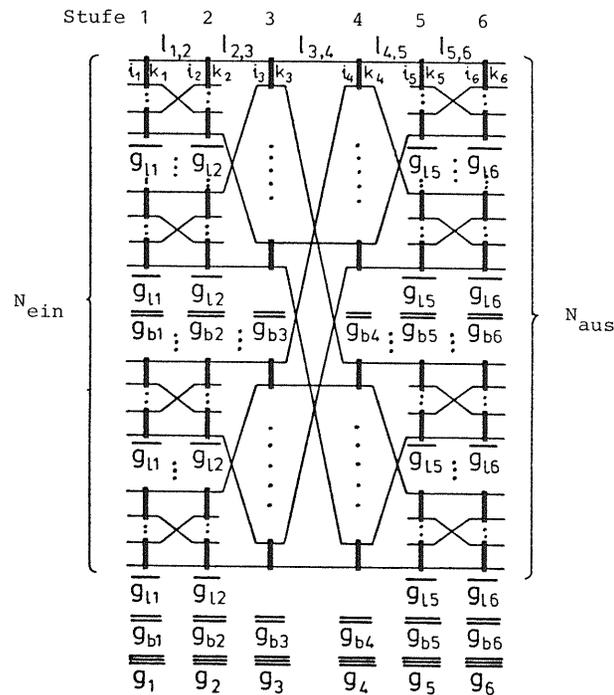


Bild 6: Ausführliche Darstellung eines 6-stufigen Links-Systems

Kurzschreibweise

$i_1   k_1$	$i_2   k_2$	$i_3   k_3$	$i_4   k_4$	$i_5   k_5$	$i_6   k_6$
$g_{l1}$	$g_{l2}$			$g_{l5}$	$g_{l6}$
$g_{b1}$	$g_{b2}$	$g_{b3}$	$g_{b4}$	$g_{b5}$	$g_{b6}$
=====	=====	=====	=====	=====	=====
$g_1$	$g_2$	$g_3$	$g_4$	$g_5$	$g_6$

Bild 7: Kurzschreibweise eines 6-stufigen Links-Systems

Nachfolgend sind die Beziehungen für einfache Zwischenleitungsführung aufgelistet (Gleichungen (45), ..., (52)).

$$k_1 = g_{l2} = g_{l5} = i_6; \quad g_{l1} = i_2; \quad k_5 = g_{l6}; \quad (45) \dots (47)$$

$$k_1 \cdot k_2 = g_{b3} = g_{b4} = i_5 \cdot i_6 \quad (48)$$

$$k_3 = g_4 / g_{b4} = g_5 / g_{b5} = g_6 / g_{b6} = \text{Zahl der Linkblockgruppen in den Stufen 4-6} \quad (49)$$

$$i_4 = g_1 / g_{b1} = g_2 / g_{b2} = g_3 / g_{b3} = \text{Zahl der Linkblockgruppen in den Stufen 1-3} \quad (50)$$

$$k_4 = g_{b5} / g_{l5} = g_{b6} / g_{l6} = \text{Zahl der Linkblöcke in einer Linkblockgruppe in Stufe 5 und 6} \quad (51)$$

$$i_3 = g_{b1} / g_{l1} = g_{b2} / g_{l2} = \text{Zahl der Linkblöcke in einer Linkblockgruppe in Stufe 1 und 2} \quad (52)$$

$$\text{Allgemein gilt: } \ell_{1,2} = k_1 / g_{l2} \quad (53)$$

$$\ell_{2,3} = i_3 / (g_{b1} / g_{l1}) = i_3 / (g_{b2} / g_{l2}) \quad (54)$$

$$\ell_{3,4} = k_3 / (g_4 / g_{b4}) = k_3 / (g_5 / g_{b5}) = k_3 / (g_6 / g_{b6}) \quad (55)$$

$$\ell_{4,5} = k_4 / (g_{b5} / g_{l5}) = k_4 / (g_{b6} / g_{l6}) \quad (56)$$

$$\ell_{5,6} = k_5 / g_{l6} \quad (57)$$

Die Breite des Verbindungsgraphen an seiner breitesten Stelle (zwischen den Stufen 2 und 6) ist  $k_1 \cdot k_2 = g_{b3} = g_{b4} = i_5 \cdot i_6$ . Er kann entweder vom Typ "interleaved" oder "spiegelsymmetrisch" sein.

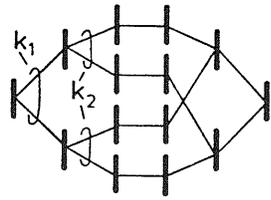


Bild 8a

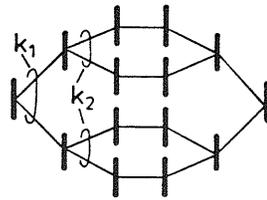


Bild 8b

Bild 8: Mögliche Arten von Verbindungsgraphen in einem 6-stufigen Linksystem mit einfacher Zwischenleitungsführung

- a) interleaved bzw. ausgekreuzt
- b) spiegelsymmetrisch

8. 6-stufige Systeme mit einfacher Zwischenleitungsführung außer zwischen Stufe 3 und 4 ( $\ell_{3,4} \neq 1$ )

Bei Linksystemen mit einfacher Zwischenleitungsführung, außer zwischen den mittleren Stufen 3 und 4, unterscheidet man 2 Fälle:

- a)  $\ell_{3,4} > 1$ : Mehrfache Zwischenleitungsführung zwischen Stufe 3 und 4  
Dies bedeutet, daß die Zahl der Linkblockgruppen (vgl. Gl. (55)) kleiner ist als die Zahl  $k_3 =$  Ausgänge eines Koppelvielfachs in Stufe 3; anders ausgedrückt, von einem Koppelvielfach der Stufe 3 führen  $\ell_{3,4} > 1$  Zwischenleitungen in eine Linkblockgruppe der Stufen 4-6.
- b)  $\ell_{3,4} < 1$ : Unterteilter Verbindungsgraph  
Die Zahl der Linkblockgruppen in den Stufen 4-6 ist größer als die Zahl  $k_3$ , d. h. von einem Koppelvielfach der Stufe 3 kann man nicht in alle Linkblockgruppen gelangen, sondern nur in einen Teil hiervon. Der Verbindungsgraph umfaßt daher nicht  $k_1 \cdot k_2$  Koppelvielfache der Stufe 3, sondern nur  $k_1 \cdot k_2 \cdot \ell_{3,4}$ .

I. EINLEITUNG

I.1 Einsatzgebiete mehrstufiger Koppelanordnungen

In neueren Vermittlungssystemen für den Fernspreverkehr werden zumeist mehrstufige Koppelanordnungen verwendet, die mit "konjugierter Durchschaltung" betrieben werden, d. h. freie Leitungen zwischen den einzelnen Stufen werden dann und nur dann belegt, wenn zuvor ein durchgehend freier Weg zu einer geeigneten Abnehmerleitung gefunden wurde. Solche mehrstufigen Koppelanordnungen werden Linksysteme oder auch Zwischenleitungsanordnungen genannt.

Gegenüber einstufigen Koppelanordnungen haben Linksysteme den Vorteil, daß man unter der Voraussetzung gleicher Verkehrsleistung eine wesentliche Einsparung an Koppelpunkten erzielt. Außerdem kann durch die Verwendung von Linksystemen erreicht werden, daß auch sehr große Leitungsbündel mit wirtschaftlichem Aufwand praktisch vollkommen abgesucht werden können / 3, / 4, / 31/. Im Vergleich zu einstufigen Koppelanordnungen muß allerdings ein erhöhter Aufwand an Markier- und Steuerlogik getrieben werden.

Linksysteme werden im allgemeinen in Teilnehmerwahlstufen und in Richtungswahlstufen eingesetzt.

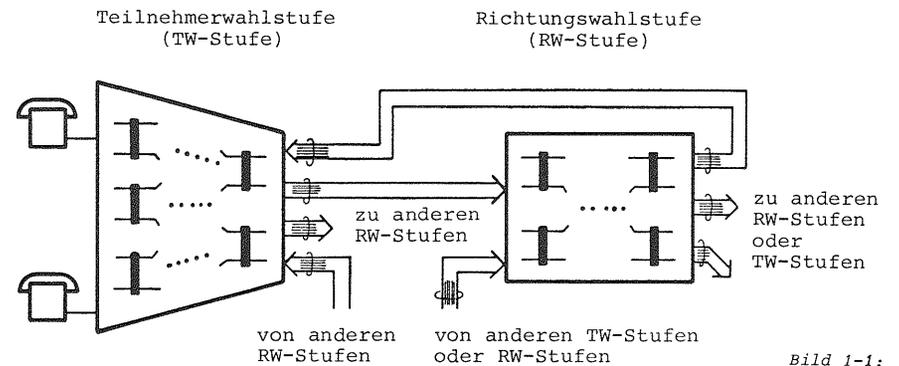


Bild 1-1:

Teilnehmerwahlstufen dienen zunächst dazu, den von den angeschlossenen Teilnehmern abgehenden Verkehr zu konzentrieren. Man erzielt dadurch eine bessere Ausnutzung der nachgeschalteten Leitungsbündel, da die Teilnehmerleitungen in der Regel nur sehr schwach belastet sind.

In Richtungswahlstufen wird nun der von einem oder mehreren Leitungsbündeln ankommende Verkehr in verschiedene weiterführende Richtungen verteilt. Richtungswahlstufen haben - im Gegensatz zu Teilnehmerwahlstufen - meist eine etwa gleich große Anzahl von Eingangs- und Abnehmerleitungen.

Wie aus Bild 1-1 ersichtlich, wird der Verkehr anschließend in Richtung zu den Teilnehmern expandiert. Dies geschieht in der Regel wiederum in der Teilnehmerwahlstufe. Somit kommt der Teilnehmerwahlstufe eine doppelte Aufgabe zu, nämlich einerseits die Konzentration des vom Teilnehmer abgehenden Verkehrs und andererseits die Expansion des ankommenden Verkehrs zum Teilnehmer hin. Getrennte Teilnehmerwahlstufen für den ankommenden bzw. abgehenden Verkehr sind ebenfalls möglich.

## I.2 Methoden zur verkehrstheoretischen Untersuchung von Linksystemen

Für die verkehrstheoretische Untersuchung von Linksystemen ist in erster Linie die Verlustwahrscheinlichkeit bei vorgegebener Verkehrsbelastung und vorgegebenem Angebotsprozeß von Interesse (vgl. Abschnitt II.1-3). Darunter versteht man die Wahrscheinlichkeit, daß ein eintreffender Ruf nicht durchgeschaltet werden kann und abgewiesen werden muß, sei es, daß alle Leitungen des gewünschten Abnehmerbündels belegt sind bzw. die gewünschte Teilnehmerleitung nicht frei ist, oder daß infolge innerer Blockierung des Systems kein durchgehend freier Weg gefunden werden kann.

Es gibt grundsätzlich 4 Verfahren zur Bestimmung der Verlustwahrscheinlichkeit in Linksystemen:

### I.2.1 Messung am realen System

Die Verkehrsleistung, d. h. die Verlustwahrscheinlichkeit als Funktion der Systembelastung sowie der Struktur und der Steuerung der Koppelanordnung, wird in der Praxis mit Hilfe von Verkehrsmessungen ermittelt. Hierzu sind während der Hauptverkehrszeit /35/ die erfolgreichen Anrufe und die erfolglosen Anrufe (Verluste) zu registrieren, außerdem muß die Verkehrsbelastung gemessen werden. Diese schwankt jedoch von Tag zu Tag und ist außerdem noch abhängig von der Jahreszeit. Um nun eine genügend große statistische Aussagesicherheit zu erhalten, muß eine Vielzahl von Messungen durchgeführt werden /26/, /37/. Wegen des zu hohen Zeitbedarfs und der statistischen Ungenauigkeit ist dieses Verfahren bei verkehrstheoretischen Untersuchungen im allgemeinen nicht anwendbar; geeigneter hierfür ist die Simulation.

### I.2.2 Simulation von Linksystemen

Bei der Simulation werden die Struktur sowie der Ankunftsprozeß und der Verkehrsfluß durch das System auf einem Digitalrechner nachgebildet / 5/, / 6/, /12/, /15/, /17/, /34/. Für die Programmierung stehen neben den höheren Sprachen ALGOL /10/ und FORTRAN / 8/ auch eigens entwickelte Simulationssprachen wie GPSS, Simula oder Simgen /14/ zur Verfügung. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt in der Schnelligkeit (es können zum Beispiel je nach Größe des Linksystems, Simulationsprinzip und Rechnerart  $10^5$  bis zu  $10^6$  Anrufe pro Rechnerstunde erzeugt werden. Weiterhin ist das Simulationsverfahren flexibel bezüglich der nachzubildenden Strukturen und Verkehrsabläufe.

### I.2.3 Exakte Berechnung von Linksystemen

Mit den Methoden der Statistik und der Wahrscheinlichkeitsrechnung wird der Verkehrsablauf im realen Linksystem auf ein möglichst wirklichkeitsgetreues mathematisches Modell abgebildet. Hierbei ergeben sich für den stationären Verkehr lineare Gleichungssysteme von so hohem Rang, daß selbst auf den größten Digitalrechnern exakte Lösungen nur für sehr kleine, in der Praxis kaum vorkommende Linksysteme numerisch ausgewertet werden können. Bei Linksystemen üblicher Größe (ca. 500 bis 50 000 Anschlüsse) wird die exakte Verlustberechnung auch in Zukunft selbst mit den größten Rechenanlagen nicht möglich sein, da der Rang der Gleichungssysteme in der Regel den Wert  $10^{100}$  übersteigt / 2/, / 9/, /23/, /24/, /25/.

### I.2.4 Näherungsweise Berechnung von Linksystemen

Wie bei der exakten Verlustberechnung wird das Linksystem durch ein mathematisches Modell nachgebildet. Durch vereinfachende Annahmen (Näherungen) wird der Rechenaufwand jedoch so reduziert, daß die so gewonnenen Näherungsverfahren noch numerisch auswertbar sind und für die Praxis ausreichend genaue Näherungsergebnisse liefern. Vor der Einführung eines Näherungsverfahrens, d. h. vor dessen allgemeiner Anwendung, muß jedoch durch eine ausreichende Zahl von Simulationen dessen Zuverlässigkeit geprüft werden.

In der Literatur findet sich eine große Anzahl von Lösungsversuchen, die (bis 1969) von Kümmerle systematisch zusammengestellt wurden /20/.

### I.3 Übersicht

Die Durchschaltung von Verbindungen in Linksystemen erfolgt entweder nach dem Verfahren der Punkt-Punkt-Markierung oder der Punkt-Bündel-Markierung.

Für Punkt-Bündel-Markierung wurde 1973 ein generell anwendbares Verfahren zur Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit (CLIGS, / 3/, / 4/) veröffentlicht. Dagegen existierte bisher noch kein hinreichend genaues und zuverlässiges Verfahren für Punkt-Punkt-Markierung.

Das hier vorgestellte Rechenverfahren PPL (vom Englischen: Point-to-Point Loss) ermöglicht die näherungsweise Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit in Linksystemen mit Punkt-Punkt-Markierung. Hierbei wird folgender Lösungsweg eingeschlagen (siehe Abschnitt II):

- Das (mehrstufige) Linksystem wird mit Hilfe der sogenannten "effektiven" Erreichbarkeit auf eine äquivalente einstufige Koppelanordnung (Mischung) abgebildet. Unter effektiver Erreichbarkeit versteht man jene Erreichbarkeit, die eine einstufige Koppelanordnung haben muß, um - bei gleicher Leitungszahl und gleicher Verkehrsbelastung - dieselbe Verlustwahrscheinlichkeit wie die mehrstufige Koppelanordnung aufzuweisen. Dieser Grundgedanke wurde erstmalig von Kharkevich /16/ für zweistufige Systeme vorgeschlagen und hat sich mit einer verbesserten Berechnungsart auch bei vielstufigen Linksystemen mit Punkt-Bündel-Markierung bereits bewährt.
- Für diese einstufige Modellkoppelanordnung wird nun die Verlustwahrscheinlichkeit mit Hilfe bekannter Verfahren bestimmt / 1/, /27/, /28/.

Den Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit bildete die Entwicklung eines mathematischen Modells zur möglichst genauen Berechnung der effektiven Erreichbarkeit für Linksysteme mit Punkt-Punkt-Markie-

rung, und zwar sowohl für nur 1 Durchschalteversuch, als auch für den Fall wiederholter Durchschalteversuche.

Abschnitt III befaßt sich mit Linkssystemen für Richtungswahl; je nach Struktur, Stufenzahl und Verdrahtung der Zwischenleitungen (Zwischenleitungsführung) ist die Berechnung der effektiven Erreichbarkeit verschieden.

Im Abschnitt IV wird das Verfahren PPL für die einfache Punkt-Punkt-Markierung (1 Durchschalteversuch) ausgedehnt auf den Fall der mehrfachen Punkt-Punkt-Markierung. Auch hier kann das Grundmodell der effektiven Erreichbarkeit erfolgreich eingesetzt werden.

Auch Linkssysteme mit Konzentration bzw. Expansion, wie sie in Teilnehmerwahlstufen verwendet werden, können mit dem Verfahren PPL berechnet werden. Dies wird in Abschnitt V gezeigt.

Abschnitt VI behandelt Linkssysteme mit sogenanntem "unterteilten" Verbindungsgraphen. Hierzu war für 3- und 4-stufige Systeme eine Modifizierung des Rechnungsganges erforderlich.

In Abschnitt VII werden Linkssysteme mit mehr als 4 Stufen betrachtet, die einen symmetrischen Verbindungsgraphen aufweisen. Solche Systeme entstehen z. B. bei der Abbildung von PCM-Koppelanordnungen auf analoge Raumvielfachanordnungen.

Der Vergleich zwischen Simulation und Rechnung wird in Abschnitt VIII durchgeführt. In zahlreichen Diagrammen wird die gute Übereinstimmung zwischen simulierten und gerechneten Werten unter Beweis gestellt.

II. LÖSUNGSWEG ZUR NÄHERUNGSWEISEN BERECHNUNG DER VERLUSTWAHRSCHEINLICHKEIT BEI PUNKT-PUNKT-MARKIERUNG

II.1 Verkehrsarten

Die vorliegende Arbeit legt für das entwickelte Rechenverfahren PPL folgende Modellvorstellung bezüglich der Ankünfte (Ankunftsprozeß) sowie der Bedienung (Bedienungsprozeß) zugrunde, wobei nur der stationäre Verkehrsablauf betrachtet wird, d. h. die Prozesse und Zustandswahrscheinlichkeiten sind zeitinvariant.

Ankunftsprozesse

A) Die Zahl  $q$  der Verkehrsquellen wird als sehr groß gegenüber der Leitungszahl  $N$  angenommen ( $q \gg N$ , im Grenzfall  $q \rightarrow \infty$ ), d. h. unabhängig vom Belegungszustand der Koppelanordnung bleibt die Ankunftsrate  $\lambda$  konstant. Die Ankunftsabstände  $T_A$  sind um den Mittelwert  $a = 1/\lambda$  negativ exponentiell verteilt (Poisson-Ankunftsprozeß)

$$P(T_A \leq t) = 1 - e^{-t/a} \tag{2.1}$$

B) Die Zahl  $q$  der Verkehrsquellen liegt in der Größenordnung der Leitungszahl  $N$ . Dies bedeutet, daß die Ankunftsrate davon abhängig ist, wieviele der  $q$  Verkehrsquellen momentan noch frei sind. Jede freie Quelle hat die Ankunftsrate  $\alpha$ . Die Freizeitdauern  $T_F$  jeder einzelnen Quelle sind um den Mittelwert  $f = 1/\alpha$  negativ exponentiell verteilt (Poisson-Ankunftsprozeß pro freie Quelle)

$$P(T_F \leq t) = 1 - e^{-t/f} \tag{2.2}$$

Bedienungsprozeß

C) Die Belegungsdauern  $T_H$  sind um den Mittelwert  $h = 1/\epsilon$  negativ exponentiell verteilt. Daraus folgt, daß die Wahrscheinlichkeitsdichte für das Endigen einer Belegung konstant ( $= \epsilon = 1/h$ ) ist,

unabhängig davon, wie lange die betrachtete Belegung schon bestand (Markoff-Eigenschaft).

$$P(T_H \leq t) = 1 - e^{-t/h} \quad (2.3)$$

Zufallsverkehr 1. Art

- Unter Zufallsverkehr 1. Art versteht man einen Verkehrsablauf mit dem Ankunfts- und Bedienungsprozeß gemäß Abschnitt A und C.

Abgeschnittener Zufallsverkehr 1. Art

- Man spricht von einem abgeschnittenen Zufallsverkehr 1. Art, wenn die Ankunftsrate  $\lambda$  solange konstant bleibt, als noch mindestens 1 von insgesamt  $i_1$  Zubringerleitungen im betrachteten Koppelvielfach der 1. Stufe einer Koppelanordnung frei ist; anderenfalls soll kein Ruf mehr eintreffen. Es gilt also für die Ankunftsrate:

$$\begin{aligned} \lambda(x_1) &= \lambda \quad \text{für } x_1 = 0, 1, \dots, i_1 - 1 \\ \lambda(i_1) &= 0 \end{aligned} \quad (2.4)$$

Zufallsverkehr 2. Art

- Unter Zufallsverkehr 2. Art versteht man einen Verkehrsablauf mit dem Ankunfts- und Bedienungsprozeß gemäß Abschnitt B und C. Die Zahl  $q$  der Verkehrsquellen pro Koppelvielfach entspricht dabei der Zahl  $i_1$  der Zubringerleitungen zu einem Koppelvielfach der 1. Stufe einer Koppelanordnung.

Die hier kurz beschriebenen mathematischen Modelle zum Verkehrsablauf in Fernsprechvermittlungssystemen sind eine gute Näherung des tatsächlichen Geschehens. Zahlreiche Messungen an realen Systemen haben dies bestätigt.

II.2 Markierprinzipien

Man unterscheidet zwei Arten von Markierprinzipien, um in einem Linksystem einen ankommenden Ruf zu einer Leitung des gewünschten Abnehmerbündels durchzuschalten. Diese sind:

Punkt-Punkt-Markierung

- Die Punkt-Punkt-Markierung wird in zwei Schritten durchgeführt: Zunächst wird a priori e i n e freie Leitung des gewünschten Abnehmerbündels ausgewählt. Sodann wird in einem zweiten Schritt die Wegesuche zu dieser vorher bestimmten Abnehmerleitung gestartet.

Punkt-Bündel-Markierung

- Bei der Punkt-Bündel-Markierung werden a l l e freien Leitungen des gewünschten Abnehmerbündels in die Wegesuche mit einbezogen.

Beide Markierungsarten finden Anwendung sowohl in Linksystemen, die als Richtungswahlstufen eingesetzt werden, als auch in Teilnehmerwahlstufen. Hierbei ist anzumerken, daß in letzteren bei der Wahl eines Einzelanschlusses nur die Punkt-Punkt-Markierung in Frage kommt, da ja eine bestimmte Teilnehmeranschlußleitung gewünscht wird.

Die Punkt-Punkt-Markierung erfordert einen wesentlich geringeren Aufwand an Markier- und Steuerlogik als die Punkt-Bündel-Markierung, jedoch muß - gleiches Linksystem und gleiche Verkehrsbelastung vorausgesetzt - eine höhere Verlustwahrscheinlichkeit in Kauf genommen werden. In manchen Linksystemen werden daher - wo dies technisch möglich ist - mehrfache Markierversuche zugelassen, um die Verlustwahrscheinlichkeit zu senken. Näheres darüber findet sich in Abschnitt IV.

II.3 Verlustwahrscheinlichkeit

Nicht in jedem Fall kann ein eintreffender Ruf zu einer in Betracht kommenden Abnehmerleitung durchgeschaltet werden. Dann muß der Ruf abgewiesen werden, und er "geht verloren", falls nicht die Möglichkeit vorgesehen ist, daß der Ruf warten kann. Dieser letztere Fall soll hier nicht betrachtet werden.

Je nach Markierprinzip werden zwei Definitionen für die Verlustwahrscheinlichkeit B (oder kurz: Verlust) verwendet:

Punkt-Bündel-Verlust

- Ein Punkt-Bündel-Verlust tritt auf, wenn ein eintreffender Ruf zu *k e i n e r* Leitung des gewünschten Abnehmerbündels durchgeschaltet werden kann. Dabei ist es unerheblich, ob entweder *a l l e* Leitungen im gewünschten Abnehmerbündel schon belegt sind oder ob innerhalb der Koppelanordnung *k e i n* Weg zu einer freien Abnehmerleitung gefunden werden kann.

Punkt-Punkt-Verlust

- Beim Punkt-Punkt-Verlust gilt die Voraussetzung, daß mindestens noch *e i n e* Leitung im gewünschten Abnehmerbündel frei ist. Ein eintreffender Ruf gilt dann als verloren, wenn kein Weg innerhalb der Koppelanordnung zu der a priori markierten, freien Abnehmerleitung gefunden werden kann.

Bezeichnet man mit  $c_V$  die Anzahl der pro Zeiteinheit verloren gegangenen Rufe und mit  $c_A$  die Anzahl der pro Zeiteinheit angekommenen Rufe, so stellt sich die Verlustwahrscheinlichkeit als der Quotient der beiden Größen  $c_V$  und  $c_A$  dar:

$$B = c_V/c_A \quad (2.5)$$

II.4 Lösungsweg

II.4.1 Sperrwahrscheinlichkeit

Wenn ein Linkssystem mit Punkt-Punkt-Markierung betrieben wird, so muß die Steuerung einen Weg über *f r e i e* Zwischenleitungen zu demjenigen Koppelvielfach in der letzten Stufe finden, an welchem die bereits markierte, freie Leitung des gewünschten Abnehmerbündels angeschlossen ist; dieses Koppelvielfach wird Zielkoppelvielfach genannt. Die  $i_S$  Zwischenleitungen, die in dieses Zielkoppelvielfach führen, bilden das sogenannte Zielbündel. Das Koppelvielfach in der ersten Stufe, bei dem der Ruf eintrifft, bezeichnet man als das Startkoppelvielfach. Der Verbindungsgraph beinhaltet nun alle Zwischenleitungen, über die eine Verbindung vom Startkoppelvielfach zum Zielkoppelvielfach aufgebaut werden kann. Das untenstehende Bild 2-2 zeigt dies in einem Ausschnitt aus einem S-stufigen Linkssystem.

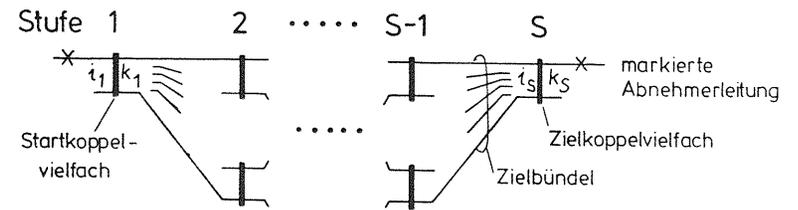


Bild 2-2: Ausschnitt aus einem S-stufigen Linksystem

Wie bereits erwähnt, muß für eine Durchschaltung ein Weg vom Startkoppelvielfach über freie Zwischenleitungen zum Zielkoppelvielfach gefunden werden. Dieser Sachverhalt läßt sich auch anders ausdrücken:

Um zum Zielkoppelvielfach zu gelangen, muß *m i n d e s t e n s* *e i n e* jener  $i_S$  Zwischenleitungen frei sein, die das Zielbündel bilden. Wenigstens diese eine Zwischenleitung muß vom Startkoppelvielfach her erreichbar sein.

Diese Betrachtungsweise ist im nächsten Bild 2-3 veranschaulicht.

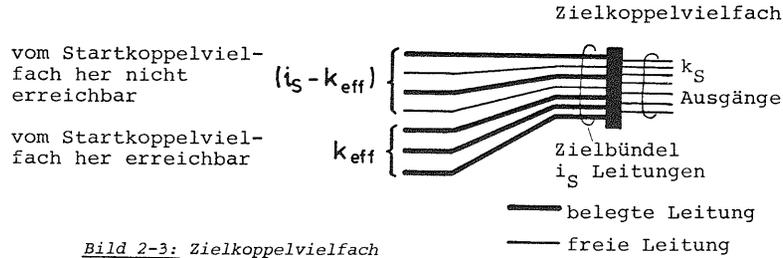


Bild 2-3: Zielkoppelvielfach

Im obigen Zielbündel, das aus  $i_S$  Leitungen besteht, herrsche der Zustand  $\{x_S\}$ , d. h.  $x_S$  Leitungen seien momentan belegt. Dann gibt es insgesamt  $\binom{i_S}{x_S}$  Möglichkeiten, wie sich die  $x_S$  Belegungen auf den  $i_S$  Leitungen verteilen können. Eine Durchschaltung ist dann nicht möglich, wenn mindestens jene  $k_{eff}$  Leitungen, die vom Startkoppelvielfach her erreichbar sind, gerade belegt sind. Die restlichen  $(x_S - k_{eff})$  Belegungen können sich dann auf den restlichen  $(i_S - k_{eff})$  Leitungen auf insgesamt  $\binom{i_S - k_{eff}}{x_S - k_{eff}}$  Arten verteilen.

Unter der Annahme, daß alle  $\binom{i_S}{x_S}$  Muster eines Zustandes  $\{x_S\}$  gleichwahrscheinlich sind, gilt für die Sperrwahrscheinlichkeit (oder Wahrscheinlichkeit für ein sperrendes Muster)

$$c(x_S, k_{eff}) = \frac{\binom{i_S - k_{eff}}{x_S - k_{eff}}}{\binom{i_S}{x_S}} = \frac{\binom{x_S}{k_{eff}}}{\binom{i_S}{k_{eff}}} \quad (2.6)$$

Die Gleichung 2.6 gilt auch dann in guter Näherung, wenn die  $\binom{i_S}{x_S}$  Zustandsmuster zwar nicht genau gleichwahrscheinlich auftreten, aber der Erwartungswert der Sperrwahrscheinlichkeit hinreichend genau den gleichen Zahlenwert wie die Gleichung 2.6 liefert.

#### II.4.2 Momentane Blockierung $E_{mom}(x_1)$

Unter der Blockierwahrscheinlichkeit  $E$  versteht man die Wahrscheinlichkeit, daß im betrachteten Linksystem vom Startkoppelvielfach zum Zielkoppelvielfach kein freier Weg verfügbar ist,

ohne Rücksicht darauf, mit welcher Anrufrate in diesem blockierten Zustand (Verlust-) Rufe eintreffen.

Nachfolgend wird nun berücksichtigt - im Vorgriff auf Kapitel III - daß die effektive Erreichbarkeit wesentlich vom Zustand  $\{x_1\}$ , d. h.  $x_1$  Leitungen im Startkoppelvielfach sind belegt, abhängt. Das unten stehende Bild 2-4 zeigt nochmals einen Ausschnitt aus einem S-stufigen Linksystem.

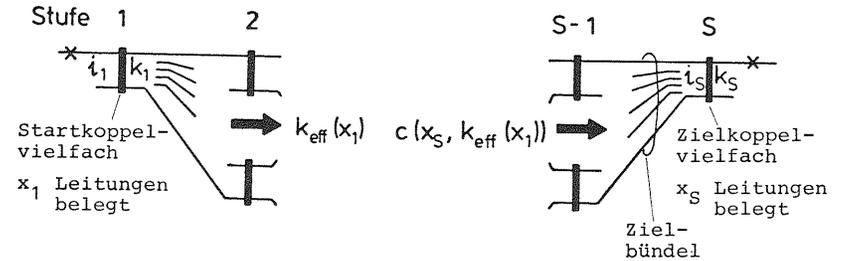


Bild 2-4: Ausschnitt aus einem S-stufigen Linksystem

Im Startkoppelvielfach seien momentan  $x_1$  von den  $k_1$  Leitungen belegt, demnach sind  $(k_1 - x_1)$  freie Ausgänge verfügbar. Somit ist die momentane effektive Erreichbarkeit offensichtlich eine Funktion von  $x_1$  und die Sperrwahrscheinlichkeit  $c(x_S, k_{eff}(x_1))$  eine Funktion von  $x_1$  und  $x_S$ .

Man erhält nun die momentane, von  $x_1$  abhängige Blockierwahrscheinlichkeit  $E_{mom}(x_1)$  bei Punkt-Punkt-Markierung, indem man über alle Sperrwahrscheinlichkeiten, gewichtet mit der Wahrscheinlichkeit  $p(x_S)$ , daß der Zustand  $\{x_S\}$  existiert, aufsummiert. Hierbei ist anzumerken, daß im Zustand  $\{k_S\}$  nicht markiert wird (vgl. Abschnitt II.2 und II.3). Dieser Zustand trägt sicher nichts zur Verlustwahrscheinlichkeit bei und bleibt daher bei der Summation unberücksichtigt. Die momentane Blockierwahrscheinlichkeit ergibt sich also zu

$$E_{mom}(x_1) = \frac{\sum_{x_S=0}^{k_S-1} p(x_S) \cdot c(x_S, k_{eff}(x_1))}{\sum_{x_S=0}^{k_S-1} p(x_S)} \quad (2.7)$$

Der Nenner in Gleichung 2.7 ist die Summe der Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten der Zustände  $\{0\}$  bis  $\{k_S-1\}$ , in denen markiert werden darf. Da die Summe der Wahrscheinlichkeiten 1 ist, kann der Nenner umgeformt werden zu  $(1 - p(k_S))$ , somit erhält man

$$E_{\text{mom}}(x_1) = \frac{1}{1-p(k_S)} \sum_{x_S=0}^{k_S-1} p(x_S) \cdot c(x_S, k_{\text{eff}}(x_1)) \quad (2.8)$$

Hinweis: Der Fall, daß im Zielkoppelvielfach  $k_S > i_S$  gilt, d. h. daß das Zielkoppelvielfach mehr Ausgänge als Eingänge hat, wird später in Abschnitt V behandelt.

Die Zustandswahrscheinlichkeiten  $p(x_S)$  im Zielkoppelvielfach sind davon abhängig, wie die Ausgänge zu Bündeln zusammengefaßt sind. Das PPL-Rechenverfahren unterscheidet zwei Arten der Beschaltung, wie es in Bild 2-5 dargestellt ist.

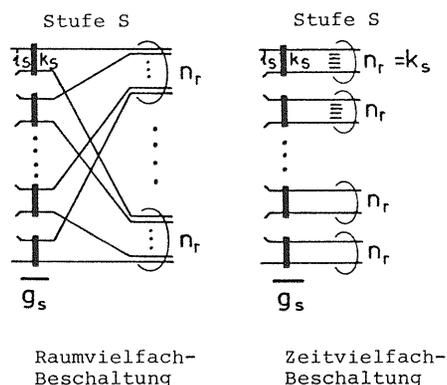


Bild 2-5: Beschaltungsarten

Raumvielfach-Beschaltung (SDM - Space Division Multiplex)

- Abhängig von der geforderten Bündelstärke werden einzelne Ausgangsleitungen von möglichst vielen verschiedenen Koppelvielfachen zusammengefaßt.

Zeitvielfach-Beschaltung (TDM - Time Division Multiplex)

- Alle Ausgänge eines Koppelvielfachs der letzten Stufe bilden ein Abnehmerbündel. Die Bezeichnung "Zeitvielfach" wurde deshalb gewählt, weil bei der Abbildung von Koppelanordnungen für Zeitmultiplexsysteme (PAM- oder PCM-Systeme) auf Raumvielfach-Koppelanordnungen eine solche Konfiguration entsteht /33/.

Man geht nun davon aus, daß sich im Abnehmerbündel eine Erlang-Verteilung der Zustände ausbildet. (Diese Annahme gilt streng genommen jedoch nur dann, wenn das Abnehmerbündel vollkommen erreichbar ist und wenn man Zufallsverkehr 1. Art zugrunde legt. Wenn dem betrachteten Linksystem Zufallsverkehr 2. Art aus  $i_1 \cdot g_1 = q \gg k_S$  angeboten wird, ist die Berechnung nach Gleichung 2.9 und 2.10 ebenfalls ausreichend genau.)

Im Fall der TDM-Beschaltung ergibt sich also für die Zustandswahrscheinlichkeiten im Zielkoppelvielfach (dessen Ausgänge das Abnehmerbündel bilden):

$$p(x_S) = \frac{A_0^{x_S} / x_S!}{\sum_{j=0}^{k_S-1} A_0^j / j!} \quad x_S = 0, 1, \dots, k_S \quad (2.9)$$

wobei  $A_0$  iterativ so bestimmt wird, daß sich auf dem Zielkoppelvielfach die vorgeschriebene und als bekannt angenommene Belastung  $Y_S$  ergibt:

$$Y_S = \sum_{x_S=1}^{k_S-1} x_S \cdot p(x_S) \quad (2.10)$$

Im Fall der SDM-Beschaltung wird als Verteilung für die Zustandswahrscheinlichkeiten im Zielkoppelvielfach eine Bernoulli-Verteilung gewählt. Die Berechtigung für diese Annahme liegt darin, daß an einem Zielkoppelvielfach Abnehmerleitungen für mehrere Bündel (mehrere Abgangsrichtungen) angeschlossen sind. Die Wahrscheinlichkeit, daß ein bestimmter Ausgang (von insgesamt  $k_S$  Ausgängen) belegt ist, kann daher als unabhängig vom Belegungszustand der anderen  $(k_S-1)$  Ausgänge angesehen werden, die alle oder in der überwiegenden Mehrzahl zu anderen abgehenden Bündeln gehören.

Es gilt also:

$$p(x_S) = \binom{k_S}{x_S} \cdot (y_S/k_S)^{x_S} \cdot (1 - y_S/k_S)^{k_S - x_S} \quad (2.11)$$

wobei  $y_S$  die Belastung auf dem Zielkoppelvielfach ist.

Je nach Beschaltungsart wird die entsprechende Wahrscheinlichkeit gemäß Gleichung 2.9 bzw. 2.11 in die Gleichung 2.8 für die momentane Blockierungswahrscheinlichkeit  $E_{\text{mom}}(x_1)$  eingesetzt.

Gemäß Gleichung 2.5 vom vorigen Abschnitt II.3 erhält man nun für die Verlustwahrscheinlichkeit bei Punkt-Punkt-Markierung

$$B_{PP} = \frac{\text{Zahl der verlorengegangenen Rufe pro Zeiteinheit } (c_V)}{\text{Zahl der eingetroffenen Rufe pro Zeiteinheit } (c_A)} \quad (2.12)$$

Um die Zahl  $c_A$  der eingetroffenen Rufe pro Zeiteinheit zu ermitteln, wird die Ankunftsrate  $\lambda(x_1)$  im Zustand  $\{x_1\}$  gewichtet mit der Wahrscheinlichkeit  $p(x_1)$  über alle möglichen Zustände  $\{x_1\}$  aufsummiert. Die Zahl  $c_V$  der Verlustrufe ergibt sich, indem man für jeden Zustand  $\{x_1\}$  die vorher bestimmte momentane Blockierungswahrscheinlichkeit  $E_{\text{mom}}(x_1)$  mit  $p(x_1) \cdot \lambda(x_1)$  multipliziert. Somit erhält man

$$B_{PP} = \frac{\sum_{x_1=0}^{i_1-1} p(x_1) \cdot \lambda(x_1) \cdot E_{\text{mom}}(x_1)}{\sum_{x_1=0}^{i_1-1} p(x_1) \cdot \lambda(x_1)} \quad (2.13)$$

#### II.4.3 Punkt-Punkt-Verlust bei abgeschnittenem Zufallsverkehr

##### 1. Art

Wie in Abschnitt II.1 angegeben wurde, ist die Ankunftsrate  $\lambda(x_1)$  solange konstant, als noch mindestens 1 Eingang im Startkoppelvielfach frei ist, andernfalls ist sie 0, also

$$\begin{aligned} \lambda(x_1) &= \lambda & \text{für } x_1 = 0, 1, \dots, i_1-1 \\ \lambda(i_1) &= 0 \end{aligned} \quad (2.14)$$

Setzt man nun dies in Gleichung 2.13 ein, so wird im Zähler und im Nenner das oberste Summationsglied 0, es braucht also nur bis jeweils  $i_1-1$  aufsummiert zu werden. Gleichzeitig kürzt sich  $\lambda$  heraus, es ergibt sich also

$$B_{PP}(ZV1) = \frac{\sum_{x_1=0}^{i_1-1} p(x_1) \cdot E_{\text{mom}}(x_1)}{\sum_{x_1=0}^{i_1-1} p(x_1)} \quad (2.15)$$

oder umgeformt

$$B_{PP}(ZV1) = \frac{1}{1 - p(i_1)} \sum_{x_1=0}^{i_1-1} p(x_1) \cdot E_{\text{mom}}(x_1) \quad (2.16)$$

Setzt man  $E_{\text{mom}}(x_1)$  entsprechend Gleichung 2.8 ein, erhält man

$$B_{PP}(ZV1) = \sum_{x_1=0}^{i_1-1} \frac{p(x_1)}{1 - p(i_1)} \sum_{x_S=0}^{k_S-1} \frac{p(x_S)}{1 - p(k_S)} \cdot c(x_S, k_{\text{eff}}(x_1)) \quad (2.17)$$

Bei abgeschnittenem Zufallsverkehr 1. Art gehorchen die Zustandswahrscheinlichkeiten  $p(x_1)$  auf den  $i_1$  Eingängen einer Erlang Verteilung:

$$p(x_1) = \frac{A_0^{x_1} / x_1!}{\sum_{j=0}^{i_1-1} A_0^j / j!} \quad x_1 = 0, 1, \dots, i_1-1 \quad (2.18)$$

wobei  $A_0$  wiederum iterativ so bestimmt wird, daß sich auf dem Startkoppelvielfach die vorgegebene Belastung  $y_1$  ergibt:

$$y_1 = \sum_{x_1=1}^{i_1-1} x_1 \cdot p(x_1) \quad (2.19)$$

**Hinweis:** Die obige Gleichung 2.18 gilt für den Fall der Expansion ( $i_1 < k_1$ ) in der 1. Stufe. Gesonderte Betrachtungen gelten für den Fall der Konzentration ( $i_1 > k_1$ ). Dazu siehe Abschnitt V.1.

II.4.4 Punkt-Punkt-Verlust bei Zufallsverkehr 2. Art

Bei Zufallsverkehr 2. Art ist die Ankunftsrate  $\lambda(x_1)$  abhängig vom Belegungszustand der Verkehrsquellen. Es sei  $\alpha$  die Ankunftsrate einer freien Verkehrsquelle, dann ergibt sich für die Ankunftsrate  $\lambda(x_1)$

$$\lambda(x_1) = \alpha \cdot (i_1 - x_1) \quad (2.20)$$

Hier ist die Anzahl der Verkehrsquellen gleich der Anzahl der Eingänge des Startkoppelvielfachs.

Setzt man nun wiederum Gleichung 2.20 in Gleichung 2.13 ein, so stellt sich der Punkt-Punkt-Verlust bei Zufallsverkehr 2. Art dar als

$$B_{PP}(ZV2) = \frac{\sum_{x_1=0}^{i_1-1} \alpha \cdot (i_1 - x_1) \cdot p(x_1) \cdot E_{mom}(x_1)}{\sum_{x_1=0}^{i_1-1} \alpha \cdot (i_1 - x_1) \cdot p(x_1)} \quad (2.21)$$

In dieser Gleichung kann zunächst mit  $\alpha$  gekürzt werden. Ferner kann dann die Summe im Nenner umgeformt werden zu  $(i_1 - y_1)$ , die Summation im Zähler kann um 1 erniedrigt werden, da das oberste Summationsglied verschwindet. Somit gilt:

$$B_{PP}(ZV2) = \sum_{x_1=0}^{i_1-1} \frac{i_1 - x_1}{i_1 - y_1} \cdot p(x_1) \cdot E_{mom}(x_1) \quad (2.22)$$

Setzt man  $E_{mom}(x_1)$  entsprechend Gleichung 2.8 ein, erhält man

$$B_{PP}(ZV2) = \sum_{x_1=0}^{i_1-1} \frac{i_1 - x_1}{i_1 - y_1} \cdot p(x_1) \cdot \sum_{x_S=0}^{k_S-1} \frac{p(x_S)}{1 - p(k_S)} \cdot c(x_S, k_{eff}(x_1)) \quad (2.23)$$

Bei Zufallsverkehr 2. Art gehorchen die Zustandswahrscheinlichkeiten  $p(x_1)$  auf den  $i_1$  ( $\leq k_1$ ) Eingängen einer Bernoulli Verteilung:

$$p(x_1) = \binom{i_1}{x_1} \cdot (y_1/i_1)^{x_1} \cdot (1-y_1/i_1)^{i_1-x_1} \quad (2.24)$$

wobei  $y_1$  die Verkehrsbelastung auf dem Startkoppelvielfach ist.

Der Fall der Konzentration in Stufe 1, d. h.  $i_1 > k_1$ , wird später in Abschnitt V.1 behandelt.

II.4.5 Gesamtverlust

Die Definition der Verlustwahrscheinlichkeit bei Punkt-Punkt-Markierung (vgl. Abschnitt II.3) schließt ausdrücklich den Verlust infolge des Zustands "alle Leitungen im gewünschten Abnehmerbündel schon belegt" aus. In der Praxis ist aber oft der Verlust ein-schließlich dieses Zustands von Interesse. Der Gesamtverlust  $B_{ges}$  eines Abnehmerbündels in Richtung  $r$  mit  $n_r$  Leitungen und der Belastung  $y_r$  setzt sich zusammen aus dem Punkt-Punkt-Verlust und dem Verlust infolge der Tatsache, daß alle  $n_r$  Leitungen im betrachteten Abnehmerbündel belegt sind.

Bei Zufallsverkehr 1. Art wird für den letzteren Verlust als Näherungswert Erlangs Verlustformel für vollkommen erreichbare Bündel verwendet. Diese Näherungsannahme wird durch die Ergebnisse aus umfangreichen Verkehrssimulationen gestützt.

Unter der weiteren Näherungsannahme, daß die beiden Teilverluste voneinander statistisch unabhängig sind, ergibt sich der Gesamtverlust  $B_{ges}$  zu:

$$B_{ges} = p(n_r) + (1 - p(n_r)) \cdot B_{PP} \quad (2.25)$$

Hierbei gilt:

$$p(x_r) = \frac{A_{o,r}^{x_r} / x_r!}{\sum_{j=0}^{n_r-1} A_{o,r}^j / j!} \quad x_r=0,1,\dots,n_r \quad (2.26)$$

wobei  $A_{o,r}$  iterativ so bestimmt wird, daß sich auf dem Abnehmerbündel die vorgeschriebene Belastung  $y_r$  ergibt:

$$y_r = \sum_{x_r=1}^{n_r} x_r \cdot p(x_r) \quad (2.27)$$

Bei Zufallsverkehr 2. Art wird als Näherungsformel Erlangs Bernoulli-Verlustformel verwendet. Die Berechtigung dieser Näherungsannahme wurde ebenfalls durch umfangreiche Verkehrssimulationen geprüft. Näheres zu Erlangs Bernoulli-Verlustformel findet sich im Zusammenhang mit der Behandlung der mehrfachen Punkt-Punkt-Markierung im Abschnitt IV.

An dieser Stelle sei ausdrücklich darauf hingewiesen, daß der Punkt-Punkt-Verlust  $B_{pp}$  (bei 1 Markierungsversuch) nur als Funktion der Gesamtbelastung des Linksystems berechnet wird, dagegen nicht in Abhängigkeit von jenem Belastungsanteil, der über das betrachtete Abnehmerbündel abfließt. Anders liegt der Fall bei mehrfacher Punkt-Punkt-Markierung, was im Abschnitt IV behandelt wird.

### III. EFFEKTIVE ERREICHBARKEIT

#### III.1 Allgemeines

Im vorhergehenden Abschnitt wurde der Lösungsweg des Rechenverfahrens PPL (vom Englischen: point-to-point loss - Punkt-Punkt-Verlust) beschrieben, dessen Kernpunkt die "effektive Erreichbarkeit" des betrachteten Zielbündels vom Startkoppelvielfach her bildet. Im folgenden soll nun der Begriff "effektive Erreichbarkeit" noch etwas genauer erläutert werden.

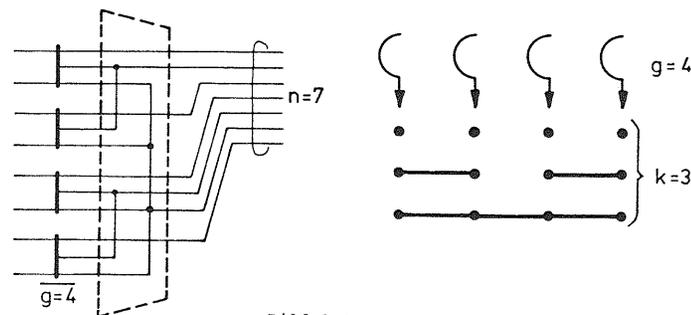


Bild 3-1: Kleine einstufige Koppelanordnung

Bild 3-1 zeigt als Beispiel eine sehr kleine, einstufige Koppelanordnung mit  $g=4$  Koppelvielfachen. Das Abnehmerbündel besteht aus  $n=7$  Leitungen, von denen aber nur jeweils  $k=3$  Leitungen (also nicht alle 7) von einem Koppelvielfach aus erreichbar sind; weitere Leitungen sind nur von anderen Koppelvielfachen her zugänglich. Rechts im Bild 3-1 ist dieser Sachverhalt noch einmal in einer anderen Darstellungsweise gezeigt.

Man nennt nun diese Art von Zusammenschaltung der Ausgänge der Koppelvielfache zu einem Abnehmerbündel eine Mischung mit  $n=7$  Leitungen und der Erreichbarkeit  $k=3$ .

Nur für relativ kleine einstufige Koppelanordnungen mit begrenzter Erreichbarkeit (mit Mischung) kann die Verlustwahrscheinlichkeit mit einigermaßen erträglichem Aufwand exakt bestimmt werden ( $2^n$  Belegungsmuster, dies entspricht  $2^n$  Unbekannten in einem linearen

Gleichungssystem). Nur in Sonderfällen wie z. B. der "idealen Erlang Mischung" vereinfacht sich der Rechenaufwand erheblich / 7/, weil Symmetrieeigenschaften der Mischung ausgenutzt werden können.

Eine Näherungsformel (Modifizierte Palm-Jacobaeus-Formel) nebst Tabellen zur Bestimmung der Verlustwahrscheinlichkeit einstufiger Koppelanordnungen mit Mischungen wurde 1961 veröffentlicht /27/,/30/. Hierbei wurden die beiden folgenden Näherungsannahmen getroffen:

- A) Trotz des nicht vollkommen erreichbaren Abnehmerbündels wird eine Verteilung wie bei einem vollkommen erreichbaren Abnehmerbündel mit gleicher Verkehrsbelastung Y zugrundegelegt.
- B) Der Erwartungswert für die Sperrwahrscheinlichkeit  $E(c(x,k))$  wird zu  $\frac{\binom{n-k}{x-k} \binom{n}{x}}{\binom{n}{x}} = \frac{\binom{x}{k} \binom{n}{k}}{\binom{n}{k}}$  angenommen, was z. B. einer Gleichwahrscheinlichkeit aller  $\binom{n}{x}$  möglichen Muster eines Zustands  $\{x\}$  entsprechen könnte.

Das Rechenverfahren PPL bildet nun eine mehrstufige Koppelanordnung auf eine einstufige Koppelanordnung ab, wobei das Zielbündel mit der effektiven Erreichbarkeit  $k_{eff}$  abgesucht wird. Dies bedeutet, daß die effektive Erreichbarkeit  $k_{eff}$  des Zielbündels in einer mehrstufigen Koppelanordnung identisch ist mit der Erreichbarkeit  $k$ , die eine einstufige Vergleichsanordnung haben müßte, um bei gleicher Zahl von Abnehmerleitungen und bei gleicher Verkehrsbelastung denselben Verlust aufzuweisen, wenn obiges Näherungsverfahren zugrunde gelegt wird. Aus zahlreichen Arbeiten /11/,/27/,/28/ ist bekannt, daß der Verlust hochwertiger, sog. perfekter Mischungen sehr genau mit der modifizierten Palm-Jacobaeus-Formel berechnet werden kann. Ferner ist bekannt / 3/,/ 4/, daß die effektive Erreichbarkeit in Linksystemen, wie sie z. B. hier in Abschnitt III behandelt wird, jener von "perfekten" Mischungen sehr gut entspricht.

Streng genommen, müßte die effektive Erreichbarkeit die momentanen Zustände aller Zwischenleitungen über alle Stufen hinweg vom Startkoppelvielfach bis zum Zielbündel berücksichtigen. Aber um den Rechenaufwand in erträglichen Grenzen zu halten, werden die Zustandswahrscheinlichkeiten nur im Startkoppelvielfach und im Zielbündel betrachtet. Bei den Koppelvielfachen der dazwischenliegenden Stufen geht nur der Mittelwert der Belastung in die Rechnung ein.

Bei einer einstufigen Koppelanordnung mit Mischung zählen zur Erreichbarkeit des betrachteten Bündels über eine Zubringerteilgruppe nicht nur diejenigen Abnehmerleitungen, die momentan gerade frei sind, sondern auch jene, welche zwar erreichbar (zugänglich), aber von der eigenen oder von anderen Zubringerteilgruppen her belegt sind.

Übertragen auf mehrstufige Koppelanordnungen, muß die Erreichbarkeit also alle Leitungen des Zielbündels umfassen, die

- momentan f r e i sind und vom betrachteten Startkoppelvielfach her über freie Zwischenleitungen erreicht werden können, sowie jene, welche
- augenblicklich b e l e g t sind, aber nach Ende der Belegung sofort vom betrachteten Startkoppelvielfach her über freie Zwischenleitungen erreichbar sind.

Die effektive Erreichbarkeit setzt sich also aus verschiedenen Teilbeiträgen zusammen, die nachfolgend als "Terme" bezeichnet werden.

Hinweis: In diesem Abschnitt und in den Abschnitten IV, VI und VII werden nur Linksysteme betrachtet, deren Koppelvielfache außer in der ersten Stufe sonst keine Expansion und außer in der letzten Stufe auch keine Konzentration aufweisen. Die Koppelvielfache in den dazwischenliegenden Stufen haben die gleiche Zahl von Ein- und Ausgängen. Linksysteme, bei denen dies nicht zutrifft, werden in Abschnitt V behandelt.

III.2 Effektive Erreichbarkeit für 3-stufige Linksysteme mit einfacher Zwischenleitungsführung (single linkage)

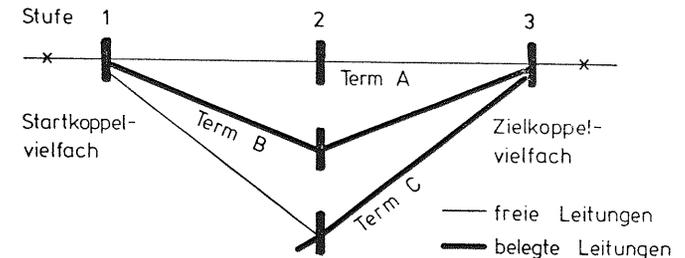


Bild 3-2: Effektive Erreichbarkeit für dreistufige Linksysteme

Anhand des Verbindungsgraphen in Bild 3-2 läßt sich die Bedeutung der einzelnen Terme der effektiven Erreichbarkeit erläutern.

$$\text{Term A} = (k_1 - x_1) \cdot (1 - y_2/k_2) \quad (3.1)$$

Term A gibt an, wieviele freie Eingänge des Zielkoppelvielfachs im Mittel vom Startkoppelvielfach aus über freie Zwischenleitungen erreicht werden können, wenn  $x_1$  Ausgänge des Startkoppelvielfachs momentan belegt sind. Die Zahl der freien Zwischenleitungen von Stufe 1 nach Stufe 2 ist dann  $(k_1 - x_1)$ . Da bei dem betrachteten Linksystem mit einfacher Zwischenleitungsführung (single linkage) genau 1 Zwischenleitung von einem Koppelvielfach der Stufe 1 zu einem Koppelvielfach der Stufe 2 führt, ist  $(k_1 - x_1)$  auch die Zahl der Koppelvielfache in Stufe 2, die bei dem vorgegebenen Belegungszustand vom Startkoppelvielfach aus über freie Zwischenleitungen erreicht werden können. Im Mittel ist ein Koppelvielfach der Stufe 2 mit dem Verkehr  $y_2$  belastet, deshalb wird mit der Wahrscheinlichkeit  $(1 - y_2/k_2)$  eine Ausgangsleitung dieses Koppelvielfachs frei angetroffen. Da in dem hier betrachteten Linksystem wieder genau 1 Zwischenleitung von Stufe 2 ins Zielkoppelvielfach führt (single linkage), gibt  $(1 - y_2/k_2)$  auch die Wahrscheinlichkeit an, mit der von einem Koppelvielfach in Stufe 2 das Zielkoppelvielfach erreicht werden kann. Weil für die Durchschaltung über einen freien Pfad sowohl ein Koppelvielfach in Stufe 2 erreicht als auch von dort eine freie Zwischenleitung zum Zielkoppelvielfach gefunden werden muß, ergibt sich Term A aus dem Produkt von  $(k_1 - x_1)$  und  $(1 - y_2/k_2)$ .

$$\text{Term B} = x_1/g_3 \quad (3.2)$$

Momentan seien  $x_1$  Ausgänge des Startkoppelvielfachs belegt. Unter der Annahme, daß sich der Verkehr gleichmäßig auf alle  $g_3$  Koppelvielfache in Stufe 3 aufteilt, umfaßt Term B die Zahl der Verbindungen, die im Mittel zwischen Start- und Zielkoppelvielfach bestehen. Nach der Freischaltung können die davon betroffenen Wege sofort wieder für eine Verbindung derselben Art verwendet werden.

$$\text{Term C} = (k_1 - x_1) \cdot y_2/g_3 \quad (3.3)$$

Im Mittel sind  $y_2$  Ausgänge eines Koppelvielfachs in Stufe 2 belegt. Davon sind - unter der Voraussetzung der gleichmäßigen Aufteilung des Verkehrs -  $y_2/g_3$  Ausgänge Teile von Verbindungen, die zum betrachteten Zielkoppelvielfach durchgeschaltet sind. Diese Verbindungen gehen aber von anderen Koppelvielfachen der Stufe 1 aus, also nicht vom Startkoppelvielfach aus. Term C steht also für die Zahl der Ausgänge der Koppelvielfache in Stufe 2, die im Mittel belegt sind und über die eine Verbindung zum Zielkoppelvielfach besteht und die vom Startkoppelvielfach aus über freie Zwischenleitungen erreichbar sind. Sobald einer der Ausgänge freigeschaltet wird, kann darüber eine neue Verbindung zwischen Start- und Zielkoppelvielfach geschaltet werden.

Die effektive Erreichbarkeit ergibt sich nun als die Summe der 3 Terme

$$k_{\text{eff}}(x_1) = \text{Term A} + \text{Term B} + \text{Term C} \quad (3.4)$$

III.3 Effektive Erreichbarkeit für 4-stufige Linksysteme mit einfacher Zwischenleitungsführung (single linkage)

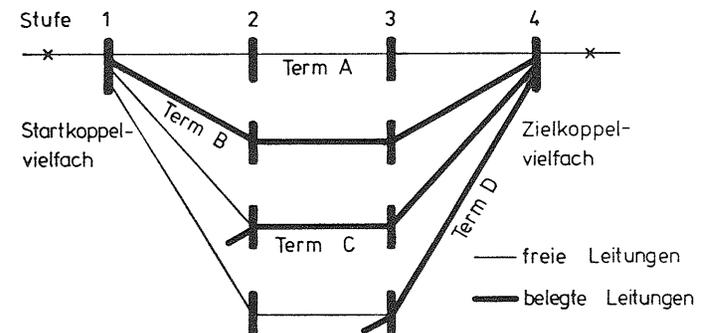


Bild 3-3: Effektive Erreichbarkeit für 4-stufige Linksysteme

$$\text{Term A} = (k_1 - x_1) \cdot (1 - y_2/k_2) \cdot (1 - y_3/k_3) \quad (3.5)$$

Term A gibt an, wieviele freie Eingänge des Zielkoppelvielfachs im Mittel vom Startkoppelvielfach aus über freie Zwischenleitungen erreicht werden können, wenn  $x_1$  Ausgänge des Startkoppelvielfachs momentan belegt sind (vgl. dazu Gleichung 3.1 bei 3-stufigen Systemen).

$$\text{Term B} = x_1/g_4 \quad (3.6)$$

Term B umfaßt den Bruchteil der  $x_1$  belegten Ausgänge des Startkoppelvielfachs, über die im Mittel eine Verbindung zum Zielkoppelvielfach durchgeschaltet ist (vgl. dazu Gleichung 3.2 bei 3-stufigen Systemen).

$$\text{Term C} = (k_1 - x_1) \cdot y_2/g_4 \quad (3.7)$$

Term C steht für die Anzahl belegter Ausgänge von Koppelvielfachen in Stufe 2, die im Mittel über freie Ausgänge des Startkoppelvielfachs erreicht werden können und über die eine Verbindung zum Zielkoppelvielfach durchgeschaltet ist.

$$\text{Term D} = (k_1 - x_1) \cdot (1 - y_2/k_2) \cdot y_3/k_3 \quad (3.8)$$

Term D repräsentiert jenen Bruchteil belegter Ausgänge von Koppelvielfachen in Stufe 3, die im Mittel vom Startkoppelvielfach aus über freie Zwischenleitungen erreicht werden können und über die eine Verbindung zum Zielkoppelvielfach durchgeschaltet ist.

Bei der Anwendung des Terms D in der eben beschriebenen Form stellte sich jedoch heraus, daß der Punkt-Punkt-Verlust bei Links-systemen, bei denen die Zahl der Ausgänge eines Koppelvielfaches in

Stufe 1 größer ist als die Zahl der Eingänge - also bei sogenannten weiten Systemen mit  $k_1 > i_1$  - unterschätzt wurde. Diese Unterschätzung wurde besonders bei niederen Belastungswerten beobachtet. Die Ursache für diese Unterschätzung ist darin zu sehen, daß bei den Termen für die effektive Erreichbarkeit nur Mittelwerte der Belastungen in den einzelnen Stufen berücksichtigt werden, nicht jedoch deren Verteilung, abgesehen von der ersten Stufe. Dadurch ergaben sich zu optimistische Werte für die effektive Erreichbarkeit.

Um nun genauere Ergebnisse zu erzielen, wurde der Term D in 2 Teilterme  $D_1$  und  $D_2'$  aufgespalten. Der Term  $D_2'$  wurde mit einem heuristischen Faktor  $y_3/k_3$  multipliziert, der den Beitrag von  $D_2'$  zur effektiven Erreichbarkeit um so mehr verringert, je kleiner die Belastung ist. Somit ergibt sich:

$$\text{Term } D_1 = (i_1 - x_1) \cdot (1 - y_2/k_2) \cdot y_3/k_3 \quad (3.9)$$

$$\text{Term } D_2 = (k_1 - i_1) \cdot (1 - y_2/k_2) \cdot (y_3/k_3) \cdot y_3/k_3 \quad (3.10)$$

Man sieht, bei sogenannten "engen" Systemen, für die  $i_1 = k_1$  gilt, verschwindet der Term  $D_2$  ganz, und Term  $D_1$  entspricht Term D in Gleichung 3.8. Bei "weiten" Systemen ( $k_1 > i_1$ ) wird der Beitrag von Term  $D_2$  zur effektiven Erreichbarkeit relativ um so kleiner, je kleiner die Belastung  $y_3/k_3$  ist.

Die Summe der "Belegt"terme ( $B, C, D_1$  und  $D_2$ ) darf den Wert  $y_4$  nicht überschreiten (Belastung des Zielkoppelvielfachs), da höchstens alle  $y_4$  belegten Eingänge des Zielkoppelvielfachs zur effektiven Erreichbarkeit beitragen (vgl. Definition im Abschnitt III.1).

$$\text{Term B} + \text{Term C} + \text{Term } D_1 + \text{Term } D_2 \leq y_4 \quad (3.11a)$$

Die Summe aller 5 Terme ergibt nun die effektive Erreichbarkeit:

$$k_{\text{eff}}(x_1) = \text{Term A} + \text{Term B} + \text{Term C} + \text{Term } D_1 + \text{Term } D_2 \quad (3.11b)$$

III.4 Effektive Erreichbarkeit für 5-stufige Linkssysteme mit einfacher Zwischenleitungsführung (single linkage)

Die in diesem Abschnitt aufgeführten Terme für die effektive Erreichbarkeit gelten für eine Verdrahtung der Zwischenleitungen zwischen Stufe 3 und 4 gemäß dem Modus "interleaved bzw. ausgekreuzt" (vgl. dazu Bild 5a im Abschnitt "Strukturen"). Spiegelsymmetrische Verdrahtung ist in Abschnitt VII behandelt.

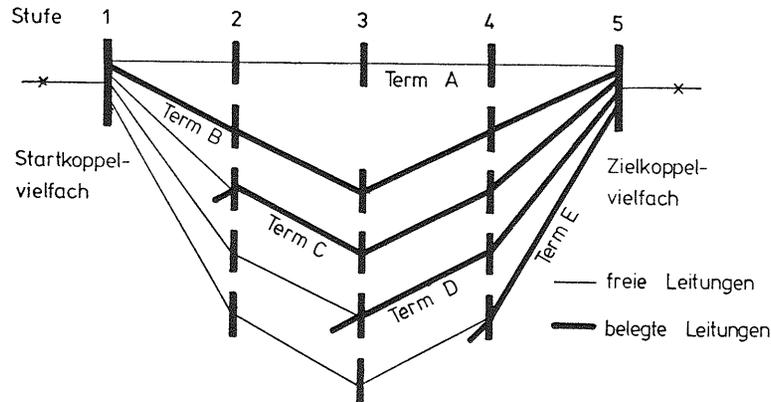


Bild 3-4: Effektive Erreichbarkeit für fünfstufige Linkssysteme

Die Vorgehensweise zur Bildung der Terme ist genauso wie bei 3- und 4-stufigen Systemen. Die effektive Erreichbarkeit setzt sich zusammen aus dem Term A, der die Anzahl der freien Eingänge des Zielkoppelvielfachs beschreibt, die über durchweg freie Zwischenleitungen erreicht werden, sowie aus den "Belegt"termen, die diejenigen belegten Eingänge des Zielkoppelvielfachs angeben, welche sofort nach Freiwerden vom Startkoppelvielfach aus wieder belegbar sind. Nachfolgend sind die einzelnen Terme aufgelistet:

$$\text{Term A} = (k_1 - x_1) \cdot (k_2 - y_2) \cdot (1 - y_3/k_3) \cdot (1 - y_4/k_4) \quad (3.12)$$

Bei Term A ist anzumerken, daß das Produkt  $(k_1 - x_1) \cdot (k_2 - y_2) \cdot (1 - y_3/k_3)$  nicht größer sein darf als  $g_{l4} \cdot g_{l4}$  ist die Anzahl von Koppelviel-

fachen in Stufe 4, von denen aus das Zielkoppelvielfach erreichbar ist.

$$\text{Term B} = x_1/g_5 \quad (3.13)$$

$$\text{Term C} = (k_1 - x_1) \cdot y_2/g_5 \quad (3.14)$$

$$\text{Term D} = (k_1 - x_1) \cdot (k_2 - y_2) \cdot y_3/g_5 \quad (3.15)$$

$$\begin{aligned} \text{Term E}_1 &= (i_1 - x_1) \cdot (k_2 - y_2) \cdot (1 - y_3/k_3) \cdot y_4/k_4 \\ &= P_1 \cdot y_4/k_4 \end{aligned} \quad (3.16)$$

$$\begin{aligned} \text{Term E}_2 &= (k_1 - i_1) \cdot (k_2 - y_2) \cdot (1 - y_3/k_3) \cdot (y_4/k_4) \cdot y_4/k_4 \\ &= P_2 \cdot (y_4/k_4) \cdot y_4/k_4 \end{aligned} \quad (3.17)$$

Ebenso wie bei 4-stufigen Systemen, spaltet man auch hier bei 5-stufigen Systemen aus demselben Grunde den letzten Term in 2 Teile auf, von denen der 2. Teil mit dem heuristischen Faktor  $y_4/k_4$  multipliziert wird.

Analog zu Term A, muß auch hier bei den beiden Termen  $E_1$  und  $E_2$  eine Begrenzung auf  $g_{l4}$  durchgeführt werden. Wegen der Aufspaltung in  $E_1$  und in  $E_2$  gilt:

$$P_1 < g_{l4} \cdot i_1/k_1 \quad \text{sowie} \quad P_2 < g_{l4} \cdot (1 - i_1/k_1) \quad (3.18)$$

Hinweis: Für 3- und 4-stufige Systeme mit einfacher Zwischenleitungsführung (single linkage) braucht man keine Begrenzung zu beachten, da dort die Bedingung  $\leq g_{l2}$  bzw.  $\leq g_{l3}$  strukturbedingt stets erfüllt ist.

Weiterhin darf die Summe der Terme B bis  $E_2$  ("Belegt"terme) die Größe  $y_5$  (Belastung des Zielkoppelvielfachs) nicht überschreiten, da höchstens alle  $y_5$  belegten Eingänge des Zielkoppelvielfachs zur effektiven Erreichbarkeit beitragen, also muß gelten:

$$\text{Term B} + \text{Term C} + \text{Term D} + \text{Term E}_1 + \text{Term E}_2 < y_5 \quad (3.19)$$

Die Summe aller Terme ergibt dann die effektive Erreichbarkeit

$$k_{\text{eff}}(x_1) = \text{Term A} + \text{Term B} + \text{Term C} + \text{Term D} + \text{Term E}_1 + \text{Term E}_2 \quad (3.20)$$

III.5 Effektive Erreichbarkeit für 6-stufige Linkssysteme mit einfacher Zwischenleitungsführung (single linkage)

Die in diesem Abschnitt ausgeführten Terme für die effektive Erreichbarkeit gelten für eine Verdrahtung der Zwischenleitungen zwischen Stufe 4 und 5 gemäß dem Modus "interleaved bzw. ausgekreuzt" (vgl. dazu Bild 8a im Abschnitt "Strukturen"). Spiegelsymmetrische Verdrahtung ist im Abschnitt VII behandelt.

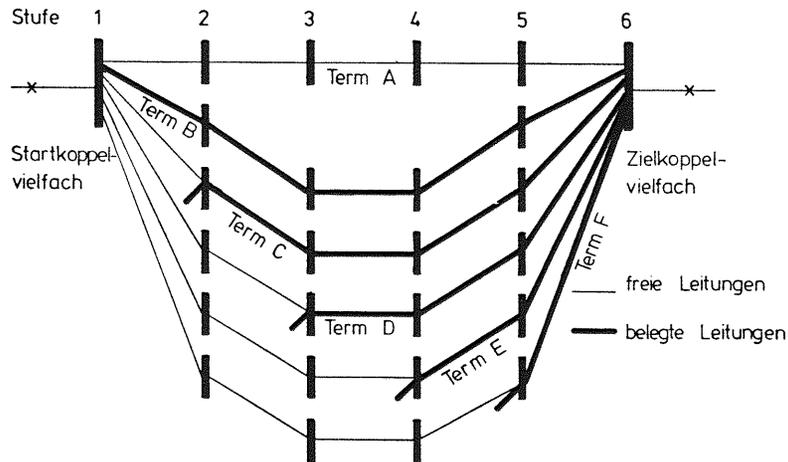


Bild 3-5: Effektive Erreichbarkeit für sechsstufige Linkssysteme

Für die einzelnen Terme gelten analoge Betrachtungen wie bei Systemen kleinerer Stufenzahl.

$$\text{Term A} = (k_1 - x_1) \cdot (k_2 - y_2) \cdot (1 - y_3/k_3) \cdot (1 - y_4/k_4) \cdot (1 - y_5/k_5) \quad (3.21)$$

Das Produkt  $(k_1 - x_1) \cdot (k_2 - y_2) \cdot (1 - y_3/k_3) \cdot (1 - y_4/k_4)$  darf nicht größer werden als die Zahl  $g_{\ell 5}$ , welche angibt, wieviele Koppelvielfache in Stufe 5 Zwischenleitungen ins Zielkoppelvielfach haben.

$$\text{Term B} = x_1/g_6 \quad (3.22)$$

$$\text{Term C} = (k_1 - x_1) \cdot y_2/g_6 \quad (3.23)$$

$$\text{Term D} = (k_1 - x_1) \cdot (k_2 - y_2) \cdot y_3/g_6 \quad (3.24)$$

$$\text{Term E} = (k_1 - x_1) \cdot (k_2 - y_2) \cdot (1 - y_3/k_3) \cdot y_4/g_{b6} \quad (3.25)$$

$$\begin{aligned} \text{Term F}_1 &= (i_1 - x_1) \cdot (k_2 - y_2) \cdot (1 - y_3/k_3) \cdot (1 - y_4/k_4) \cdot y_5/k_5 \\ &= P_1 \cdot y_5/k_5 \end{aligned} \quad (3.26)$$

$$\begin{aligned} \text{Term F}_2 &= (k_1 - i_1) \cdot (k_2 - y_2) \cdot (1 - y_3/k_3) \cdot (1 - y_4/k_4) \cdot (y_5/k_5) \cdot y_5/k_5 \\ &= P_2 \cdot (y_5/k_5) \cdot y_5/k_5 \end{aligned} \quad (3.27)$$

Für die Begrenzungen der Produkte  $P_1$  und  $P_2$  gilt in Analogie zu 5-stufigen Systemen:

$$P_1 \leq g_{\ell 5} \cdot i_1/k_1 \quad \text{sowie} \quad P_2 \leq g_{\ell 5} \cdot (1 - i_1/k_1) \quad (3.28)$$

Weiterhin gilt:

$$\begin{aligned} &\text{Term B} + \text{Term C} + \text{Term D} + \text{Term E} \\ &\text{Term F}_1 + \text{Term F}_2 \leq Y_6 \end{aligned} \quad (3.29)$$

Die Summe aller Terme bildet die effektive Erreichbarkeit

$$k_{\text{eff}}(x_1) = \text{Term A} + \text{Term B} + \text{Term C} + \text{Term D} + \text{Term E} + \text{Term F}_1 + \text{Term F}_2 \quad (3.30)$$

III.6 Effektive Erreichbarkeit für 4-stufige Linkssysteme mit mehrfacher Zwischenleitungsführung

III.6.1 Mehrfache Zwischenleitungsführung (multilinkage) zwischen den Stufen 2 und 3

Mehrfache Zwischenleitungsführung zwischen Stufe 2 und 3 liegt dann vor, wenn die Zahl der Linkblöcke in Stufe 3 und 4 kleiner ist als die Zahl der Ausgänge eines Koppelvielfachs in Stufe 2. Es führen dann  $l_{2,3}$  Zwischenleitungen (anstatt 1) pro Koppelvielfach in Stufe 2 zu einem Linkblock in den Stufen 3 und 4. Diese  $l_{2,3}$  Zwischenleitungen können entweder in ein einziges Koppelvielfach in Stufe 3 führen (parallele Verdrahtung) oder in so viele Koppelvielfache wie möglich (vermaschte Verdrahtung). Dies ist im Bild 3-6 dargestellt.

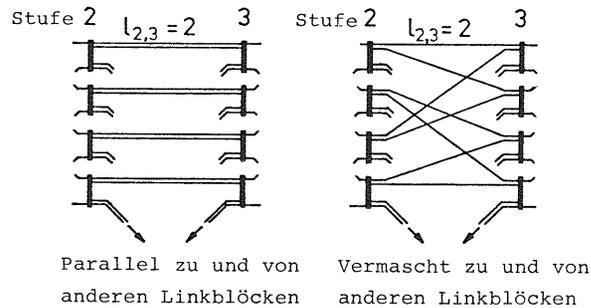


Bild 3-6: Verdrahtungsmöglichkeiten bei mehrfacher Zwischenleitungsführung

Parallele Verdrahtung

Die nächsten 5 Gleichungen beschreiben die effektive Erreichbarkeit für den Fall der parallelen Verdrahtung:

$$\text{Term A} = (k_1 - x_1) \cdot \{1 - (y_2/k_2)^{l_{2,3}}\} \cdot (1 - y_3/k_3) \quad (3.31)$$

$$\text{Term B} = x_1/g_4 \quad (3.32)$$

$$\text{Term C} = (k_1 - x_1) \cdot y_2/g_4 \quad (3.33)$$

$$\text{Term D}_1 = (i_1 - x_1) \cdot \{1 - (y_2/k_2)^{l_{2,3}}\} \cdot y_3/k_3 \quad (3.34)$$

$$\text{Term D}_2 = (k_1 - i_1) \cdot \{1 - (y_2/k_2)^{l_{2,3}}\} \cdot (y_3/k_3) \cdot y_3/k_3 \quad (3.35)$$

Vergleicht man die Gleichungen 3.31 bis 3.35 mit den entsprechenden aus Abschnitt III.3 für 4-stufige Systeme mit einfacher Zwischenleitungsführung (Gleichungen 3.5 bis 3.10), so stellt man fest, daß die Terme B und C unverändert sind. Lediglich der mittlere Faktor  $(1 - y_2/k_2)$  ist ersetzt worden durch den Ausdruck  $(1 - (y_2/k_2)^{l_{2,3}})$  in den Termen A,  $D_1$  und  $D_2$ . Er kann interpretiert werden als die Wahrscheinlichkeit, daß nicht alle Zwischenleitungen, die von einem Koppelvielfach der Stufe 2 ausgehen, belegt sind, oder anders ausgedrückt, mindestens noch 1 von insgesamt  $l_{2,3}$  Zwischenleitungen ist frei.

Die Summe der "Belegt"terme muß kleiner sein als die Belastung  $y_4$  des Zielkoppelvielfachs, also gilt:

$$\text{Term B} + \text{Term C} + \text{Term D}_1 + \text{Term D}_2 \leq y_4 \quad (3.36a)$$

Die Summe aller Terme wiederum ergibt die effektive Erreichbarkeit:

$$k_{\text{eff}}(x_1) = \text{Term A} + \text{Term B} + \text{Term C} + \text{Term D}_1 + \text{Term D}_2 \quad (3.36b)$$

Für den Fall  $l_{2,3} = 1$  (einfache Zwischenleitungsführung) gehen die Gleichungen 3.31 bis 3.35 über in die in Abschnitt III.4 angeführten Gleichungen 3.5 bis 3.10.

Vermaschte Verdrahtung (vgl. dazu Bild 3-6)

Unter der optimistischen Annahme, daß die Vermaschung zwischen Stufe 2 und 3 die effektive Erreichbarkeit so weit wie möglich vergrößert, ergeben sich nachstehende Terme A, D<sub>1</sub>, und D<sub>2</sub>; die Terme B und C hingegen bleiben unverändert:

$$\text{Term A} = (k_1 - x_1) \cdot \ell_{2,3} \cdot (1 - y_2/k_2) \cdot (1 - y_3/k_3) \quad (3.37)$$

Das Produkt  $(k_1 - x_1) \cdot \ell_{2,3} \cdot (1 - y_2/k_2)$  muß auf die Zahl  $g_{\ell 3}$  begrenzt werden.  $g_{\ell 3}$  ist die Anzahl von Koppelvielfachen in Stufe 3, von denen aus das Zielkoppelvielfach im Leerlauf erreichbar ist.

$$\begin{aligned} \text{Term D}_1 &= (i_1 - x_1) \cdot \ell_{2,3} \cdot (1 - y_2/k_2) \cdot y_3/k_3 \\ &= P_1 \cdot y_3/k_3 \end{aligned} \quad (3.38)$$

$$\begin{aligned} \text{Term D}_2 &= (k_1 - i_1) \cdot \ell_{2,3} \cdot (1 - y_2/k_2) \cdot (y_3/k_3) \cdot y_3/k_3 \\ &= P_2 \cdot (y_3/k_3) \cdot y_3/k_3 \end{aligned} \quad (3.39)$$

Die Summe von P<sub>1</sub> und P<sub>2</sub> darf wiederum den Wert  $g_{\ell 3}$  nicht überschreiten, deshalb gilt:

$$P_1 < g_{\ell 3} \cdot i_1/k_1 \quad \text{sowie} \quad P_2 < g_{\ell 3} \cdot (1 - i_1/k_1) \quad (3.40)$$

Es gilt auch die Einschränkung, daß die Summe der "Belegt"terme kleiner als die Belastung  $y_4$  des Zielkoppelvielfachs sein muß, also:

$$\text{Term B} + \text{Term C} + \text{Term D}_1 + \text{Term D}_2 < y_4 \quad (3.41)$$

Die Summe aller Terme bildet die effektive Erreichbarkeit

$$k_{\text{eff}}(x_1) = \text{Term A} + \text{Term B} + \text{Term C} + \text{Term D}_1 + \text{Term D}_2 \quad (3.42)$$

Durch zahlreiche Simulationen hat sich herausgestellt, daß die Verlustberechnung unter Verwendung der eben angeführten effektiven Erreichbarkeit zu niedere Werte liefert. Die Gleichungen 3.37 bis 3.42 legen die Tatsache zugrunde, daß stets die größtmögliche Anzahl von Koppelvielfachen in der Stufe 3 erreicht wird. In Wirklichkeit werden jedoch manche Koppelvielfache in Stufe 3 infolge der vermaschten Verdrahtung mehrfach erreicht, während andere überhaupt nicht erreicht werden. Deshalb wird folgende Berechnungsmethode vorgeschlagen:

Der Punkt-Punkt-Verlust wird zweimal berechnet, und zwar einmal mit der effektiven Erreichbarkeit gemäß den Gleichungen 3.31 bis 3.36, und dann noch einmal mit der effektiven Erreichbarkeit gemäß den Gleichungen 3.37 bis 3.42. Den endgültige Punkt-Punkt-Verlust erhält man dann mit folgender Gewichtung:

$$\begin{aligned} B_{\text{pp}}(\text{vermascht}) &= 1/3 B_{\text{pp}} \text{ gemäß Gleichungen 3.31 bis 3.36} \\ &+ 2/3 B_{\text{pp}} \text{ gemäß Gleichungen 3.37 bis 3.42} \end{aligned} \quad (3.43)$$

Diese Näherung ist durch umfangreiche Verkehrssimulationen an zahlreichen Linkssystemen bestätigt worden.

An dieser Stelle ist noch anzumerken, daß für den Fall einfacher Zwischenleitungsführung (single linkage) sich die Gleichungen für die effektive Erreichbarkeit auf die ursprüngliche Form in 3.5 bis 3.11 zurückführen lassen.

III.6.2 Mehrfache Zwischenleitungsführung (multilinkage)  
zwischen allen Stufen

Parallele oder vermaschte Verdrahtung zwischen Stufe 1 und 2 sowie zwischen Stufe 3 und 4 hat keinen signifikanten Einfluß auf den Punkt-Punkt-Verlust. Was jedoch die Verdrahtung zwischen Stufe 2 und 3 betrifft, so gelten dieselben Überlegungen wie im vorigen Abschnitt III.6.1.

Nachfolgend sind die einzelnen Terme für die effektive Erreichbarkeit angeführt:

$$\text{Term A} = \frac{1}{\ell_{1,2}} \cdot (k_1 - x_1) \cdot (\dots) \cdot \ell_{3,4} \cdot (1 - y_3/k_3) \quad (3.44)$$

$$\text{Term B} = x_1/g_4 \quad (3.45)$$

$$\text{Term C} = \frac{1}{\ell_{1,2}} \cdot (k_1 - x_1) \cdot y_2/g_4 \quad (3.46)$$

$$\text{Term D}_1 = \frac{1}{\ell_{1,2}} \cdot (i_1 - x_1) \cdot (\dots) \cdot \ell_{3,4} \cdot y_3/k_3 \quad (3.47)$$

$$\text{Term D}_2 = \frac{1}{\ell_{1,2}} \cdot (k_1 - i_1) \cdot (\dots) \cdot \ell_{3,4} \cdot (y_3/k_3) \cdot y_3/k_3 \quad (3.48)$$

Der Faktor  $1/\ell_{1,2}$  in den Gleichungen 3.44 bis 3.48 drückt die Tatsache aus, daß mehrfache Zwischenleitungsführung zwischen Stufe 1 und 2 die Erreichbarkeit verkleinert. Dies ist einleuchtend, da man im Leerlauf maximal statt  $k_1$  nur  $k_1/\ell_{1,2}$  Koppelvielfache in Stufe 2 erreichen kann.

Für den Klammerausdruck  $(\dots)$  muß je nachdem, ob es sich um parallele oder vermaschte Verdrahtung zwischen Stufe 2 und 3 handelt, der entsprechende vom vorigen Abschnitt III.6.1 eingesetzt werden.

Der Faktor  $\ell_{3,4}$  vergrößert die Erreichbarkeit, da von einem Koppelvielfach in der 3. Stufe  $\ell_{3,4} > 1$  Leitungen des Zielbündels erreicht werden.

Eine Änderung des Terms C hat sich im Fall  $\ell_{1,2}, \ell_{3,4} \leq \ell_{2,3}$  als zweckmäßig erwiesen. Es gilt dann:

$$\text{Term C} = \frac{1}{\ell_{1,2}} \cdot (k_1 - x_1) \cdot y_2/g_4 \cdot V \quad (3.49)$$

wobei der Faktor V definiert wird als

$$V = \ell_{2,3}/\ell_{1,2} \text{ mit der Begrenzung } V \leq \ell_{1,2} \quad (3.50)$$

Dieser heuristisch gefundene Faktor V kann dadurch erklärt werden, daß die Zahl der relevanten Zwischenleitungen, die zum Term C beitragen, größer ist.

Es gilt wieder die Einschränkung, daß die Summe der "Belegt"terme kleiner als die Belastung  $y_4$  des Zielkoppelvielfachs sein muß, also:

$$\text{Term B} + \text{Term C} + \text{Term D}_1 + \text{Term D}_2 \leq y_4 \quad (3.51)$$

Die Summe der Terme ergibt wieder die effektive Erreichbarkeit

$$k_{\text{eff}}(x_1) = \text{Term A} + \text{Term B} + \text{Term C} + \text{Term D}_1 + \text{Term D}_2 \quad (3.52)$$

III.7 Effektive Erreichbarkeit für 6-stufige Linkssysteme mit  
mehrfacher Zwischenleitungsführung (multilinkage)  
zwischen den Stufen 3 und 4

Die Verallgemeinerung der Terme für die effektive Erreichbarkeit bei 6-stufigen Systemen wird in analoger Weise wie bei den 4-stufigen Systemen durchgeführt. Im einzelnen wird dabei der Faktor  $(1-y_3/k_3)$  in den Termen A, E,  $F_1$  und  $F_2$  (vgl. Gl. 3.21 bis 3.27) ersetzt.

Parallele Verdrahtung

Die Terme lauten:

$$\text{Term A} = (k_1-x_1) \cdot (k_2-y_2) \cdot \{1-(y_3/k_3)\}^{\ell_{3,4}} \cdot (1-y_4/k_4) \cdot (1-y_5/k_5) \quad (3.53)$$

$$\text{Term E} = (k_1-x_1) \cdot (k_2-y_2) \cdot \{1-(y_3/k_3)\}^{\ell_{3,4}} \cdot y_4/g_{b6} \quad (3.54)$$

$$\text{Term } F_1 = (i_1-x_1) \cdot (k_2-y_2) \cdot \{1-(y_3/k_3)\}^{\ell_{3,4}} \cdot (1-y_4/k_4) \cdot y_5/k_5 \quad (3.55)$$

$$\text{Term } F_2 = (k_1-i_1) \cdot (k_2-y_2) \cdot \{1-(y_3/k_3)\}^{\ell_{3,4}} \cdot (1-y_4/k_4) \cdot (y_5/k_5) \cdot y_5/k_5 \quad (3.56)$$

Hierbei ist noch anzumerken, daß dieselben Begrenzungen gelten wie sie in Abschnitt III.5 angeführt sind.

Vermaschte Verdrahtung:

Die Terme lauten:

$$\text{Term A} = (k_1-x_1) \cdot (k_2-y_2) \cdot \ell_{3,4} \cdot (1-y_3/k_3) \cdot (1-y_4/k_4) \cdot (1-y_5/k_5) \quad (3.57)$$

$$\text{Term E} = (k_1-x_1) \cdot (k_2-y_2) \cdot \ell_{3,4} \cdot (1-y_3/k_3) \cdot y_4/g_{b6} \quad (3.58)$$

Das Produkt  $(k_1-x_1) \cdot (k_2-y_2) \cdot \ell_{3,4} \cdot (1-y_3/k_3)$  in den Termen A und E muß auf die Zahl  $g_{b4}$  begrenzt werden. Sie gibt die Zahl der Koppelvielfache in Stufe 4 an, von denen aus das Zielkoppelvielfach im Leerlauf erreichbar ist.

$$\text{Term } F_1 = (i_1-x_1) \cdot (k_2-y_2) \cdot \ell_{3,4} \cdot (1-y_3/k_3) \cdot (1-y_4/k_4) \cdot y_5/k_5 \quad (3.59)$$

$$\text{Term } F_2 = (k_1-i_1) \cdot (k_2-y_2) \cdot \ell_{3,4} \cdot (1-y_3/k_3) \cdot (1-y_4/k_4) \cdot (y_5/k_5) \cdot y_5/k_5 \quad (3.60)$$

Auch bei den Termen  $F_1$  und  $F_2$  tritt eine zusätzliche Begrenzung in kraft:

$$(i_1-x_1) \cdot (k_2-y_2) \cdot \ell_{3,4} \cdot (1-y_3/k_3) \leq g_{b4} \cdot i_1/k_1 \quad (3.61)$$

$$(k_1-i_1) \cdot (k_2-y_2) \cdot \ell_{3,4} \cdot (1-y_3/k_3) \leq g_{b4} \cdot (1-i_1/k_1) \quad (3.62)$$

Im übrigen gelten außerdem noch die in Abschnitt III.5 angeführten Begrenzungen.

Auch bei 6-stufigen Systemen wird im Falle der vermaschten Verdrahtung der Punkt-Punkt-Verlust zweimal mit verschiedener effektiver Erreichbarkeit berechnet und anschließend gewichtet im Verhältnis 2:1 summiert, wie in Abschnitt III.6.1 bei 4-stufigen Systemen beschrieben.

#### IV. LINKSYSTEME MIT MEHRFACHER PUNKT-PUNKT-MARKIERUNG

##### IV.1 Markierstrategie bei mehrfacher Punkt-Punkt-Markierung

Wie bereits in Abschnitt II.2 bei den Markierprinzipien erwähnt wurde, ist die Verlustwahrscheinlichkeit bei Linksystemen mit Punkt-Punkt-Markierung höher als bei Punkt-Bündel-Markierung. Um diesen Nachteil etwas auszugleichen, wird bei manchen Linksystemen die mehrfache Punkt-Punkt-Markierung angewandt. Die Strategie, gemäß derer eine weitere Leitung des gewünschten Abnehmerbündels markiert wird, ist dabei von großem Einfluß auf die Verlustwahrscheinlichkeit. Es ist zum Beispiel sinnlos, eine Leitung zu markieren, die am selben Zielkoppelvielfach angeschlossen ist, zu dem bereits schon ein Durchschalteversuch unternommen wurde.

Nachfolgend werden drei mögliche Markierstrategien (bei 4-stufigen Linksystemen) vorgestellt:

Strategie A Der Markierer wählt aus den freien Leitungen des gewünschten Abnehmerbündels eine weitere Leitung aus, die an ein anderes Koppelvielfach angeschlossen ist. Dieses Koppelvielfach soll sich aber innerhalb des-selben Linkblocks befinden.

Strategie B Der Markierer wählt aus den freien Leitungen des gewünschten Abnehmerbündels zufallsmäßig eine weitere Leitung aus. Es soll aber ausgeschlossen sein, daß die ausgewählte Leitung an ein Koppelvielfach angeschlossen ist, zu dem bereits schon erfolglos durchzuschalten versucht wurde.

Strategie C Der Markierer wählt aus den freien Leitungen des gewünschten Abnehmerbündels eine weitere Leitung aus, die an ein Koppelvielfach angeschlossen ist, welches sich in einem anderen Linkblock befindet. Notwendigerweise kann diese Strategie nur solange

durchgeführt werden, als es noch freie Abnehmerleitungen gibt, die aus verschiedenen Linkblöcken herausführen. Falls noch weitere Durchschalteversuche unternommen werden, muß man zu Strategie B zurückkehren.

Was die Verlustwahrscheinlichkeit der 3 hier angeführten Markierstrategien betrifft, so ist folgendes anzumerken:

Strategie A liefert den höchsten Verlust, da - abgesehen von den Zwischenleitungen von der vorletzten zur letzten Stufe - stets dieselben Zwischenleitungen in den vorangehenden Stufen für eine Durchschaltung in Frage kommen.

Anders verhält es sich bei Strategie C. Hier ist der Anteil von Zwischenleitungen, die bei einem früheren Durchschalteversuch noch nicht abgesucht wurden, am größten; somit ist auch die Erfolgswahrscheinlichkeit am größten (vgl. dazu Bild 4-1).

Naturgemäß liegen die Verluste bei Strategie B zwischen denen von Strategie A und C.

##### IV.2 Rechenmodell bei mehrfacher Punkt-Punkt-Markierung

Das Rechenverfahren PPL für einfache Punkt-Punkt-Markierung basiert - wie in Abschnitt II ausführlich beschrieben - auf der effektiven Erreichbarkeit des sogenannten Zielbündels, das aus denjenigen Zwischenleitungen besteht, die von den Koppelvielfachen der vorletzten Stufe zu jenem Zielkoppelvielfach führen, an dem die markierte Abnehmerleitung angeschlossen ist. Bei der Erweiterung des Verfahrens auf mehrfache Punkt-Punkt-Markierung wird von folgender Modellvorstellung ausgegangen:



$$\hat{E}_{PPM \text{ mom}}(x_1) = \frac{\sum_{x_S=0}^{M \cdot (k_S-1)} p(x_S) \cdot c_M(x_S, M \cdot k_{eff}(x_1))}{\sum_{x_S=0}^{M \cdot (k_S-1)} p(x_S)} \quad (4.2)$$

In der Gleichung 5.2 bedeutet jetzt  $p(x_S)$  die Wahrscheinlichkeit, daß  $x_S$  von insgesamt  $M \cdot k_S$  Ausgängen des betrachteten virtuellen Zielkoppelvielfachs belegt sind. Wie in Gleichung 2.7 in Abschnitt II.4.2 wird die Sperrwahrscheinlichkeit gewichtet mit der Wahrscheinlichkeit  $p(x_S)$  aufsummiert, und zwar über alle jene Zustände, in denen markiert werden darf. Diese sind, wenn man die einzelnen (reellen) Zielkoppelvielfache betrachtet, jeweils die Zustände  $\{0\}$  bis  $\{k_S-1\}$ , folglich sind diese dann beim virtuellen,  $M$ -fach vergrößerten Zielkoppelvielfach die Zustände  $\{0\}$  bis  $\{M \cdot (k_S-1)\}$ .

Für die Wahrscheinlichkeit  $p(x_S)$  wird eine Verteilung nach Bernoulli auf den  $M \cdot k_S$  Ausgängen des virtuellen Zielkoppelvielfachs angenommen, analog zu Gleichung 2.11 im Abschnitt II.4.2

Der Verlust bei abgeschnittenem Zufallsverkehr 1. Art ergibt sich nun auf die gleiche Weise, wie in Abschnitt II.4.3 beschrieben, nämlich zu (das Zeichen  $\hat{\phantom{x}}$  bedeutet: ohne Berücksichtigung der Bündelgröße) :

$$\hat{B}_{PPM}(ZV1) = \frac{\sum_{x_1=0}^{i_1-1} p(x_1) \cdot \hat{E}_{PPM \text{ mom}}(x_1)}{1 - p(i_1)} \quad (4.3)$$

oder, wenn man für  $\hat{E}_{PPM \text{ mom}}(x_1)$  Gleichung 4.2 einsetzt:

$$\hat{B}_{PPM}(ZV1) = \sum_{x_1=0}^{i_1-1} \frac{p(x_1)}{1-p(i_1)} \cdot \frac{\sum_{x_S=0}^{M \cdot (k_S-1)} p(x_S) \cdot c_M(x_S, M \cdot k_{eff}(x_1))}{\sum_{x_S=0}^{M \cdot (k_S-1)} p(x_S)} \quad (4.4)$$

Für die Wahrscheinlichkeit  $p(x_1)$ , d. h. " $x_1$  Leitungen im Startkoppelvielfach belegt", wird bei Zufallsverkehr 1. Art eine Verteilung nach Erlang verwendet (vgl. Gl. 2.18 in Abschnitt II.4.3).

Für Zufallsverkehr 2. Art erhält man in Anlehnung an Abschnitt II.4.4

$$\hat{B}_{PPM}(ZV2) = \sum_{x_1=0}^{i_1-1} p(x_1) \frac{i_1 - x_1}{i_1 - y_1} \cdot \hat{E}_{PPM \text{ mom}}(x_1) \quad (4.5)$$

oder, wenn man für  $\hat{E}_{PPM \text{ mom}}(x_1)$  Gleichung 4.2 einsetzt:

$$\hat{B}_{PPM}(ZV2) = \sum_{x_1=0}^{i_1-1} p(x_1) \cdot \frac{i_1 - x_1}{i_1 - y_1} \cdot \frac{\sum_{x_S=0}^{M \cdot (k_S-1)} p(x_S) \cdot c_M(x_S, M \cdot k_{eff}(x_1))}{\sum_{x_S=0}^{M \cdot (k_S-1)} p(x_S)} \quad (4.6)$$

Für die Wahrscheinlichkeit  $p(x_1)$  wird bei Zufallsverkehr 2. Art eine Verteilung nach Bernoulli verwendet (vgl. Gl. 2.24).

IV.3 Der Einfluß der Größe des Abnehmerbündels bei mehrfacher Punkt-Punkt-Markierung

Der im vorigen Abschnitt bestimmte Punkt-Punkt-Verlust  $\hat{B}_{PPM}$  gilt für den Fall, daß wirklich M Durchschalteversuche unternommen werden. Es kann aber der Fall auftreten, daß im gewünschten Abnehmerbündel gar keine M Leitungen mehr frei sind; somit werden auch keine M Markierungen vorgenommen.

Wenn nämlich  $(n_r - 1)$  Leitungen des Abnehmerbündels momentan belegt sind, kann nur ein Durchschalteversuch unternommen werden, da ja laut Definition des Punkt-Punkt-Verlustes (vgl. Abschnitt II.3) nur freie Leitungen markiert werden dürfen. Scheitert dieser eine Durchschalteversuch, so geht der Ruf verloren. Die Wahrscheinlichkeit hierfür ist gleich dem Punkt-Punkt-Verlust bei einfacher Markierung.

Sind  $(n_r - 2)$  Leitungen des Abnehmerbündels momentan belegt, so können 2 Versuche unternommen werden.

Dies geht so weiter, bis schließlich M und mehr Leitungen frei sind. Dann kann die Anzahl der zugelassenen Versuche voll ausgenutzt werden.

Aus den eben aufgestellten Betrachtungen folgt nun die Formel für den Verlust bei mehrfacher Punkt-Punkt-Markierung unter Berücksichtigung der Bündelgröße

Abgeschnittener Zufallsverkehr 1. Art

$$B_{PPM}(ZV1) = \left[ \hat{B}_{PP1} \cdot p(n_r - 1) + \hat{B}_{PP2} \cdot p(n_r - 2) + \dots \right. \\ \left. \dots + \hat{B}_{PPM} \cdot \sum_{x_r=0}^{n_r-M} p(x_r) \right] \cdot \frac{1}{1 - p(n_r)} \quad (4.7)$$

Hierbei ist  $p(x_r)$  die Wahrscheinlichkeit, daß momentan  $x_r$  Leitungen im Abnehmerbündel belegt sind. Da im Zustand  $\{n_r\}$ , d. h. alle Leitungen im Abnehmerbündel sind belegt, auch nicht mehr markiert wird, trägt auch dieser Zustand gemäß Definition im Abschnitt II.3 nichts zum Verlust bei mehrfacher Punkt-Punkt-Markierung bei. Der Verlust muß also auf jene Zustände bezogen werden, in denen auch markiert wird. Durch die Division mit  $(1 - p(n_r))$  trägt man dieser Tatsache Rechnung. Die Wahrscheinlichkeiten  $p(x_r)$  berechnen sich bei Zufallsverkehr 1. Art nach Erlang, (vgl. dazu auch Abschnitt II.4.5):

$$p(x_r) = \frac{A_{O,r}^{x_r} / x_r!}{\sum_{j=0}^{n_r} A_{O,r}^j / j!} \quad x_r = 0, 1, \dots, n_r \quad (4.8)$$

wobei  $A_{O,r}$  so iterativ bestimmt wird, daß sich auf dem Abnehmerbündel die vorgeschriebene Belastung  $y_r$  ergibt:

$$y_r = \sum_{x_r=1}^{n_r} x_r \cdot p(x_r) \quad (4.9)$$

Zufallsverkehr 2. Art

Bei Zufallsverkehr 2. Art lautet die Formel für den Punkt-Punkt-Verlust bei mehrfacher Markierung:

$$B_{PPM}(ZV2) = \left[ \hat{B}_{PP1} \cdot p(n_r - 1) + \hat{B}_{PP2} \cdot p(n_r - 2) + \dots \right. \\ \left. + \hat{B}_{PPM} \cdot \sum_{x_r=0}^{n_r-M} p(x_r) \right] \cdot \frac{1}{1 - p(n_r)} \quad (4.10)$$

Die Wahrscheinlichkeit  $p(x_r)$  berechnet sich bei Zufallsverkehr 2. Art gemäß einer Erlang-Bernoulli-Verteilung (vgl. dazu auch Abschnitt II.4.5):

$$p(x_r) = \frac{(\alpha_{0,r}/\epsilon)^x \cdot \binom{q}{j}}{1 + \sum_{j=1}^{n_r} (\alpha_{0,r}/\epsilon)^j \cdot \binom{q}{j}} \quad x_r=0,1,\dots,n_r \quad (4.11)$$

Bezüglich des Abnehmerbündels mit  $n_r$  Leitungen ist die Anzahl  $q$  der Verkehrsquellen gleich der Anzahl der Eingänge des Linksystems ( $= i_1 \cdot g_1$ ). Die Größe  $(\alpha_{0,r}/\epsilon) = \beta_{0,r}$  ist in ähnlicher Weise wie bei ZV1 iterativ so zu bestimmen, daß sich auf dem Abnehmerbündel die vorgegebene Belastung  $y_r$  ergibt.

IV.4 Gesamtverlust bei mehrfacher Punkt-Punkt-Markierung

Auch bei mehrfacher Punkt-Punkt-Markierung ist der Gesamtverlust eines Abnehmerbündels von Interesse. Dieser Verlust setzt sich, wie schon im Abschnitt II.4.5 bei der einfachen Punkt-Punkt-Markierung beschrieben, aus dem Punkt-Punkt-Verlust sowie aus dem Verlust infolge Abnehmerblockierung zusammen.

Für abgeschnittenen Zufallsverkehr 1. Art erhält man dann

$$B_{ges}(ZV1) = p(n_r) + (1 - p(n_r)) \cdot B_{PPM}(ZV1) \quad (4.12)$$

Hierbei errechnet sich  $p(n_r)$  nach Gleichung 4.8.

Für Zufallsverkehr 2. Art ergibt sich

$$B_{ges}(ZV2) = p(n_r) \cdot \frac{q-n_r}{q-y_r} + (1 - p(n_r)) \cdot B_{PPM}(ZV2) \quad (4.13)$$

Hierbei errechnet sich  $p(n_r)$  gemäß Gleichung 4.11.

V. LINKSYSTEME FÜR TEILNEHMERWAHLSTUFEN

Linksysteme, die in Teilnehmerwahlstufen eingesetzt werden, dienen der Verkehrskonzentration bzw. -expansion. Deshalb ist die Zahl der Eingänge ein Vielfaches der Zahl der Ausgänge (bei Konzentration) und umgekehrt (bei Expansion). Solche Systeme wurden im bisherigen Teil der Arbeit noch nicht betrachtet. In diesem Abschnitt wird nun das Rechenverfahren PPL für diese Art von Systemen erweitert (einfache Zwischenleitungsführung als wirtschaftlichstes Strukturprinzip vorausgesetzt).

V.1 Linksysteme zur Verkehrskonzentration

V.1.1 Allgemeines

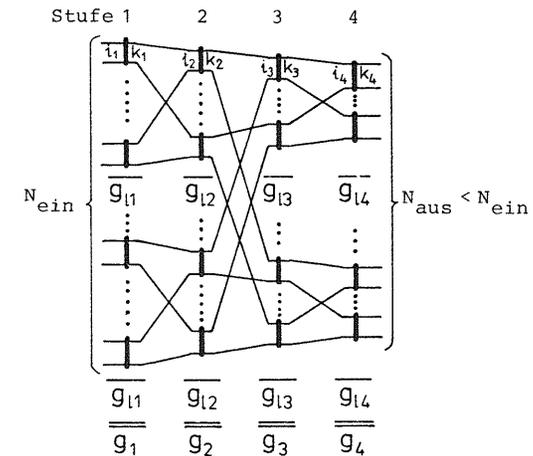


Bild 5-1: 4-stufiges Linksystem zur Verkehrskonzentration

Bild 5-1 zeigt die Struktur eines 4-stufigen Linksystems zur Verkehrskonzentration. Im allgemeinen weisen Linksysteme zur Verkehrskonzentration wesentlich mehr Eingänge als Ausgänge auf, das heißt es gilt  $i_1 \cdot g_1 > k_S \cdot g_S$ . Dies wird dadurch erreicht, daß zumindest in

einer Stufe die Koppelvielfache mehr Eingänge als Ausgänge besitzen; im allgemeinen ist dies in jeder Stufe der Fall. Von besonderem Interesse für das PPL-Verfahren ist jedoch der Fall, wenn in der 1. Stufe konzentriert wird, d. h.  $i_1 > k_1$ . Dann ändern sich die in Abschnitt II.4.3 und II.4.4 hergeleiteten Formeln für den Punkt-Punkt-Verlust.

Angenommen, momentan seien alle  $k_1$  Ausgänge des Startkoppelvielfachs belegt. Da die Zahl der Eingänge größer ist als die Zahl der Ausgänge, kann trotzdem noch auf den freien  $(i_1 - k_1)$  Eingängen des Startkoppelvielfachs ein Ruf eintreffen. Dieser Ruf kann aber nicht durchgeschaltet werden, da ja alle  $k_1$  Ausgänge belegt sind. Er erleidet also einen Verlust infolge Eingangsblockierung. In diesem Zustand ist dann die momentane Blockierung bei Punkt-Punkt-Markierung  $E_{\text{mom}}(k_1) = 1$ . Die momentane Blockierung in den restlichen Zuständen  $\{x_1\} = \{0\}, \dots, \{k_1 - 1\}$  errechnet sich dann wie bereits beschrieben, abgesehen von einer kleinen Änderung in der Berechnung der effektiven Erreichbarkeit, auf die in Abschnitt V.1.6 eingegangen wird.

Eine weitere Änderung des Rechengangs ist erforderlich, wenn bei 5- und 6-stufigen Linkssystemen in der 2. Stufe konzentriert wird ( $i_2 > k_2$ ). Dann tritt nämlich ein zusätzlicher Verlust infolge Zwischenblockierung in Stufe 2 auf, der rechnerisch explizit erfaßt werden muß. Näheres hierzu findet sich im Abschnitt V.1.5.

Die nachfolgenden 3 Abschnitte V.1.2 bis V.1.4 gelten daher für 3- und 4-stufige Linkssysteme allgemein, und für 5- und 6-stufige Systeme dann, wenn in der 2. Stufe nicht konzentriert wird.

V.1.2 Punkt-Punkt-Verlust bei Zufallsverkehr 1. Art

An dieser Stelle sei nochmals Gleichung 2.13 aus Abschnitt II.4.2 wiederholt, die auch im Fall der Konzentration in der Stufe 1 ihre Gültigkeit behält.

$$B_{\text{PP}} = \frac{\sum_{x_1=0}^{i_1-1} p(x_1) \cdot \lambda(x_1) \cdot E_{\text{mom}}(x_1)}{\sum_{x_1=0}^{i_1-1} p(x_1) \cdot \lambda(x_1)} \quad (2.13)$$

Bei Zufallsverkehr 1. Art ist die Anrufrate  $\lambda(x_1) = \lambda$ , d. h. konstant und unabhängig vom Belegungszustand  $\{x_1\}$  im Startkoppelvielfach. Maximal können im Startkoppelvielfach  $k_1$  Belegungen auftreten, deshalb sind die Wahrscheinlichkeiten  $p(x_1)$  für  $x_1 = k_1 + 1, \dots, i_1$  identisch Null. Aus diesem Grunde können für den hier angesprochenen Fall die Summationsgrenzen im Zähler und im Nenner von Gleichung 2.13 auf  $k_1$  erniedrigt werden. Man erhält dann:

$$B_{\text{PP}} = \frac{\sum_{x_1=0}^{k_1-1} p(x_1) \cdot \lambda \cdot E_{\text{mom}}(x_1)}{\sum_{x_1=0}^{k_1-1} p(x_1) \cdot \lambda} \quad (5.1)$$

In Gleichung 5.1 kann mit  $\lambda$  gekürzt werden. Der Nenner wird zu 1, da über sämtliche auftretende Wahrscheinlichkeiten aufsummiert wird. Somit ergibt sich:

$$B_{\text{PP}}(\text{ZV1}) = p(k_1) + \sum_{x_1=0}^{k_1-1} p(x_1) \cdot E_{\text{mom}}(x_1) \quad (5.2)$$

Die Zustandswahrscheinlichkeiten  $p(x_1)$  errechnen sich nach Erlang, wie in den Gleichungen 2.18 und 2.19 im Abschnitt II.4.3 angegeben, nur mit dem Unterschied, daß der oberste Summationsindex  $i_1$  jetzt durch  $k_1$  ersetzt wird.

V.1.3 Punkt-Punkt-Verlust bei Zufallsverkehr 2. Art

Bei Zufallsverkehr 2. Art ist die Anrufrate  $\lambda(x_1)$  vom Belegungs-  
zustand abhängig, nach Gleichung 2.20 im Abschnitt II.4.4 gilt:

$$\lambda(x_1) = \alpha \cdot (i_1 - x_1) \quad (2.20)$$

Setzt man Gleichung 2.20 wiederum in Gleichung 2.13 ein, so ergibt sich:

$$B_{PP}(ZV2) = \frac{\sum_{x_1=0}^{i_1-1} p(x_1) \cdot \alpha \cdot (i_1 - x_1) \cdot E_{mom}(x_1)}{\sum_{x_1=0}^{i_1-1} p(x_1) \cdot \alpha \cdot (i_1 - x_1)} \quad (5.3)$$

Zunächst kann in Gleichung 5.3 mit  $\alpha$  gekürzt werden. Infolge Konzentration im Startkoppelvielfach ( $i_1 > k_1$ ) können maximal  $k_1$  Belegungen auftreten; deshalb sind die Wahrscheinlichkeiten  $p(x_1)$  für  $x_1 = k_1 + 1, \dots, i_1$  identisch Null. Somit können die oberen Summationsgrenzen im Zähler sowie im Nenner auf  $k_1$  erniedrigt werden. Mit derselben Umformung des Nenners wie von Gleichung 2.21 auf Gleichung 2.22 wird der Verlust zu:

$$B_{PP}(ZV2) = p(k_1) \cdot \frac{(i_1 - k_1)}{(i_1 - y_1)} + \sum_{x_1=0}^{k_1-1} p(x_1) \cdot \frac{(i_1 - x_1)}{(i_1 - y_1)} \cdot E_{mom}(x_1) \quad (5.4)$$

Die Zustandswahrscheinlichkeiten  $p(x_1)$  berechnen sich hier in diesem Falle gemäß einer Erlang-Bernoulli-Verteilung (vgl. hierzu auch Abschnitt IV.3)

$$p(x_1) = \frac{(\alpha_0/\epsilon)^{x_1} \binom{i_1}{x_1}}{1 + \sum_{j=1}^{k_1-1} (\alpha_0/\epsilon)^j \cdot \binom{i_1}{j}} \quad (5.5)$$

Hierbei ist die Größe  $(\alpha_0/\epsilon)$  iterativ so zu bestimmen, daß sich die vorgeschriebene Belastung  $y_1$  auf dem Startkoppelvielfach ergibt:

$$y_1 = \sum_{x_1=1}^{k_1-1} x_1 \cdot p(x_1) \quad (5.6)$$

V.1.4 Punkt-Punkt-Verlust bei mehrfacher Markierung (ZV1 und ZV2)

Was den Verlust bei mehrfacher Punkt-Punkt-Markierung betrifft, so ist zu sagen, daß der im vorigen Abschnitt IV angegebene Rechnungsgang formal gleich auf Linksysteme mit Konzentration in Stufe 1 anwendbar ist. Im einzelnen erhält man für Zufallsverkehr 1. Art (vgl. dazu Gleichung 5.2)

$$\hat{B}_{PPM}(ZV1) = p(k_1) + \sum_{x_1=0}^{k_1-1} p(x_1) \cdot \hat{E}_{PPM\ mom}(x_1) \quad (5.7)$$

Es ergibt sich für Zufallsverkehr 2. Art (vgl. dazu Gleichung 5.4)

$$\hat{B}_{PPM}(ZV2) = p(k_1) \cdot \frac{(i_1 - k_1)}{(i_1 - y_1)} + \sum_{x_1=0}^{k_1-1} p(x_1) \cdot \frac{(i_1 - x_1)}{(i_1 - y_1)} \cdot \hat{E}_{PPM\ mom}(x_1) \quad (5.8)$$

Die Zustandswahrscheinlichkeiten  $p(x_1)$  berechnen sich bei Zufallsverkehr 1. Art gemäß einer Erlang-Verteilung und bei Zufallsverkehr 2. Art gemäß einer Erlang-Bernoulli-Verteilung, wie im vorigen Abschnitt V.1.3 angegeben.

Die in Gleichung 5.7 und 5.8 angegebenen Verluste  $\hat{B}_{PPM}$  stellen den Punkt-Punkt-Verlust ohne Berücksichtigung der Bündelgröße dar. Um nun die Abhängigkeit von der Bündelgröße mit einzubeziehen, verfährt man wie in Abschnitt IV.3 in den Gleichungen 4.7 bis 4.11 angegeben.

Für den Gesamtverlust (d. h. einschließlich des Verlustes infolge Bündelblockierung) gilt das in Abschnitt IV.4 Gesagte.

V.1.5 Zwischenblockierung

V.1.5.1 Allgemeines

Wie in Abschnitt V.1.1 erwähnt, ist nur bei Linksystemen mit mehr als 4 Stufen eine explizite Erfassung des Verlusts wegen Blockierung infolge Konzentration in den Zwischenstufen (oder kurz: Zwischenblockierung) erforderlich. Als Beispiel zur Erklärung der Zwischenblockierung wird nachfolgend das 6-stufige Linksystem L 604 (mit einfacher Zwischenleitungsführung) verwendet. Seine Kurzschreibweise ist im Bild 5-2 dargestellt.

6 4	6 4	6 4	4 4	4 4	4 4
6	4			4	4
36	24	16	16	16	16
144	96	64	64	64	64

Bild 5-2: Kurzschreibweise des Linksystems L 604

Wie bereits in den vorausgegangenen 3 Abschnitten V.1.2. V.1.3 und V.1.4 erläutert wurde, tritt eine Eingangsblockierung auf, wenn alle  $k_1$  Ausgänge des Startkoppelvielfachs momentan belegt sind (=4 im obigen Beispiel).

Wenn  $x_1 < k_1$  Ausgänge belegt sind, kann ein Verlust entweder durch Blockierung in den dazwischenliegenden Stufen 2, ..., S-1 entstehen, oder durch Blockierung in der letzten Stufe (im "Zielbündel").

V.1.5.2 Zwischenblockierung in Stufe 2

(bei Linksystemen mit mehr als 4 Stufen)

Ausgehend vom Startkoppelvielfach in Stufe 1 können maximal  $n_{zw2} = k_1 \cdot k_2 = 4 \cdot 4 = 16$  Zwischenleitungen erreicht werden; dies entspricht der maximalen Breite des Verbindungsgraphen (vgl. dazu auch Bild 5-4 im nächsten Abschnitt V.1.5.3). Diese  $n_{zw2}$  Zwischenleitungen bilden nun ein sogenanntes "Zwischenleitungsbündel", das an ein 2-stufiges Linksystem (Teilsystem), gebildet aus einem Linkblock in Stufe 1 und 2, angeschlossen ist und weiterführt zur Stufe 3 (vgl. Bild 5-3).

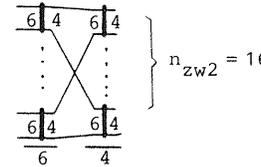


Bild 5-3:

Teilsystem mit Zwischenleitungsbündel  $n_{zw2}$  des Linksystems L 604

Man berechnet nun die Wahrscheinlichkeit, daß der Zugang zu diesem Zwischenleitungsbündel blockiert ist (Zwischenblockierung  $E_{zw2 \text{ mom}}(x_1)$ ), mit folgender Gleichung:

$$E_{zw2 \text{ mom}}(x_1) = \sum_{x_{zw2}=0}^{n_{zw2}} p(x_{zw2}) \cdot c(x_{zw2}, k_{\text{eff } zw2}(x_1)) \quad (5.9)$$

Hinweis: Dieser Zustand (Zwischenblockierung) kann nur dann auftreten, wenn die Zahl der Ausgänge eines Koppelvielfachs in Stufe 2 kleiner ist als die Zahl seiner Eingänge. Sind gleichviele oder sogar mehr Ausgänge als Eingänge vorhanden, so findet sich zu jedem freien Eingang auch ein entsprechender Ausgang; deshalb tritt dann keine Zwischenblockierung auf.

In Gleichung 5.9 bedeutet  $c(x_{zw2}, k_{\text{eff } zw2}(x_1))$  die Sperrwahrscheinlichkeit, analog zu derjenigen, welche in Abschnitt II.4.1 beschrieben wurde (vgl. Gleichung 2.6). Die effektive Erreichbarkeit  $k_{\text{eff } zw2}(x_1)$  des Zwischenleitungsbündels hinter der Stufe 2 wird berechnet nach dem Verfahren CLIGS (Calculation of loss in link systems with group selection = Berechnung des Verlusts in Linksystemen mit Bündelwahl) / 3/, / 4/.  $p(x_{zw2})$  ist die Wahrscheinlichkeit, daß  $x_{zw2}$  von  $n_{zw2}$  Leitungen des Zwischenleitungsbündels momentan belegt sind.

Für Zufallsverkehr 1. Art nimmt man als Näherung (vgl. dazu auch Abschnitt II.4.5) eine Erlang-Verteilung an:

$$p(x_{zw2}) = \frac{A_{O, zw2}^{x_{zw2}}}{x_{zw2}!} \cdot \frac{1}{\sum_{j=0}^{n_{zw2}} \frac{A_{O, zw2}^j}{j!}} \quad (5.10)$$

$x_{zw2} = 0, \dots, n_{zw2}$

wobei  $A_{O, zw2}$  so iterativ bestimmt wird, daß gilt:

$$Y_{zw2} = \sum_{x_{zw2}=1}^{n_{zw2}} x_{zw2} \cdot p(x_{zw2}) \quad (5.11)$$

$Y_{zw2}$  ist die Verkehrsbelastung des betrachteten Zwischenleitungs-bündels. Zweckmäßigerweise nimmt man diese Verkehrsbelastung als proportional zur Leitungszahl des Zwischenleitungs-bündels an, also gilt:

$$Y_{zw2} = Y \cdot \frac{n_{zw2}}{g_2 \cdot k_2} \quad (5.12)$$

Hierbei ist  $Y$  die Gesamtverkehrsbelastung des Linksystems.

Für Zufallsverkehr 2. Art nimmt man für die Wahrscheinlichkeiten  $p(x_{zw2})$  als Näherung eine Erlang-Bernoulli-Verteilung an (vgl. dazu auch Abschnitt II.4.5):

$$p(x_{zw2}) = \frac{\binom{q_{zw2}}{x_{zw2}} \cdot (\alpha_{O, zw2}/\epsilon)^{x_{zw2}}}{1 + \sum_{j=1}^{n_{zw2}} \binom{q_{zw2}}{j} \cdot (\alpha_{O, zw2}/\epsilon)^j} \quad x_{zw2}=0, \dots, n_{zw2} \quad (5.13)$$

$q_{zw2}$  in der obigen Gleichung stellt die Zahl der Verkehrsquellen dar, die auf das Zwischenleitungs-bündel einwirken. Sie ist ebenfalls proportional der Zahl der Leitungen, die zum Zwischenleitungs-bündel gehören, nämlich

$$q_{zw2} = (i_1 \cdot g_1) \cdot \frac{n_{zw2}}{g_2 \cdot k_2} \quad (5.14)$$

Weiterhin ist  $\alpha_{O, zw2}/\epsilon = \beta$  iterativ so zu bestimmen, daß gilt:

$$Y_{zw2} = \sum_{x_{zw2}=1}^{n_{zw2}} x_{zw2} \cdot p(x_{zw2}) \quad (5.15)$$

wobei  $Y_{zw2}$  die Verkehrsbelastung auf dem Zwischenleitungs-bündel darstellt (vgl. Gleichung 5.12).

V.1.5.3 Zwischenblockierung in den Stufen 3, ..., S-1  
(bei Linksystemen mit mehr als 4 Stufen)

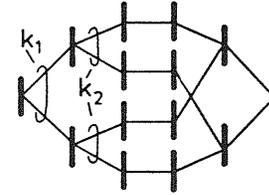


Bild 5-4: Verbindungsgraph eines 6-stufigen Linksystems mit einfacher Zwischenleitungs-führung

Wie aus Bild 5-4 ersichtlich ist, verbreitert sich der Verbindungs-graph hinter der 2. Stufe auf  $k_1 \cdot k_2$  Zwischenleitungen (Größe des Zwischenleitungs-bündels). So kann man von einem Koppelvielfach der Stufe 2 über  $k_2$  Zwischenleitungen zur Stufe 3 gelangen.

In den nachfolgenden Stufen bleibt jedoch die Zahl der  $k_1 \cdot k_2$  Zwischenleitungen konstant (außer von der vorletzten zur letzten Stufe). Anders ausgedrückt, um von der Stufe  $j$  zur Stufe  $j+1$  zu gelangen ( $j=3,4,5$ ), gibt es ausgehend von einem Koppelvielfach in Stufe  $j$  nur eine Zwischenleitung in die Stufe  $j+1$  innerhalb des Verbindungsgraphen. Die Zwischenblockierung in diesen Stufen ist aber implizit in der effektiven Erreichbarkeit durch die Teilterme  $(1-y_j/k_j)$  enthalten, welche die Bedeutung von Durchlaßwahrscheinlichkeiten einer Zwischenleitung von Stufe zu Stufe haben (siehe Gleichungen 3.21, 3.25, 3.26 und 3.27) und die Verlusterhöhung infolge Zwischenblockierung durch eine Reduzierung der Erreichbarkeit berücksichtigen. Deshalb rechnet man explizit eine Zwischenblockierung nur in der Stufe, wo

- a) der Verbindungsgraph breiter wird, und
- b) die Zahl der Eingänge eines Koppelvielfaches größer ist als die Zahl der Ausgänge.

Auch 5-stufige Linksysteme mit einfacher Zwischenleitungs-führung haben einen Verbindungsgraphen mit  $k_1 \cdot k_2$  Zwischenleitungen an der breitesten Stelle. Deshalb muß man im Falle einer Konzentration in der 2. Stufe eine Zwischenblockierung in der Art wie eben beschrieben berechnen.

V.1.5.4 Zwischenblockierung bei Linksystemen mit 3 und 4 Stufen

In 3- und 4-stufigen Linksystemen mit einfacher Zwischenleitungsführung besteht der Verbindungsgraph stets aus  $k_1$  Zwischenleitungen von Stufe zu Stufe. Entsprechend den im vorigen Abschnitt V.1.5.3 angestellten Überlegungen ist die Zwischenblockierung bereits in den Formeln für die effektive Erreichbarkeit enthalten und wird deshalb nicht explizit gerechnet.

V.1.5.5 Resultierende momentane Blockierung

Unter der Näherungsannahme, daß die Blockierungswahrscheinlichkeiten in den verschiedenen Stufen statistisch voneinander unabhängig sind, erhält man für die resultierende momentane Blockierung  $E_{res\ mom}(x_1)$  bei 5- und 6-stufigen Linksystemen

$$E_{res\ mom}(x_1) = 1 - (1 - E_{zw2\ mom}(x_1)) \cdot (1 - E_{mom}(x_1)) \quad (5.16)$$

In der obigen Gleichung ist  $E_{zw2\ mom}(x_1)$  die momentane Zwischenblockierung des Zwischenleitungsbündels hinter der 2. Stufe, und  $E_{mom}(x_1)$  ist die momentane Blockierung des "Zielbündels", das ins Zielkoppelvielfach führt (vgl. dazu Gleichung 2.8).

Ersetzt man in den Gleichungen 2.16, 2.22, 5.2 und 5.4 die Größe  $E_{mom}(x_1)$  durch  $E_{res\ mom}(x_1)$ , so erhält man den Punkt-Punkt-Verlust  $B_{pp}$ , je nachdem, ob es sich um Zufallsverkehr 1. Art, 2. Art, mit oder ohne Konzentration in der Stufe 1, handelt.

V.1.6 Effektive Erreichbarkeit für Linksysteme mit Konzentration in Stufe 1

Für Linksysteme mit Konzentration in Stufe 1 können die in Abschnitt III angegebenen Formeln zur effektiven Erreichbarkeit nicht direkt angewandt werden; vielmehr muß der Tatsache Rechnung getragen werden, daß jetzt  $k_1 < i_1$  gilt. Dies hat Auswirkungen auf diejenigen Terme, die im Interesse einer genaueren Verlustbestimmung aufgespalten wurden, z. B. die Terme  $D_1$  und  $D_2$  bei 4-stufigen Systemen

$$\text{Term } D_1 = (i_1 - x_1) \cdot (1 - y_2/k_2) \cdot y_3/k_3 \quad (3.9)$$

$$\text{Term } D_2 = (k_1 - i_1) \cdot (1 - y_2/k_2) \cdot (y_3/k_3) \cdot y_3/k_3 \quad (3.10)$$

Die Anwendung von Term  $D_2$  in der obigen Form würde einen negativen Beitrag zur effektiven Erreichbarkeit liefern, da  $i_1$  größer als  $k_1$  ist. Deshalb entfällt die Aufspaltung der Teilterme, die ja seinerzeit wegen sog. "weiter" Systeme mit  $i_1 \leq k_1$  eingeführt wurde. Somit gilt für 4-stufige Linksysteme mit Konzentration in Stufe 1, die eine einfache Zwischenleitungsführung aufweisen:

$$\text{Term } D = (k_1 - x_1) \cdot (1 - y_2/k_2) \cdot y_3/k_3 \quad (5.17)$$

Entsprechendes gilt auch für Linksysteme mit 5 und 6 Stufen. auch dort entfällt die Aufspaltung des letzten Terms (Term E bzw. Term F) in 2 Teilterme.

V.2 Linkssysteme zur Verkehrsexpansion

V.2.1 Allgemeines

Linkssysteme zur Verkehrsexpansion sind dadurch gekennzeichnet, daß die Zahl der Ausgänge wesentlich größer ist als die Zahl der Eingänge. Dies wird dadurch erreicht, daß zumindest in einer Stufe die Koppelvielfache mehr Ausgänge als Eingänge haben. In der Regel ist dies in jeder Stufe der Fall. Für das Rechenverfahren PPL jedoch tritt nur dann eine Änderung ein, wenn in der letzten Stufe  $i_S > k_S$  gilt, d. h. wenn es im Zielkoppelvielfach mehr Ausgänge als Eingänge gibt.

Angenommen, es seien momentan sämtliche  $i_S$  Eingänge des Zielkoppelvielfachs belegt. Dann sind noch  $(k_S - i_S)$  Ausgänge frei, die auch markiert werden können. Natürlich ist jetzt keine Durchschaltung mehr zu einer freien, markierten Leitung möglich. Die Sperrwahrscheinlichkeit (vgl. Gleichung 2.6 für den Fall  $(x_S = i_S)$ ) ist in diesem Zustand gleich 1.

V.2.2 Momentane Blockierung

An dieser Stelle sei nochmals Gleichung 2.7 aus dem Abschnitt II.2 wiederholt, die auch im Fall der Expansion in der letzten Stufe ihre Gültigkeit beibehält:

$$E_{\text{mom}}(x_1) = \frac{\sum_{x_S=0}^{k_S-1} p(x_S) \cdot c(x_S, k_{\text{eff}}(x_1))}{\sum_{x_S=0}^{k_S-1} p(x_S)} \quad (2.7)$$

Im Zielkoppelvielfach können maximal  $i_S$  Belegungen auftreten. Deshalb sind die Wahrscheinlichkeiten  $p(x_S)$  für  $x_S = i_S + 1, \dots, k_S - 1$  gleich Null. Somit kann die Summationsgrenze von  $k_S - 1$  auf  $i_S$  erniedrigt werden. Im Nenner steht dann die Summe aller auftretenden Wahrscheinlichkeiten; diese Summe ist 1. Man erhält dadurch für die momentane Blockierung bei Expansion in der letzten Stufe

$$E_{\text{mom}}(x_1) = \sum_{x_S=0}^{i_S} p(x_S) \cdot c(x_S, k_{\text{eff}}(x_1)) \quad (5.18)$$

Der Punkt-Punkt-Verlust errechnet sich für Zufallsverkehr 1. Art und 2. Art wie bereits früher beschrieben. An den Formeln für die effektive Erreichbarkeit braucht - im Gegensatz zur Konzentration - keine Änderung vorgenommen zu werden.

VI. LINKSYSTEME MIT "UNTERTEILTEM" VERBINDUNGSGRAPHEN

VI.1 Linksysteme mit 3 und 4 Stufen

VI.1.1 Allgemeines

Im Abschnitt III.6 wurden Linksysteme mit mehrfacher Zwischenleitungsführung (multilinkage) betrachtet. Mehrfache Zwischenleitungsführung bedeutet z. B. bei Systemen mit 4 Stufen, daß die Zahl der Linkblöcke in den Stufen 1 und 2 bzw. in den Stufen 3 und 4 kleiner ist als  $i_3$  bzw.  $k_2$  (vgl. dazu Gleichung 25 und 26 im Abschnitt "Strukturen"). Dies bedeutet wiederum, daß von einem Koppelvielfach in Stufe 2  $l_{2,3} > 1$  Zwischenleitungen zu einem Linkblock in den Stufen 3 und 4 führen (siehe auch Bild 3-6 im Abschnitt III.6.1) und entsprechenderweise, daß von einem Koppelvielfach der Stufe 3 mehr als 1 Zwischenleitung zu einem Linkblock in den Stufen 1 und 2 führen.

Im Gegensatz dazu besteht im Falle  $l_{2,3} < 1$  nicht die Möglichkeit, von jedem Koppelvielfach der Stufe 2 über eine Zwischenleitung zu einem Linkblock in den Stufen 3 und 4 zu gelangen, bzw. von einem Koppelvielfach in Stufe 3 zu einem Linkblock in den Stufen 1 und 2. Es gehören deshalb nur  $\bar{k}_1 < k_1$  Zwischenleitungen zum Verbindungsgraphen vom Start- zum Zielkoppelvielfach (siehe Bild 6-1).

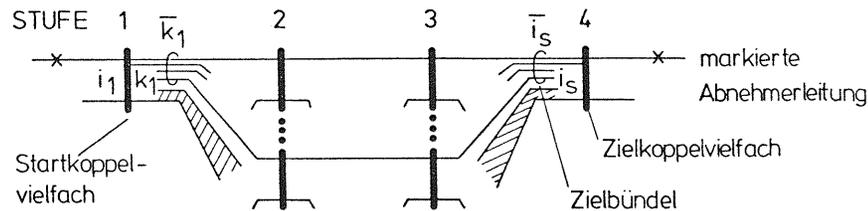


Bild 6-1: Unterteilter Verbindungsgraph

Ein eintreffender Ruf hat in einem solchen Linksystem nicht die Möglichkeit, über alle  $k_1$  Ausgänge des Startkoppelvielfachs einen Weg zum markierten Zielkoppelvielfach zu finden. Vielmehr kann nur über  $\bar{k}_1 < k_1$  Ausgänge eine Durchschaltung erfolgen. Dies bedeutet jedoch, daß die effektive Erreichbarkeit wesentlich ein-

geschränkt ist gegenüber einem Linksystem mit einfacher oder gar mehrfacher Zwischenleitungsführung, wo alle  $k_1$  Ausgänge für eine Durchschaltung in Frage kommen.

In gleicher Weise besteht das Zielbündel, d. h. jene Eingangsleitungen zum Zielkoppelvielfach, die vom Startkoppelvielfach her erreichbar sind, nicht aus  $i_S$  Leitungen, sondern nur aus  $\bar{i}_S < i_S$  Leitungen.

VI.1.2 Momentane Blockierung

Da in den in diesem Abschnitt betrachteten Linksystemen das Zielbündel nur aus  $\bar{i}_S$  Leitungen besteht, berechnet man die Sperrwahrscheinlichkeit ebenfalls bezüglich  $\bar{i}_S$  Leitungen. Unter der Annahme, daß momentan im Startkoppelvielfach  $\bar{x}_1$  Leitungen und im Zielkoppelvielfach  $\bar{x}_S$  Leitungen belegt seien, gilt in Anlehnung an Gleichung 2.6 für die Sperrwahrscheinlichkeit:

$$c(\bar{x}_S, k_{\text{eff}}(\bar{x}_1)) = \frac{\binom{\bar{i}_S - k_{\text{eff}}(\bar{x}_1)}{\bar{x}_S - k_{\text{eff}}(\bar{x}_1)} \binom{\bar{x}_S}{k_{\text{eff}}(\bar{x}_1)}}{\binom{\bar{i}_S}{\bar{x}_S} \binom{\bar{i}_S}{k_{\text{eff}}(\bar{x}_1)}} \quad (6.1)$$

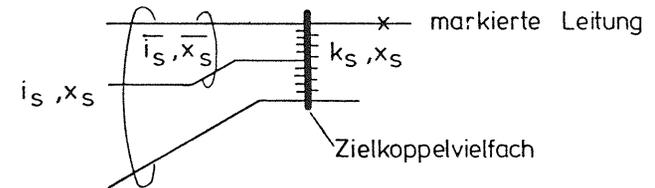


Bild 6-2: Zielkoppelvielfach mit unterteiltem Verbindungsgraphen

Bild 6-2 zeigt noch einmal das betrachtete Zielkoppelvielfach. Je nachdem, wie die Abnehmerbündel an das Linksystem angeschlossen sind (SDM oder TDM-Beschaltung), wird für die Ausgänge des Zielkoppelvielfachs eine Verteilung der Zustandswahrscheinlichkeiten nach Erlang (Gleichung 2.9) oder nach Bernoulli (Gleichung 2.11) verwendet.

Im Zustand  $\{x_S\}$ , d. h.  $x_S$  Belegungen existieren auf dem Zielkoppelvielfach, gibt es insgesamt  $\binom{i_S}{x_S}$  Muster, wie sich diese Belegungen auf den  $i_S$  Leitungen verteilen können.

Weiterhin seien  $\bar{x}_S$  von den  $\bar{i}_S$  Leitungen belegt, dann gibt es analogerweise  $\binom{\bar{i}_S}{\bar{x}_S}$  Muster, wie sich diese  $\bar{x}_S$  Belegungen verteilen können. Betrachtet man die restlichen  $(x_S - \bar{x}_S)$  Belegungen, so gibt es für diese  $\binom{i_S - \bar{i}_S}{x_S - \bar{x}_S}$  mögliche Muster.

Mit diesen Überlegungen ergibt sich also die Wahrscheinlichkeit  $p(\bar{x}_S, x_S)$  zu

$$p(\bar{x}_S, x_S) = p(x_S) \cdot \frac{\binom{\bar{i}_S}{\bar{x}_S} \binom{i_S - \bar{i}_S}{x_S - \bar{x}_S}}{\binom{i_S}{x_S}} \quad (6.2)$$

Die momentane Blockierung bei Punkt-Punkt-Markierung erhält man, indem man alle Sperrwahrscheinlichkeiten gewichtet mit  $p(\bar{x}_S, x_S)$  aufsummiert (genau wie in Abschnitt II.4.2)

$$E_{\text{mom}}(\bar{x}_1) = \frac{1}{(1-p(k_S))} \sum_{\bar{x}_S=0}^{\bar{i}_S-1} \sum_{x_S=0}^{i_S-1} p(\bar{x}_S, x_S) \cdot c(\bar{x}_S, k_{\text{eff}}(\bar{x}_1)) \quad (6.3)$$

Der Faktor  $1/(1-p(k_S))$  drückt die Tatsache aus, daß im Zustand  $\{k_S\}$ , wenn alle Ausgänge des Zielkoppelvielfachs belegt sind, keine Markierung mehr vorgenommen wird; somit trägt dieser Zustand auch nichts zur momentanen Blockierung bei.

VI.1.3 Punkt-Punkt-Verlust bei Zufallsverkehr 1. und 2. Art

Wie aus Bild 6-1 hervorgeht, so muß bei der Berechnung des Punkt-Punkt-Verlusts berücksichtigt werden, daß im Startkoppelvielfach nicht über alle  $k_1$  Ausgänge, sondern nur über  $\bar{k}_1 < k_1$  Ausgänge eine Verbindung zum gewünschten Zielkoppelvielfach durchgeschaltet werden kann. Deshalb wird auch für das Startkoppelvielfach - analog zum Zielkoppelvielfach - eine Wahrscheinlichkeit  $p(\bar{x}_1, x_1)$  eingeführt:

$$p(\bar{x}_1, x_1) = p(x_1) \cdot \frac{\binom{\bar{k}_1}{\bar{x}_1} \cdot \binom{k_1 - \bar{k}_1}{x_1 - \bar{x}_1}}{\binom{k_1}{x_1}} \quad (6.4)$$

Je nach Art des Zufallsverkehrs wird für  $p(x_1)$  eine Erlang-Verteilung oder eine Bernoulli-Verteilung verwendet (siehe dazu die Gleichungen 2.18, 2.19 bzw. 2.24).

Somit ergibt sich für den Punkt-Punkt-Verlust in Anlehnung an Gleichung 2.16 für abgeschnittenen Zufallsverkehr 1. Art:

$$B_{\text{PP}}(\text{ZV1}) = \frac{1}{(1-p(i_1))} \sum_{\bar{x}_1=0}^{\bar{k}_1-1} \sum_{x_1=0}^{i_1-1} p(\bar{x}_1, x_1) \cdot E_{\text{mom}}(\bar{x}_1) \quad (6.5)$$

In Anlehnung an Gleichung 2.22 erhält man für Zufallsverkehr 2. Art:

$$B_{\text{PP}}(\text{ZV2}) = \sum_{\bar{x}_1=0}^{\bar{k}_1-1} \sum_{x_1=0}^{i_1-1} \frac{i_1 - x_1}{i_1 - y_1} \cdot p(\bar{x}_1, x_1) \cdot E_{\text{mom}}(\bar{x}_1) \quad (6.6)$$

### VI.1.4 Effektive Erreichbarkeit

#### VI.1.4.1 Linkssysteme mit 3 Stufen

$$\text{Term A} = (\bar{k}_1 - \bar{x}_1) \cdot (1 - y_2/k_2) \quad (6.7)$$

Term A gibt an, wieviele freie Eingänge des Zielkoppelvielfachs im Mittel vom Startkoppelvielfach her erreicht werden können, wenn  $\bar{x}_1$  (von  $x_1$ ) Ausgänge des Startkoppelvielfachs momentan belegt sind. Maximal sind dies, wenn das System gänzlich unbelastet ist,  $\bar{k}_1$  Eingänge.

$$\text{Term B} = \bar{x}_1 / (g_3 \cdot \bar{k}_1 / k_1) \quad (6.8)$$

Term B umfaßt den Bruchteil der  $\bar{x}_1$  belegten Ausgänge des Startkoppelvielfachs, über die im Mittel eine Verbindung zum Zielkoppelvielfach durchgeschaltet ist. Mit dem Faktor  $\bar{k}_1/k_1$  wird die Tatsache berücksichtigt, daß jede der  $x_1$  Belegungen nicht zu einem beliebigen der  $g_3$  Zielkoppelvielfache führen kann, sondern jede nur zu einem aus  $g_3 \cdot \bar{k}_1/k_1$  Zielkoppelvielfachen (daher rührt der Ausdruck "unterteilter Verbindungsgraph). Dadurch wird der Term B größer.

$$\text{Term C} = (\bar{k}_1 - \bar{x}_1) \cdot y_2/k_2 \quad (6.9)$$

Term C schließlich steht für die Anzahl belegter Ausgänge von Koppelvielfachen in der Stufe 2, die einerseits momentan über freie Eingänge des Startkoppelvielfachs erreicht werden können, und über die andererseits eine Verbindung zum Zielkoppelvielfach durchgeschaltet ist.

Man erkennt aus den 3 Gleichungen 6.7 bis 6.9, daß beim Übergang  $\bar{k}_1 + k_1$  und  $\bar{i}_S + i_S$  wieder die Gleichungen 3.1 bis 3.3 entstehen.

#### VI.1.4.2 Linkssysteme mit 4 Stufen

$$\text{Term A} = (\bar{k}_1 - \bar{x}_1) \cdot (1 - y_2/k_2) \cdot (1 - y_3/k_3) \quad (6.10)$$

$$\text{Term B} = \bar{x}_1 / (g_4 \cdot \bar{k}_1 / k_1) \quad (6.11)$$

$$\text{Term C} = (\bar{k}_1 - \bar{x}_1) \cdot y_2 / (g_4 \cdot \bar{k}_1 / k_1) \quad (6.12)$$

$$\text{Term D}_1 = (\bar{k}_1 - \bar{x}_1) \cdot i_1/k_1 \cdot (1 - y_2/k_2) \cdot y_3/k_3 \quad (6.13)$$

$$\text{Term D}_2 = (\bar{k}_1 - \bar{x}_1) \cdot (1 - i_1/k_1) \cdot (1 - y_2/k_2) \cdot (y_3/k_3) \cdot y_3/k_3 \quad (6.14)$$

Die Terme A bis  $D_2$  haben dieselbe Bedeutung wie bereits in Abschnitt III.3 erläutert wurde. Was zuvor bei 3-stufigen Systemen bezüglich des Faktors  $\bar{k}_1/k_1$  gesagt wurde, gilt hier bei 4-stufigen Systemen entsprechend bei Term B und C.

Für die beiden Teilterme  $D_1$  und  $D_2$  wurde hier eine kleine Änderung vorgenommen, was die Aufspaltung betrifft. In der Gleichung 3.9 lautete der erste Faktor des Terms  $D_1$  ( $i_1 - x_1$ ), entsprechend müßte er hier  $\bar{i}_1 - \bar{x}_1$  heißen. Da aber bei den hier betrachteten Systemen durchaus der Fall eintreten könnte, daß  $\bar{x}_1$  größer wird als  $\bar{i}_1 = i_1 \cdot \bar{k}_1/k_1$ , könnte der Term  $D_1$  negativ werden. Daher wurde der in Gleichung 6.13 und 6.14 angeführten Form der Vorzug gegeben. Man erkennt, daß bei engen Systemen ( $i_1 = k_1$ ) der Term  $D_2$  verschwindet, wie es auch bei Systemen mit einfacher oder mehrfacher Zwischenleitungsführung der Fall ist.

VI.2 Linksysteme mit mehr als 4 Stufen

Bei Linksystemen mit mehr als 4 Stufen tritt der Fall, daß nicht über alle  $k_1$  Ausgänge des Startkoppelvielfachs bzw. über alle  $i_s$  Eingänge des Zielkoppelvielfachs eine gewünschte Verbindung durchgeschaltet werden kann, nicht ein. Vielmehr ist es so, daß nur in der zweiten und in der vorletzten Stufe nicht alle Ausgänge eines Koppelvielfachs Teil eines Verbindungsgraphen sind. Aus diesem Grunde ist es nicht erforderlich, die Größen  $\bar{k}_1$  und  $\bar{i}_s$  einzuführen. Die effektive Erreichbarkeit berechnet sich z. B. bei 6-stufigen Systemen gemäß den Gleichungen 3.57 bis 3.60. Die Größe  $l_{3,4}$ , die dort bei den betrachteten Systemen mit mehrfacher Zwischenleitungsführung den Wert  $>1$  hat, ist hier  $<1$ . Der weitere Rechengang bleibt dann gleich, wie es in den vorangegangenen Abschnitten dargelegt wurde.

VII. LINKSYSTEME MIT SPIEGELSYMMETRISCHEM VERBINDUNGSGRAPHEN

VII.1 Allgemeines

In Linksystemen mit 5 und mehr Stufen, die einfache Zwischenleitungsführung aufweisen, gibt es die Möglichkeit, die Verdrahtung von der mittleren bis zur vorletzten Stufe auf 2 Arten durchzuführen (vgl. dazu Bilder 5a,b im Abschnitt "Strukturen"), nämlich - "interleaved" bzw. ausgekreuzt oder - spiegelsymmetrisch.

Während sich die effektive Erreichbarkeit bei der ersten Art gemäß den in Abschnitt III.4 und III.5 aufgelisteten Formeln berechnet, muß man bei der spiegelsymmetrischen Verdrahtung eine zusätzliche Modellvorstellung heranziehen. Dies wird nun anhand eines 5-stufigen Linksystems erläutert.

Hinweis: Die nachfolgenden Betrachtungen gelten nur für Richtungswahlssysteme, die außer in der ersten Stufe sonst keine Aufweitung haben, und außer in der letzten Stufe auch keine Konzentration aufweisen. Für die betrachteten Linksysteme gilt also:

$$i_1 < k_1 \tag{7.1}$$

$$i_j = k_j, \quad j = 2, \dots, s-1 \tag{7.2}$$

$$i_s > k_s \tag{7.3}$$

VII.2 Gang der Rechnung

Bild 7-1 zeigt den Verbindungsgraphen eines 5-stufigen Linksystems mit spiegelsymmetrischem Verbindungsgraphen.

Stufe 1 2 3 4 5

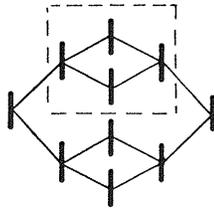


Bild 7-1: Spiegelsymmetrischer Verbindungsgraph eines 5-stufigen Linksystems

Die Zwischenleitungen, die von Stufe 2 über Stufe 3 nach Stufe 4 führen, sind gestrichelt umrandet. Man betrachtet nun diese Zwischenleitungen als Teil eines 3-stufigen "Kern"-Linksystems. Gesucht ist nun die Wahrscheinlichkeit  $E_{\text{Kern}}$ , daß man von einem Startkoppelvielfach in Stufe 2 nicht zum entsprechenden Zielkoppelvielfach in Stufe 4 gelangen kann. Die Wahrscheinlichkeit  $E_{\text{Kern}}$  schließt sowohl den Fall, daß alle  $i_4$  Eingänge (bzw. alle  $k_4=i_4$  Ausgänge) schon belegt sind, ein, als auch den Fall, daß man wegen innerer Blockierung zwischen Stufe 2 und Stufe 4 nicht zum entsprechenden Zielkoppelvielfach gelangen kann.

Analog zu Abschnitt III.2 (3-stufige Linksysteme) errechnet man die effektive Erreichbarkeit zu dem "Zielbündel", das hier aus  $i_4$  Leitungen besteht, nur mit dem Unterschied, daß man - zur Rechenzeitersparnis - nicht von einer momentanen, sondern von einer mittleren effektiven "Kern"-Erreichbarkeit  $k_{\text{eff K}}$  ausgeht (vgl. dazu die nachfolgenden Abschnitte VII.3 bis VII.6). Mit Hilfe der Sperrwahrscheinlichkeit (vgl. Abschnitt II.4.1) ergibt sich die Wahrscheinlichkeit  $E_{\text{Kern}}$  zu:

$$E_{\text{Kern}} = \sum_{x_4=0}^{i_4} p(x_4) \cdot \binom{x_4}{k_{\text{eff K}}} / \binom{i_4}{k_{\text{eff K}}} \quad (7.4)$$

Für die Wahrscheinlichkeit  $p(x_4)$ , d. h.  $x_4$  von  $i_4=k_4$  Zwischenleitungen belegt, wird eine Bernoulli-Verteilung verwendet, da jeder der von Stufe 4 nach Stufe 5 führenden Zwischenleitungen zu einem anderen Koppelvielfach der letzten Stufe führt, was einer SDM-Ver-

drahtung entspricht (vgl. dazu Bild 2-4 im Abschnitt II.4.2). Es gilt also:

$$p(x_4) = \binom{i_4}{x_4} \cdot (y_4/i_4)^{x_4} \cdot (1-y_4/i_4)^{i_4-x_4} \quad (7.5)$$

$y_4$  ist die Verkehrsbelastung des betrachteten Koppelvielfachs in Stufe 4.

Setzt man Gleichung 7.5 in Gleichung 7.4 ein, so ergibt sich nach einer algebraischen Umformung der sehr einfache Ausdruck für  $E_{\text{Kern}}$

$$E_{\text{Kern}} = (y_4/i_4)^{k_{\text{eff K}}} \quad (7.6)$$

Die Gegenwahrscheinlichkeit  $(1 - E_{\text{Kern}})$  entspricht der Durchlaßwahrscheinlichkeit von Stufe 2 nach Stufe 4. Unter Verwendung dieser Durchlaßwahrscheinlichkeit  $(1 - E_{\text{Kern}})$  kann aber nun der 5-stufige Verbindungsgraph auf einen 4-stufigen zurückgeführt werden. Das dazugehörige 4-stufige System, dessen Kurzschreibweise nachstehend angegeben ist, soll nun im folgenden als "Hauptsystem" bezeichnet werden.

$$\begin{array}{cccc} \frac{i_1 | k_1}{\frac{g_{l1}}{g_1}} & \frac{i_2 | k_2}{\frac{g_{l2}}{g_2}} & \frac{i_4 | k_4}{\frac{g_{l4}}{g_4}} & \frac{i_5 | k_5}{\frac{g_{l5}}{g_5}} \end{array}$$

Die effektive Erreichbarkeit für das eben genannte 4-stufige Hauptsystem berechnet man ähnlich den Gleichungen 3.5 bis 3.8 (effektive Erreichbarkeit für 4-stufige Linksysteme mit einfacher Zwischenleitungsführung). Es gilt:

$$\text{Term A} = (k_1 - x_1) \cdot (1 - E_{\text{Kern}}) \cdot (1 - y_4/k_4) \quad (7.7)$$

$$\text{Term B} = x_1/g_5 \quad (7.8)$$

$$\text{Term C} = (k_1 - x_1) \cdot E_{\text{Kern}}/k_4 \quad (7.9)$$

$$\text{Term D} = (k_1 - x_1) \cdot (1 - E_{\text{Kern}}) \cdot y_4 / k_4 \quad (7.10)$$

$$k_{\text{eff H}} = \text{Term A} + \text{Term B} + \text{Term C} + \text{Term D} \quad (7.11)$$

Formal wurde in den obigen Gleichungen  $y_2/k_2$  durch  $E_{\text{Kern}}$  ersetzt. Weiterhin ist anzumerken, daß auf die heuristische Anpassung der effektiven Erreichbarkeit durch Aufspalten des letzten Terms D verzichtet wurde (vgl. dazu Gleichungen 3.9 und 3.10), da dies bei derartigen Systemen mit spiegelsymmetrischer Verdrahtung, d. h. ohne "interleaving", zu einer Überschätzung des Verlustes führen würde. Mit Hilfe der effektiven Erreichbarkeit  $k_{\text{eff H}}$  wird nun ein Punkt-Punkt-Verlust  $B_{\text{pp}}$  bestimmt, wie es in Abschnitt II erläutert ist.

Bei 6-stufigen Linkssystemen bildet ein 4-stufiges System das Kernsystem (siehe Abschnitt VII.4). Die Durchlaßwahrscheinlichkeit  $(1 - E_{\text{Kern}})$  erstreckt sich dann von Stufe 2 auf Stufe 5; somit kann ein 6-stufiges Linkssystem auf ein 4-stufiges Hauptssystem zurückgeführt werden.

Bei 7- und 8-stufigen Linkssystemen geschieht die Rückführung auf ein 4-stufiges Hauptssystem in 2 Schritten. Man berechnet zunächst das 3- bzw. 4-stufige Innenkernsystem, mit dessen Hilfe ein 7- bzw. 8-stufiges Linkssystem auf ein 6-stufiges Zwischensystem zurückgeführt wird. In einem 2. Schritt erfolgt dann die Rückführung des 6-stufigen Zwischensystems auf ein 4-stufiges Hauptssystem.

Allgemein lauten die Terme für die effektive Erreichbarkeit für ein 4-stufiges Hauptsystem, das aus einem S-stufigen Linkssystem entstanden ist ( $S = 5, 6, 7, 8$ ):

$$\text{Term A} = (k_1 - x_1) \cdot (1 - E_{\text{Kern}}) \cdot (1 - y_{S-1} / k_{S-1}) \quad (7.12)$$

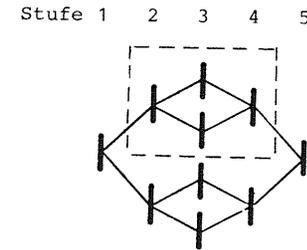
$$\text{Term B} = x_1 / g_S \quad (7.13)$$

$$\text{Term C} = (k_1 - x_1) \cdot E_{\text{Kern}} / k_{S-1} \quad (7.14)$$

$$\text{Term D} = (k_1 - x_1) \cdot (1 - E_{\text{Kern}}) \cdot y_{S-1} / k_{S-1} \quad (7.15)$$

$$k_{\text{eff H}} = \text{Term A} + \text{Term B} + \text{Term C} + \text{Term D} \quad (7.16)$$

### VII.3 Spiegelsymmetrische 5-stufige Linkssysteme mit einfacher Zwischenleitungsführung



*Bild 7-2: Spiegelsymmetrischer Verbindungsgraph eines 5-stufigen Linkssystems mit einfacher Zwischenleitungsführung*

Das gestrichelt umrandete 3-stufige Kernsystem (Stufen 2, 3 und 4) hat folgende Kurzschreibweise:

$$\begin{array}{ccc} i_2 | k_2 & i_3 | k_3 & i_4 | k_4 \\ i_3 & k_2 (= i_4) & k_3 \end{array}$$

Die effektive Erreichbarkeit für dieses 3-stufige Kernsystem errechnet sich in Analogie zu den Gleichungen 3.1 bis 3.3 (effektive Erreichbarkeit für 3-stufige Linkssysteme mit einfacher Zwischenleitungsführung)

$$\text{Term A} = (k_2 - y_2) \cdot (1 - y_3 / k_3) \quad (7.17)$$

$$\text{Term B} = y_2 / k_3 \quad (7.18)$$

$$\text{Term C} = (k_2 - y_2) \cdot y_3 / k_3 \quad (7.19)$$

Durch Addition der 3 Terme ergibt sich in gewohnter Weise die effektive Erreichbarkeit:

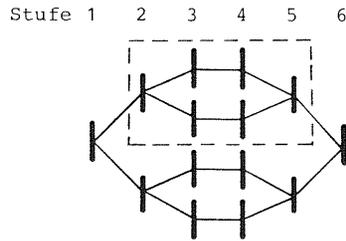
$$k_{\text{eff K}} = \text{Term A} + \text{Term B} + \text{Term C} \quad (7.20)$$

Somit ist (vgl. Gleichungen 7.4 bis 7.6)

$$E_{\text{Kern}} = (y_4/i_4)^{k_{\text{eff K}}} \quad (7.21)$$

Der weitere Gang der Rechnung ist bereits in Abschnitt VII.2 beschrieben.

VII.4 Spiegelsymmetrische 6-stufige Linkssysteme mit einfacher Zwischenleitungsführung



*Bild 7-3: Spiegelsymmetrischer Verbindungsgraph eines 6-stufigen Linksystems mit einfacher Zwischenleitungsführung*

Das gestrichelt umrandete Kernsystem besteht aus 4 Stufen und hat folgende Kurzschreibweise:

$\frac{i_2   k_2}{i_3}$	$\frac{i_3   k_3}{k_2 (= i_5)}$	$\frac{i_4   k_4}{i_5 (= k_2)}$	$\frac{i_5   k_5}{k_4}$
=====	=====	=====	=====
$i_3 \cdot i_4$	$i_4 \cdot i_5$	$k_2 \cdot k_3$	$k_3 \cdot k_4$

In Analogie zu den Gleichungen 3.5 bis 3.8 (effektive Erreichbarkeit für 4-stufige Linkssysteme mit einfacher Zwischenleitungsführung) gilt hier:

$$\text{Term A} = (k_2 - y_2) \cdot (1 - y_3/k_3) \cdot (1 - y_4/k_4) \quad (7.22)$$

$$\text{Term B} = y_2 / (k_3 \cdot k_4) \quad (7.23)$$

$$\text{Term C} = (k_2 - y_2) \cdot y_3 / (k_3 \cdot k_4) \quad (7.24)$$

$$\text{Term D} = (k_2 - y_2) \cdot (1 - y_3/k_3) \cdot y_4 / k_4 \quad (7.25)$$

Eine Aufspaltung des Term D ist hier irrelevant, da laut Voraussetzung (siehe Gleichung 7.2)  $i_2 = k_2$  gilt. Es ergibt sich also für die effektive Erreichbarkeit des Kernsystems:

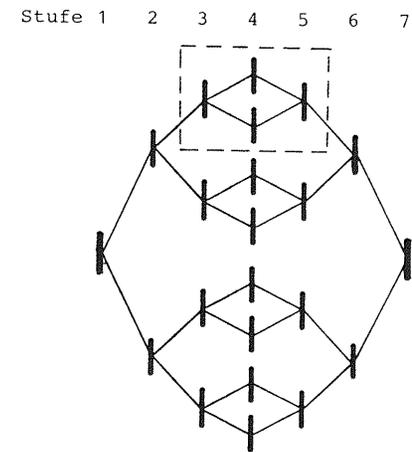
$$k_{\text{eff K}} = \text{Term A} + \text{Term B} + \text{Term C} + \text{Term D} \quad (7.26)$$

Somit ist

$$E_{\text{Kern}} = (y_5/i_5)^{k_{\text{eff K}}} \quad (7.27)$$

Der weitere Gang der Rechnung ist bereits in Abschnitt VII.2 beschrieben.

VII.5 Spiegelsymmetrische 7-stufige Linkssysteme mit einfacher Zwischenleitungsführung



*Bild 7-4: Spiegelsymmetrischer Verbindungsgraph eines 7-stufigen Linksystems mit einfacher Zwischenleitungsführung*

Wie in Abschnitt VII.2 erwähnt, erfolgt die Rückführung eines 7-stufigen Linksystems über ein 6-stufiges Zwischensystem in ein 4-stufiges Hauptssystem. Das Innenkernsystem (in Bild 7-4 gestrichelt umrandet) besteht aus 3 Stufen (Stufen 3, 4 und 5) mit folgender Kurzschreibweise:

$$\frac{i_3 | k_3}{i_4} \quad \frac{i_4 | k_4}{k_3 (=i_5)} \quad \frac{i_5 | k_5}{k_4}$$

In Analogie zu Abschnitt VII.3 (Gleichungen 7.17 bis 7.20) ergibt sich für die effektive Erreichbarkeit beim Innenkernsystem (die Indices sind um 1 erhöht):

$$\text{Term A} = (k_3 - y_3) \cdot (1 - y_4 / k_4) \quad (7.28)$$

$$\text{Term B} = y_3 / k_4 \quad (7.29)$$

$$\text{Term C} = (k_3 - y_3) \cdot y_4 / k_4 \quad (7.30)$$

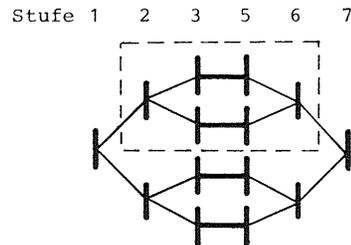
Durch Addition der drei Terme ergibt sich:

$$k_{\text{eff IK}} = \text{Term A} + \text{Term B} + \text{Term C} \quad (7.31)$$

Somit ist wiederum

$$E_{\text{IK}} = (y_5 / i_5) k_{\text{eff IK}} \quad (7.32)$$

Als nächstes wird nun das 6-stufige Zwischensystem betrachtet.



**Bild 7-5:** Spiegelsymmetrischer Verbindungsgraph eines 6-stufigen Zwischensystems mit einfacher Zwischenleitungsführung

Das 4-stufige Mittelkernsystem (im obigen Bild gestrichelt umrandet) hat folgende Kurzschreibweise:

$$\frac{i_2 | k_2}{i_3} \quad \frac{i_3 | k_3}{k_2 (=i_6)} \quad \frac{i_5 | k_5}{i_6 (=k_2)} \quad \frac{i_6 | k_6}{k_5}$$

$$\frac{i_3 \cdot i_5}{i_5 \cdot i_6} \quad \frac{i_5 \cdot i_6}{k_2 \cdot k_3} \quad \frac{k_2 \cdot k_3}{k_3 \cdot k_5}$$

Die Terme für die effektive Erreichbarkeit sind nachfolgend aufgelistet:

$$\text{Term A} = (k_2 - y_2) \cdot (1 - E_{\text{IK}}) \cdot (1 - y_5 / k_5) \quad (7.33)$$

$$\text{Term B} = y_2 / (k_3 \cdot k_5) \quad (7.34)$$

$$\text{Term C} = (k_2 - y_2) \cdot E_{\text{IK}} / k_5 \quad (7.35)$$

$$\text{Term D} = (k_2 - y_2) \cdot (1 - E_{\text{IK}}) \cdot y_5 / k_5 \quad (7.36)$$

$$k_{\text{eff MK}} = \text{Term A} + \text{Term B} + \text{Term C} + \text{Term D} \quad (7.37)$$

Somit erhält man

$$E_{\text{MK}} = (y_6 / i_6) k_{\text{eff MK}} \quad (7.38)$$

Die in obiger Gleichung bestimmte Größe  $E_{\text{MK}}$  wird nun in die Terme für die effektive Erreichbarkeit (Gleichungen 7.12 bis 7.16) für das 4-stufige Hauptssystem eingesetzt.

VII.6 Spiegelsymmetrische 8-stufige Linksysteme mit einfacher Zwischenleitungsführung

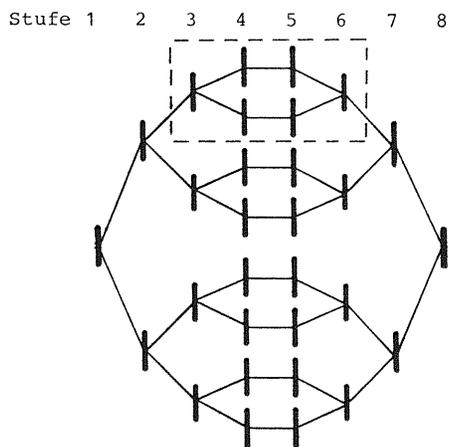


Bild 7-6: Spiegelsymmetrischer Verbindungsgraph eines 8-stufigen Linksystems mit einfacher Zwischenleitungsführung

In gleicher Weise wie im vorigen Abschnitt VII.5 erfolgt die Rückführung eines 8-stufigen Linksystems über ein 6-stufiges Zwischensystem in ein 4-stufiges Hauptsystem. Das Innenkernsystem (in Bild 7-6 gestrichelt umrandet) besteht aus 4 Stufen (Stufen 3 bis 6). Die Kurzschreibweise lautet:

$$\begin{array}{cccc}
 \frac{i_3 | k_3}{i_4} & \frac{i_4 | k_4}{k_3 (=i_6)} & \frac{i_5 | k_5}{i_6 (=k_3)} & \frac{i_6 | k_6}{k_5} \\
 ===== & ===== & ===== & ===== \\
 i_4 \cdot i_5 & i_5 \cdot i_6 & k_3 \cdot k_4 & k_4 \cdot k_5
 \end{array}$$

Für das Innenkernsystem ist die effektive Erreichbarkeit durch nachfolgend Gleichungen bestimmt:

$$\text{Term A} = (k_3 - y_3) \cdot (1 - y_4/k_4) \cdot (1 - y_5/k_5) \quad (7.39)$$

$$\text{Term B} = y_3 / (k_4 \cdot k_5) \quad (7.40)$$

$$\text{Term C} = (k_3 - y_3) \cdot y_4 / (k_4 \cdot k_5) \quad (7.41)$$

$$\text{Term D} = (k_3 - y_3) \cdot (1 - y_4/k_4) \cdot y_5 / k_5 \quad (7.42)$$

$$k_{\text{eff IK}} = \text{Term A} + \text{Term B} + \text{Term C} + \text{Term D} \quad (7.43)$$

Somit ist wiederum

$$E_{\text{IK}} = (y_6 / i_6)^{k_{\text{eff IK}}} \quad (7.44)$$

Das nachstehende Bild zeigt das 6-stufige Zwischensystem.

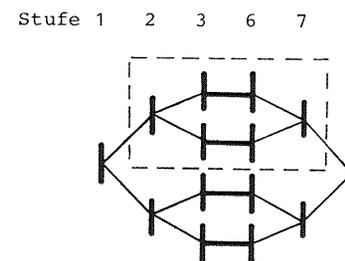


Bild 7-7: Spiegelsymmetrischer Verbindungsgraph eines 6-stufigen Zwischensystems mit einfacher Zwischenleitungsführung

Das 4-stufige Mittelkernsystem (im obigen Bild gestrichelt eingezeichnet) hat folgende Kurzschreibweise:

$$\begin{array}{cccc}
 \frac{i_2 | k_2}{i_3} & \frac{i_3 | k_3}{k_2 (=i_7)} & \frac{i_6 | k_6}{i_7 (=k_2)} & \frac{i_7 | k_7}{k_6} \\
 ===== & ===== & ===== & ===== \\
 i_3 \cdot i_6 & i_6 \cdot i_7 & k_2 \cdot k_3 & k_3 \cdot k_6
 \end{array}$$

Für die effektive Erreichbarkeit gelten nachstehende Gleichungen (in Analogie zu den Gleichungen 7.33 bis 7.38 im Abschnitt VII.5)

$$\text{Term A} = (k_2 - y_2) \cdot (1 - E_{\text{IK}}) \cdot (1 - y_6/k_6) \quad (7.45)$$

$$\text{Term B} = y_2 / (k_3 \cdot k_6) \quad (7.46)$$

$$\text{Term C} = (k_2 - y_2) \cdot E_{\text{IK}} / k_6 \quad (7.47)$$

$$\text{Term D} = (k_2 - y_2) \cdot (1 - E_{IK}) \cdot y_6 / k_6 \quad (7.48)$$

$$k_{\text{eff MK}} = \text{Term A} + \text{Term B} + \text{Term C} + \text{Term D} \quad (7.49)$$

Damit ist nun

$$E_{MK} = (y_7 / i_7)^{k_{\text{eff MK}}} \quad (7.50)$$

Die nun gefundene Größe  $E_{MK}$  wird in die Terme für die effektive Erreichbarkeit (Gleichung 7.12 bis 7.16) für das 4-stufige Hauptsystem eingesetzt.

## VIII. ERGEBNISSE DER NÄHERUNGSRECHNUNG PPL BZW. PPLM

### VIII.1 Allgemeines

In den vorhergegangenen Abschnitten wurden die Näherungsverfahren PPL und PPLM für die Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit in Linksystemen mit einfacher und mehrfacher Punkt-Punkt-Markierung vorgestellt. Um nun die Güte dieser Näherungsverfahren unter Beweis zu stellen, wird in diesem Abschnitt ein Vergleich zwischen Simulation und Rechnung anhand zahlreicher Diagramme vorgenommen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden etwa 200 Linksysteme untersucht. Eine kleine Auswahl hiervon wird nachfolgend vorgestellt.

Die Simulation wurde nach dem Verfahren der Ruf- und Löschnummen durchgeführt. Die Zwischenleitungen waren geordnet aufgelegt wie im Abschnitt "Strukturen" angegeben. Die Absuche der Zwischenleitungen erfolgte in allen Stufen geordnet von Nullstellung (GN). Zusätzlich wurde, um den Einfluß eines weiteren Absuchmodus festzustellen, auch geordnet von zufälliger Anfangsstellung (GZ) abgesehen; dies allerdings nur in der 1. Stufe.

In den folgenden Diagrammen ist jeweils der Punkt-Punkt-Verlust  $B_{PP}$  bzw.  $B_{PPM}$  über der Verkehrsbelastung pro Eingang Y/N aufgetragen. Die Ergebnisse der Näherungsverfahren PPL bzw. PPLM (Rechenwerte) sind als eine durchgezogene Linie dargestellt. Die Simulationsergebnisse sind zusammen mit ihrem Vertrauensintervall bei einer statistischen Aussagesicherheit von 95% /19/ als Kreis für geordnetes Absuchen von Nullstellung (GN) und als Kreuz für geordnetes Absuchen mit zufälliger Anfangsstellung in der 1. Stufe (GZ) gezeichnet. Pro Simulationsergebnis wurden 100 000 Rufe durchgeführt.

Die untersuchten Linksysteme sind mit einer 3-stelligen Kennziffer versehen, wobei die erste Ziffer die Stufenzahl angibt. Die restlichen beiden Ziffern dienen der fortlaufenden Numerierung.

## VIII.2 Richtungswahlssysteme mit einfacher Punkt-Punkt-Markierung

### VIII.2.1 Systeme mit einfacher Zwischenleitungsführung

Bild 8-1 zeigt drei 3-stufige Systeme, L 301, L 302 und L 303, mit angebotenen abgeschnittenem Zufallsverkehr 1. Art. Die Ausgänge hinter der letzten Stufe sind in 10 Bündeln zu je 10 Leitungen zusammengefaßt, gemäß der Raumvielfachbeschaltungsart (SDM, vgl. dazu den Abschnitt II.4.2). Man sieht, daß die Rechnung sehr gut mit den Simulationswerten bei geordnetem Absuchen mit zufälliger Anfangsstellung (GZ) übereinstimmt, was auch den Annahmen bei der Näherungsrechnung entspricht. Weiterhin ist ersichtlich, daß die Verlustwerte bei geordnetem Absuchen von Nullstellung (GN) beträchtlich günstiger liegen. Dies beruht auf der Tatsache, daß sich beim letzteren Absuchmodus GN die Belegungen vornehmlich auf die ersten Suchstellungen konzentrieren und dadurch den Verkehr "nach oben schieben" (englisch: push-up effect). Auf diese Weise ergeben sich günstigere Durchschaltmöglichkeiten, wenn Verkehrsspitzen auftreten. Diese verlustmindernde Wirkung tritt umso stärker hervor, je größer die Aufweitung  $k_1/i_1$  und je geringer die Verkehrsbelastung ist.

Einen Vergleich zwischen abgeschnittenem Zufallsverkehr 1. Art und Zufallsverkehr 2. Art ist in den beiden nächsten Diagrammen 8-2 und 8-3 zu sehen. Untersucht sind hier zwei 4-stufige Systeme, L 401 und L 402, deren Ausgänge hinter der letzten Stufe Bündel zu je 50 Leitungen bilden (SDM-Beschaltung). Hier liegen die Rechenergebnisse zwischen den Simulationswerten beim Absuchmodus GN und denen beim Absuchmodus GZ. Als Begründung hierfür ist anzuführen, daß die Näherungsrechnung nur den Mittelwert der Verkehrsbelastung zwischen Stufe 2 und Stufe 3 berücksichtigt, was bezüglich des Verlustes eine optimistische Annahme ist. Beim Vergleich von abgeschnittenem Zufallsverkehr 1. Art und Zufallsverkehr 2. Art erkennt man, daß letzterer - wie erwartet - weniger Verlust mit sich bringt; dies zeigt sich auch in der Rechnung.

Weitere drei 4-stufige Systeme, L 403, L 404 und L 405, zeigt das Diagramm 8-4. Angeboten ist hier abgeschnittener Zufallsverkehr 1. Art, die Bündelanschaltung ist gemäß Modus SDM in 100-er Bündeln. Die hier untersuchten Systeme weisen alle dieselbe Anzahl von Zwischenleitungen auf (1000), jedoch die Zahl der Ein- bzw. Ausgänge variiert von 500 bis 1000. Der Übersichtlichkeit halber sind im Diagramm nur Simulationswerte für geordnetes Absuchen von Nullstellung (GN) eingetragen. Auch bei diesen Systemen zeigt sich die gute Übereinstimmung zwischen Simulation und Rechnung.

Weiterhin läßt sich am Diagramm 8-4 sehr anschaulich die Verkehrsleistung von "weiten" Systemen mit  $k_1 > i_1$  darlegen. Bei gleicher Anzahl von Zwischenleitungen (1000) ergeben sich 310 Erlang für einen verlangten Punkt-Punkt-Verlust von 1% beim System L 403, während das System L 405 mit 390 Erlang (0,78·500) für denselben Verlustwert belastet werden darf. Dies ist also ein Beispiel, wo durch Reduzierung der Ein- bzw. der Ausgangsleitungen auf die Hälfte die Verkehrsleistung um 25% gesteigert werden kann. Betrachtet man den Koppelpunktebedarf pro Erlang CPE /31/, so schneidet das System L 405 mit CPE = 30000/380 pro Erlang = 78,9 pro Erlang noch günstiger ab als das System L 403 mit CPE = 129 pro Erlang.

Die nächsten drei 4-stufigen Systeme, L406, L 407 und L 408, in Diagramm 8-5 sind aus der Abbildung von PCM-Koppelanordnungen auf äquivalente Raumvielfachsysteme hervorgegangen. Die Koppelvielfache 30|30 entsprechen den bei solchen Systemen verwendeten Sprachspeichern (Zeitstufe), während die mittleren Koppelvielfache 2|2 bzw. 5|5 die Abbildungen der Torschaltungen (Raumstufe) darstellen. In diesem Beispiel bilden die 30 Ausgänge eines Koppelvielfachs der letzten Stufe jeweils ein Bündel; bei der Rechnung wird deshalb eine Erlang-Verteilung zugrundegelegt (TDM, vgl. dazu Abschnitt II.4.2).

Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang noch, daß die drei eben erwähnten Linksysteme L 406, L 407 und L 408 einen Verbindungsgrafen derselben Breite ( $k_1 = 30$ ) aufweisen. Im Unterschied zum Rechenverfahren nach C. Y. Lee /21/, berücksichtigt das hier in dieser Arbeit vorgestellte Verfahren u. a. auch die Größe des Linksystems, was - wie man an den Simulationsergebnissen sieht - einen nicht unerheblichen Einfluß hat.

In Diagramm 8-6 sind die zwei 5-stufigen Systeme L 501 und L 502 untersucht. Der angebotene Verkehr ist wieder abgeschnittener Zufallsverkehr 1. Art, der auf 5 Bündel zu je 50 Leitungen (SDM-Beschaltungsart) verteilt wird. Zu beachten ist hierbei, daß die Verdrahtung der Zwischenleitungen von Stufe 3 nach 4 von der Art "interleaved" ist (vgl. dazu Bild 5a im Abschnitt Strukturen). Der andere Fall ist im Diagramm 8-14 (für beide Linksysteme) zu sehen.

Die drei 6-stufigen Systeme L 601, L 602 und L 603 sind im Diagramm 8-7 gezeigt, mit abgeschnittenem Zufallsverkehr 1. Art und einer Bündelanschaltung von je 5 Bündeln à 64 Leitungen (SDM). Wie bei Systemen mit 4 und 5 Stufen, so liegt auch hier die Rechnung zwischen den Simulationswerten für geordnetes Absuchen von Nullstellung (GN) und denen für geordnetes Absuchen von zufälliger Anfangsstellung (GZ). Die Verdrahtung der Zwischenleitungen von Stufe 4 nach 5 ist "interleaved" (vgl. dazu Bild 8a im Abschnitt Strukturen). Das Diagramm 8-15 zeigt den anderen Fall (nach Bild 8b).

#### VIII.2.2 Systeme mit mehrfacher Zwischenleitungsführung

Am Beispiel des 4-stufigen Systems L 409 zeigt sich anhand der Diagramme 8-8a und 8-8b, welchen Einfluß die Verdrahtung der Zwischenleitungen von Stufe 2 nach Stufe 3 hat. Der angebotene Verkehr ist abgeschnittener Zufallsverkehr 1. Art, die Ausgänge hinter der letzten Stufe sind in 5 Bündel zu je 50 Leitungen zusammengefaßt. Wie zu erwarten ist, bringt die parallele Verdrahtung die höheren Verluste. In beiden Diagrammen ist zusätzlich als gestrichelte Linie die Rechenkurve des Systems L 410 eingetragen. Dieses Linksysteem weist ungefähr dieselbe Anzahl von Koppelpunkten auf (48,29 anstelle von 49 Koppelpunkten pro Leitung) und besitzt auch etwa gleich viele Ein- bzw. Ausgänge (252 statt 250) wie L 409; es hat jedoch einfache Zwischenleitungsführung und schneidet infolgedessen bei der Verlustwahrscheinlichkeit sehr viel günstiger ab.

Mehrfache Zwischenleitungsführung in allen Stufen ist in den nächsten beiden Diagrammen untersucht. Bild 8-9a zeigt die Verlustkurve bei paralleler Verdrahtung, Bild 8-9b die bei vermaschter Verdrahtung. Der angebotene Verkehr ist abgeschnittener Zufallsverkehr 1. Art; jeweils 50 Ausgänge bilden ein Bündel (SDM-Beschaltung). Zum Vergleich mit dem System L 411 ist die Rechenkurve für das System L 412 (einfache Zwischenleitungsführung und etwa gleich großer Koppelpunktebedarf) eingezeichnet. Hier zeigt sich noch deutlicher die Überlegenheit von Systemen mit einfacher Zwischenleitungsführung.

Als letztes Beispiel für mehrfache Zwischenleitungsführung ist in den Diagrammen 8-10a und 8-10b das System L413 dargestellt. Dieses System ist besonders koppelpunkteverschwenderisch, was sich darin ausdrückt, daß ein vergleichbares System mit einfacher Zwischenleitungsführung bei einer Belastung von 0,95 Erlang pro Eingangsleitung erst einen Verlust von 0,02% aufweist.

#### VIII.2.3 Systeme mit unterteiltem Verbindungsgraphen

Diagramm 8-11 zeigt das 3-stufige System L 304 mit unterteiltem Verbindungsgraphen (vgl. dazu Bild 2 im Abschnitt Strukturen). Die Breite des Verbindungsgraphen ist hier  $k_1/4 = 5$ . Die Berechnung der Verlustkurve erfolgte so, wie in Abschnitt VI beschrieben. Angeboten an das System ist Zufallsverkehr 1. Art, die Ausgänge sind in 10 Bündeln zu je 80 Leitungen zusammengefaßt.

Im Diagramm 8-12 ist das 4-stufige Linksysteem L 414 dargestellt. Die Bündelanschaltung besteht aus 5 Richtungen à 50 Leitungen, angeboten an das System ist abgeschnittener Zufallsverkehr 1. Art. Die Breite des unterteilten Verbindungsgraphen ist hier  $k_1/2 = 5$ . Auch hier zeigt sich, wie schon im vorigen Diagramm, eine sehr gute Übereinstimmung der Rechenkurve mit den simulierten Werten.

Wie in Abschnitt VI.2 erwähnt wurde, ist bei 6-stufigen Linksystemen der erhöhte Rechenaufwand nicht erforderlich, da hier die Unterteilung des Verbindungsgraphen erst in Stufe 2 auftritt, wo mit Mit-

telwerten gerechnet wird. Im Diagramm 8-13 ist die Verlustkurve des Systems L 604 zu sehen. Abgeschnittener Zufallsverkehr 1. Art ist angeboten, die Verdrahtung der Zwischenleitungen zwischen Stufe 4 und 5 ist gemäß dem Modus "interleaved". Die Ausgänge hinter der letzten Stufe führen in 4 Richtungen mit je 256 Leitungen. An diesem System stimmt die gerechnete Kurve besonders gut mit der Simulation im Absuchmodus GN überein.

#### VIII.2.4 Systeme mit spiegelsymmetrischem Verbindungsgraphen

Für Linkssysteme mit 5 Stufen und mehr gibt es 2 Arten von Verbindungsgraphen, spiegelsymmetrisch und ausgekreuzt ("interleaved"). Der Rechengang für die erstere Art wird in Abschnitt VII behandelt. Generell liegen hier die gerechneten Werte auf oder etwas über den Simulationswerten für geordnetes Absuchen von zufälliger Anfangsstellung (in Stufe 1).

Das Diagramm 8-14 zeigt die beiden 5-stufigen Linkssysteme L 501 und L 502. Zufallsverkehr 1. Art ist angeboten, die Bündelanschaltung besteht aus 5 Richtungen zu je 50 Leitungen. Durch einen Vergleich mit Diagramm 8-6 läßt sich feststellen, daß sowohl Simulationswerte wie auch Rechenwerte dort günstiger liegen.

Dasselbe gilt auch für die Linkssysteme L 601 und L 602. Der angebotene Verkehr ist wieder abgeschnittener Zufallsverkehr 1. Art, die Ausgänge hinter der letzten Stufe sind in 5 Richtungen zu je 64 Leitungen zusammengefaßt. Die Rechenkurve schert bei diesem System etwas, d. h. bei großen Belastungswerten liegt sie ein wenig unter der Simulation.

Auch für 7- und 8-stufige Systeme, soweit sie einen symmetrischen Verbindungsgraphen aufweisen, wurden Verlustkurven berechnet. Sie liegen leicht über den Simulationswerten für geordnetes Absuchen von zufälliger Anfangsstellung (GZ). Bei beiden gezeigten Systemen (Diagramme 8-15 und 8-16) ist abgeschnittener Zufallsverkehr 1. Art angeboten. Beim System L 701 bilden die Ausgänge 5 Richtungen à 125 Leitungen, beim System L 801 4 Richtungen à 256 Leitungen.

#### VIII.3 Richtungswahlssysteme mit mehrfacher Punkt-Punkt-Markierung

In Bild 8-18 ist die Verlustwahrscheinlichkeit  $B_{PPM}$  des Systems L 301 bei 1, 2 und 3 Markierversuchen aufgetragen über der Belastung pro Eingang Y/N. Der angebotene Verkehr ist Zufallsverkehr 2. Art, die Ausgänge hinter der letzten Stufe gliedern sich in 10 Bündel zu je 10 Leitungen (SDM-Beschaltung). Bei TDM-Beschaltung (vgl. Abschnitt II.4.2) wären mehrere Markierversuche sinnlos, da alle Leitungen eines Bündels nur an einem Koppelvielfach angeschlossen sind. Der Übersichtlichkeit halber sind im Diagramm nur die Simulationswerte mit geordnetem Absuchen von zufälliger Anfangsstellung (GZ) eingetragen, die bei 3-stufigen Systemen gut mit der Rechnung übereinstimmen (vgl. dazu die Bemerkung im Abschnitt VIII.2.1)

Im nächsten Diagramm 8-19 ist das 4-stufige System L 402 für 1, 2 und 3 Markierversuche untersucht. Dem System ist abgeschnittener Zufallsverkehr 1. Art angeboten, die Bündelaufteilung besteht in 10 Bündeln zu je 25 Leitungen. In der Simulation wurde gemäß Strategie C markiert (vgl. dazu Abschnitt IV.1), d. h. bei einem erneuten Markierversuch wird eine solche Leitung des in Frage kommenden Abnehmerbündels ausgewählt, welche sich an einem bisher noch nicht markierten Linkblock befindet. Auch hier zeigt sich die Güte der Rechenverfahren PPL und PPLM, denn die Rechenwerte liegen zwischen den Simulationspunkten für geordnetes Absuchen von Nullstellung und denen für geordnetes Absuchen von zufälliger Anfangsstellung.

Ein Beispiel für die Markierstrategie B findet sich im Diagramm 8-20. Für das 6-stufige System L 602 sind die Werte von Simulation und Rechnung bei 1, 2 und 4 Markierversuchen eingetragen, wobei der angebotene Verkehr abgeschnittener Zufallsverkehr 1. Art ist. Hinter der letzten Stufe sind 5 Bündel zu je 64 Leitungen angeschlossen. Man erkennt, daß die Rechenkurven für 2 und 4 Markierversuche bei geringer Belastung etwas unterhalb der Simulationspunkte liegen; der Grund liegt in der etwas ungünstigen Markierstrategie B (zufällige Auswahl einer neuen Leitung ohne Berücksichtigung der Linkblöcke, vgl. dazu Abschnitt IV.1)

Das letzte Diagramm in diesem Abschnitt beinhaltet den Fall der Punkt-Bündel-Markierung (vgl. Abschnitt II.2) beim System L 401. Hierbei wurde die Zahl der zugelassenen Markierversuche so groß gemacht, wie es Leitungen im betrachteten Abnehmerbündel gibt. Abweichend von den bisherigen Diagrammen ist im Diagramm 8-21 der Gesamtverlust (also einschließlich des Verlusts infolge Blockierung des Abnehmerbündels) aufgetragen. Zum Vergleich ist außerdem noch der Gesamtverlust eines voll erreichbaren Bündels mit 25 Leitungen eingezeichnet. Die punktiert-gestrichelte Linie stellt die Verlustkurve nach dem Rechenverfahren CLIGS / 3// 4/ für Punkt-Bündel-Markierung dar. Man erkennt eine geringfügige Abweichung von der Rechenkurve nach PPLM. Dies liegt darin begründet, daß die effektive Erreichbarkeit nach einer anderen Methode bestimmt wird. Anhand der beiden Diagramme zeigt sich, daß das Rechenverfahren PPLM auch für den Fall der Punkt-Bündel-Markierung gute Ergebnisse liefert, jedoch steigt die Rechenzeit im Vergleich zur Methode CLIGS unverhältnismäßig stark an.

#### VIII.4 Teilnehmerwahlssysteme mit ein- und mehrfacher Punkt-Punkt-Markierung

Im Diagramm 8-22 sind die Verlustwahrscheinlichkeiten des 3-stufigen Linksystems L 305 bei 1 und 5 Markierversuchen (Markierstrategie B) dargestellt. Das System besitzt 100 Eingänge und nur 50 Ausgänge, die in 5 Richtungen zu je 10 Leitungen führen. Angeboten ist Zufallsverkehr 2. Art. Wie bei 3-stufigen Richtungswahlssystemen, so zeigt sich auch hier, daß die Rechenkurven auf den Simulationswerten für geordnetes Absuchen mit zufälliger Anfangsstellung (GZ) liegen (vgl. dazu auch Diagramm 8-1).

Das Linksystem L 415 hat 1024 Eingänge und 250 Ausgänge, die sich in 10 Richtungen à 25 Leitungen verteilen (Diagramm 8-23). Eingezeichnet sind die Verlustkurven für 1 und 5 Markierversuche, wobei für letztere bei der Simulation die Markierstrategie C verwendet wurde. Der angebotene Verkehr ist Zufallsverkehr 2. Art.

Schließlich ist im Diagramm 8-24 das 6-stufige Linksystem L 605 dargestellt. 864 Eingängen stehen 256 Ausgänge gegenüber, die in 4 Bündel zu je 64 Leitungen gruppiert sind. Es sind 1, 2 und 5 Markierversuche durchgeführt, wobei (bei mehrfacher Markierung) die Markierstrategie derart verfährt, daß eine weitere freie Ausgangsleitung zunächst in einer anderen Linkblockgruppe gesucht wird, wo bisher noch nicht markiert wurde (Markierstrategie C'). Sodann erfolgt die weitere Suche gemäß Strategie C. Der angebotene Verkehr ist Zufallsverkehr 1. Art. Aus dem Diagramm erkennt man, daß die Verlustkurven bei niedriger Belastung zusammenkommen, dort wird die Verlustwahrscheinlichkeit im wesentlichen durch die Eingangsblokierung bestimmt. Die Zwischenblockierung hat speziell bei diesem System keinen so großen Einfluß.

Als Beispiel für eine Teilnehmerwahlstufe in Expansionsrichtung ist im Diagramm 8-25 das Linksystem L 416 gezeigt. Es besitzt 120 Eingänge und 500 Ausgänge (10 Richtungen zu je 50 Leitungen). Angeboten ist abgeschnittener Zufallsverkehr 1. Art. Es wird nur 1 Markierversuch durchgeführt. Für die Berechnung des Verlusts wird die in Abschnitt V.2 angegebene Gleichung 5.18 verwendet. Man sieht, daß auch im Fall der Expansion (mehr Ausgangs- als Eingangsleitungen) das Rechenverfahren PPL eine gute Übereinstimmung mit der Simulation zeigt.

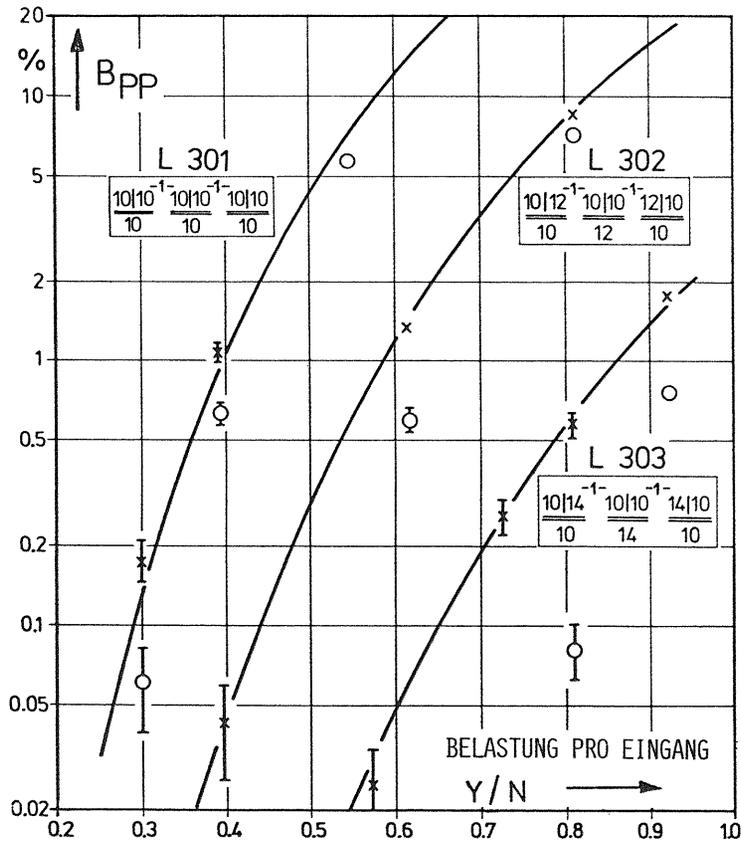


Diagramm 8-1: 3-stufige Linkssysteme L 301, L 302, L303 mit einfacher Zwischenleitungsführung und abgeschnittenem Zufallsverkehr 1. Art  
Richtungsaufteilung: 10 Bündel zu je 10 Leitungen (SDM-Verdrahtung)

Simulation:  $\circ$  Absuchmodus GN  
 $\times$  Absuchmodus GZ  
 PPL-Rechnung: —————

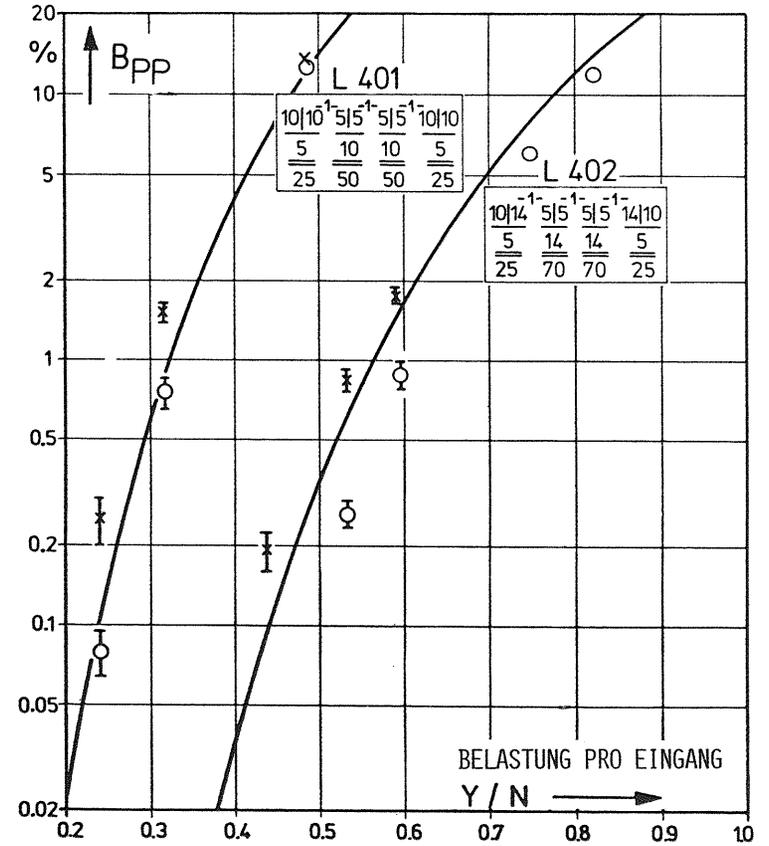


Diagramm 8-2: 4-stufige Linkssysteme L 401, L 402 mit einfacher Zwischenleitungsführung und abgeschnittenem Zufallsverkehr 1. Art  
Richtungsaufteilung: 5 Bündel zu je 50 Leitungen (SDM-Verdrahtung)

Simulation:  $\circ$  Absuchmodus GN  
 $\times$  Absuchmodus GZ  
 PPL-Rechnung: —————

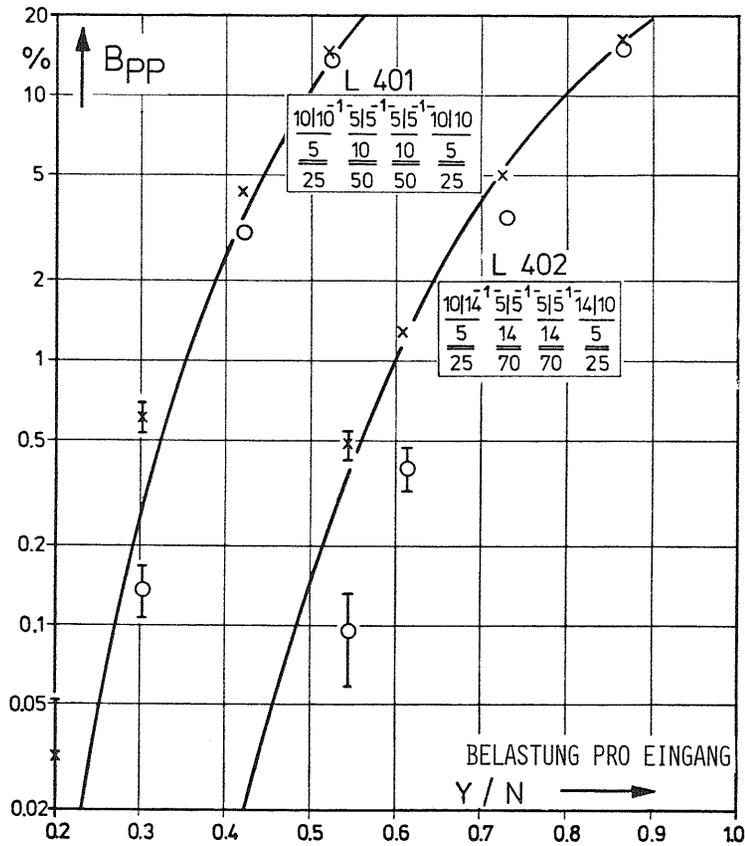


Diagramm 8-3: 4-stufige Linksysteme L 401, L 402 mit einfacher Zwischenleitungsführung und Zufallsverkehr 2. Art  
Richtungsaufteilung: 5 Bündel zu je 50 Leitungen (SDM-Verdrahtung)

Simulation:  $\circ$  Absuchmodus GN  
 $\times$  Absuchmodus GZ  
 PPL-Rechnung: —————

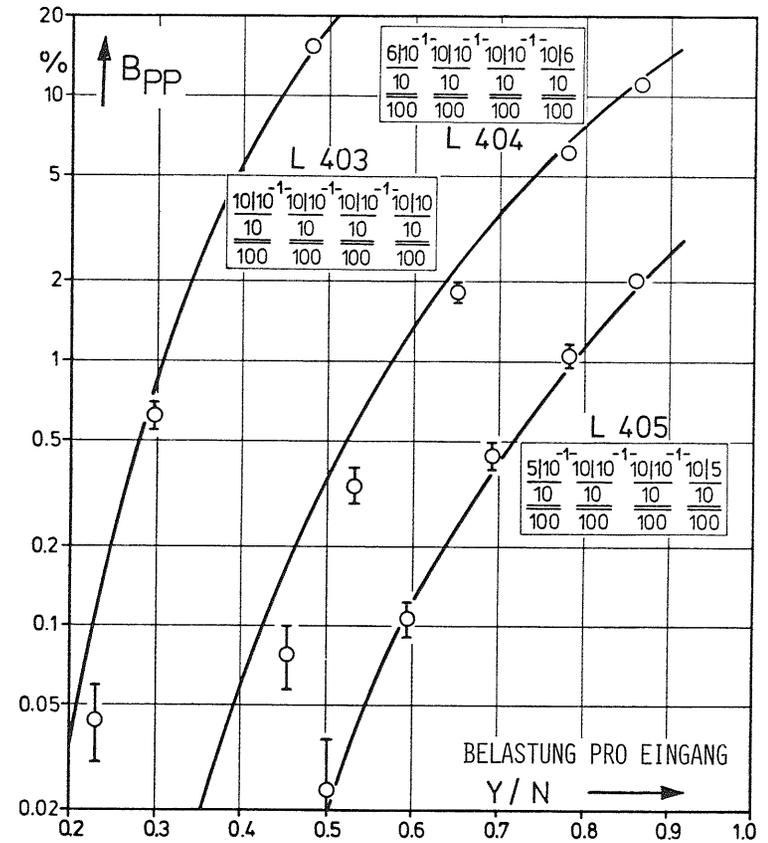


Diagramm 8-4: 4-stufige Linksysteme L 403, L 404, L 405 mit einfacher Zwischenleitungsführung und abgeschnittenem Zufallsverkehr 1. Art  
Richtungsaufteilung: Bündel zu je 100 Leitungen (SDM-Verdrahtung)

Simulation:  $\circ$  Absuchmodus GN  
 PPL-Rechnung: —————

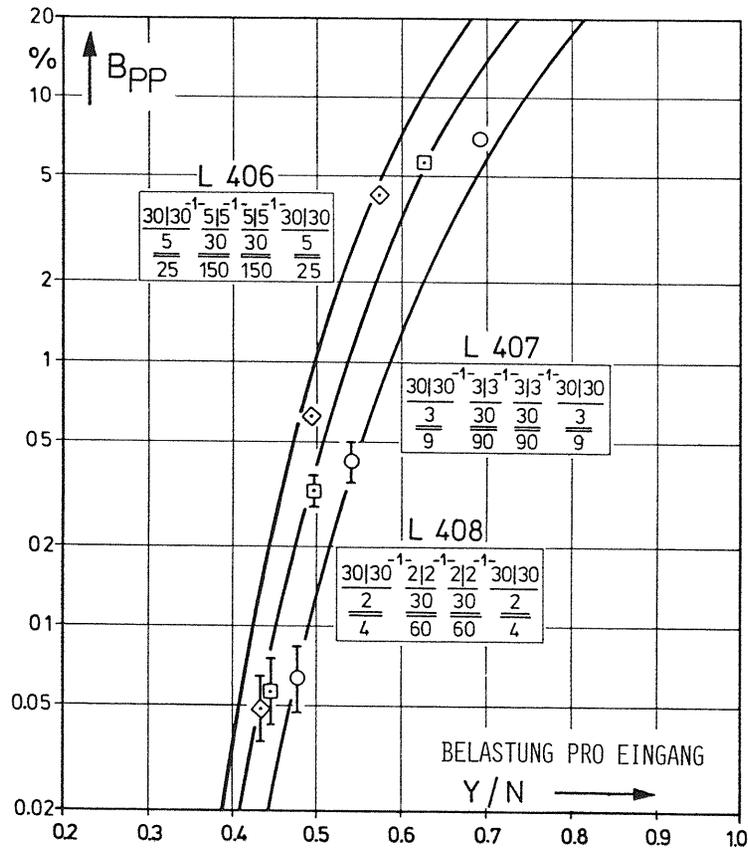


Diagramm 8-5: 4-stufige Linksysteme L 406, L 407, L 408 mit einfacher Zwischenleitungsführung und abgeschnittenem Zufallsverkehr 1. Art  
 Richtungsaufteilung: Bündel zu je 30 Leitungen (TDM-Verdrahtung)

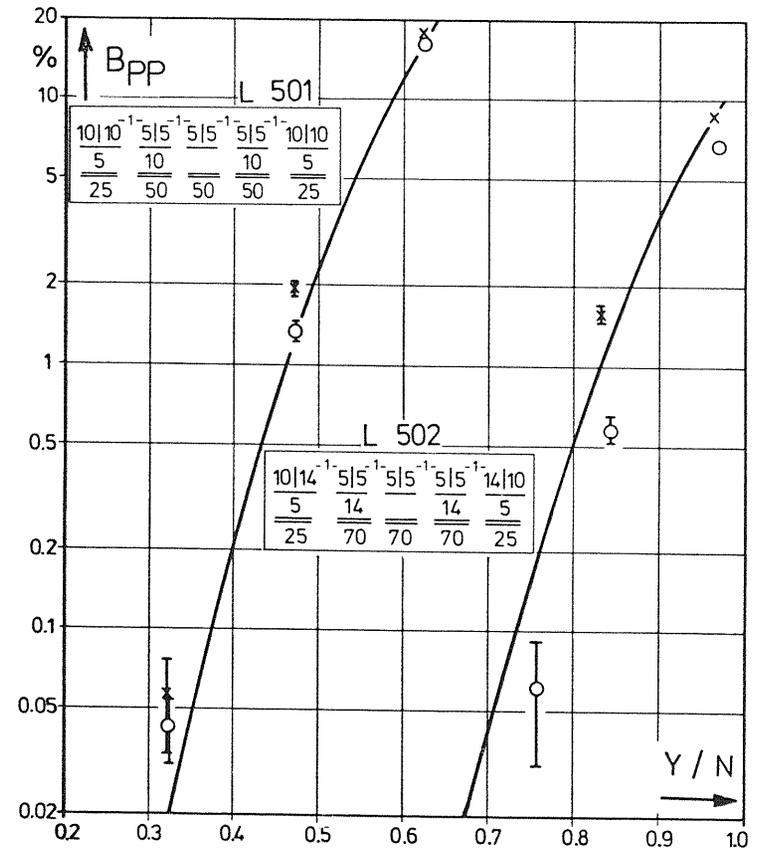


Diagramm 8-6: 5-stufige Linksysteme L 501, L 502 mit einfacher Zwischenleitungsführung ("interleaved" zwischen Stufe 3 und 4) und abgeschnittenem Zufallsverkehr 1. Art  
 Richtungsaufteilung: 5 Bündel zu je 50 Leitungen (SDM-Verdrahtung)

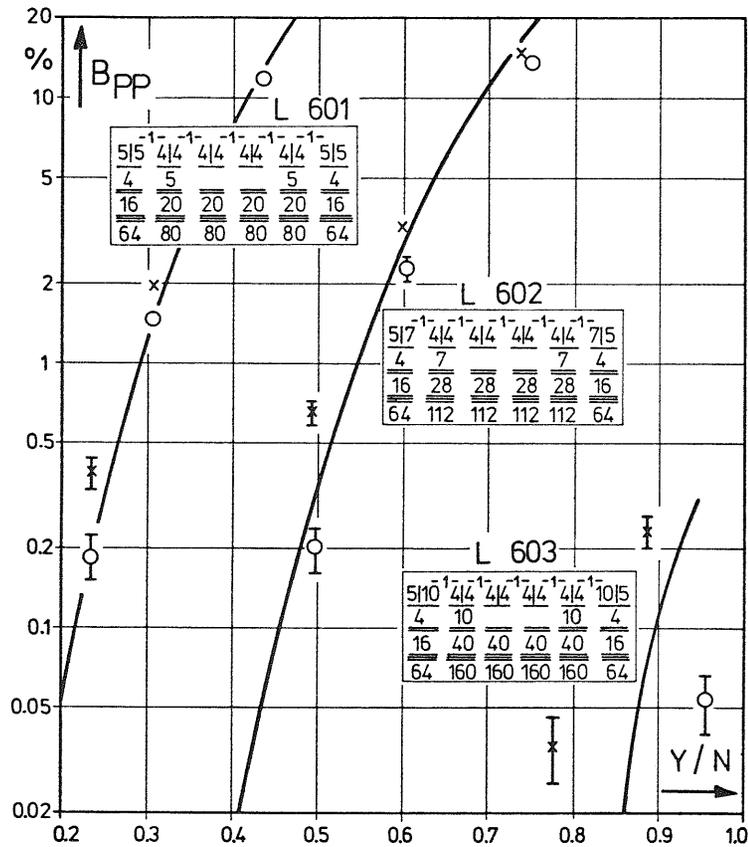


Diagramm 8-7: 6-stufige Linksysteme L 601, L 602, L 603 mit einfacher Zwischenleitungsführung ("interleaved" zwischen Stufe 4 und 5) und abgeschnittenem Zufallsverkehr 1. Art. Richtungsaufteilung: 5 Bündel zu je 64 Leitungen (SDM-Verdrahtung)

Simulation:  $\circ$  Absuchmodus GN  
 $\times$  Absuchmodus GZ

PPL-Rechnung: ———

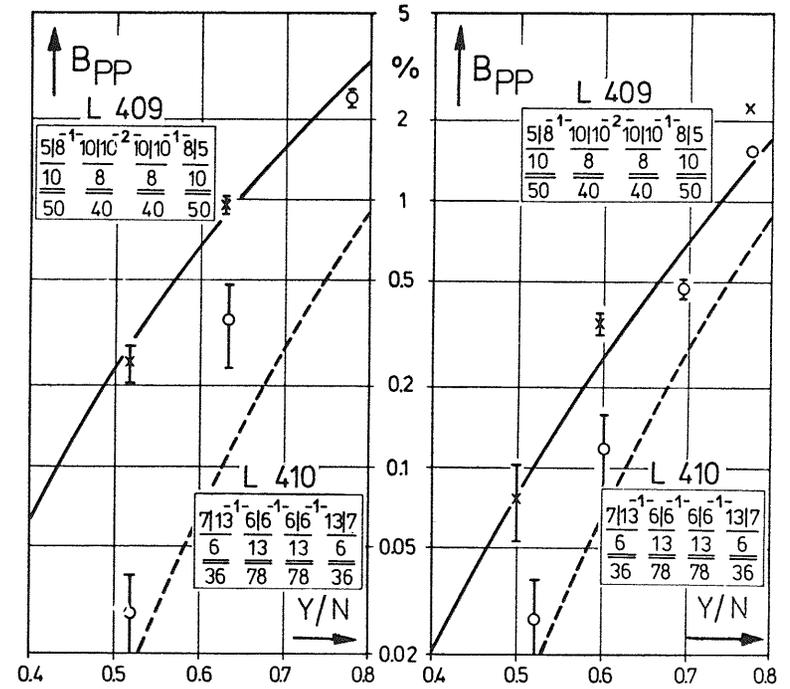


Diagramm 8-8a: Parallele Verdrahtung

Diagramm 8-8b: Vermaschte Verdrahtung

4-stufiges Linksystem L 409 mit mehrfacher Zwischenleitungsführung und abgeschnittenem Zufallsverkehr 1. Art. Richtungsaufteilung: 5 Bündel zu je 50 Leitungen (SDM-Verdrahtung)

Simulation:  $\circ$  Absuchmodus GN  
 $\times$  Absuchmodus GZ

PPL-Rechnung: ——— ursprüngliches System mit mehrfacher Zwischenleitungsführung (L 409)  
 - - - - - koppelpunkteäquivalentes System mit einfacher Zwischenleitungsführung (L 410)

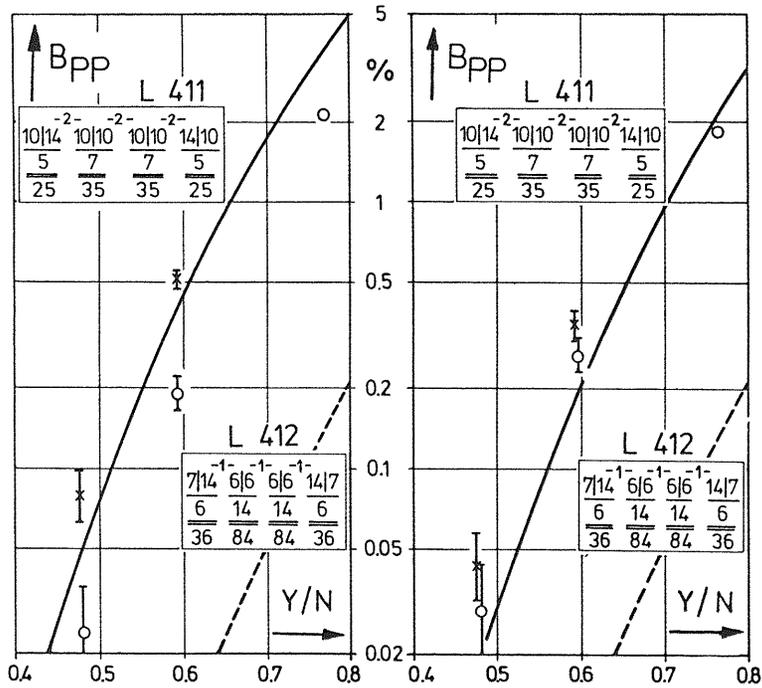


Diagramm 8-9a: Parallele Verdrahtung

Diagramm 8-9b: Vermaschte Verdrahtung

4-stufiges Linksystem L 411  
 mit mehrfacher Zwischenleitungsführung  
 und abgeschnittenem Zufallsverkehr 1. Art  
 Richtungsaufteilung: 5 Bündel zu je 50 Leitungen  
 (SDM-Verdrahtung)

Simulation:  $\circ$  Absuchmodus GN  
 $\times$  Absuchmodus GZ

PPL-Rechnung: ——— ursprüngliches System mit  
 mehrfacher Zwischenlei-  
 tungsführung (L 411)  
 - - - - - koppelunkteäquivalentes  
 System mit einfacher  
 Zwischenleitungsführung  
 (L 412)

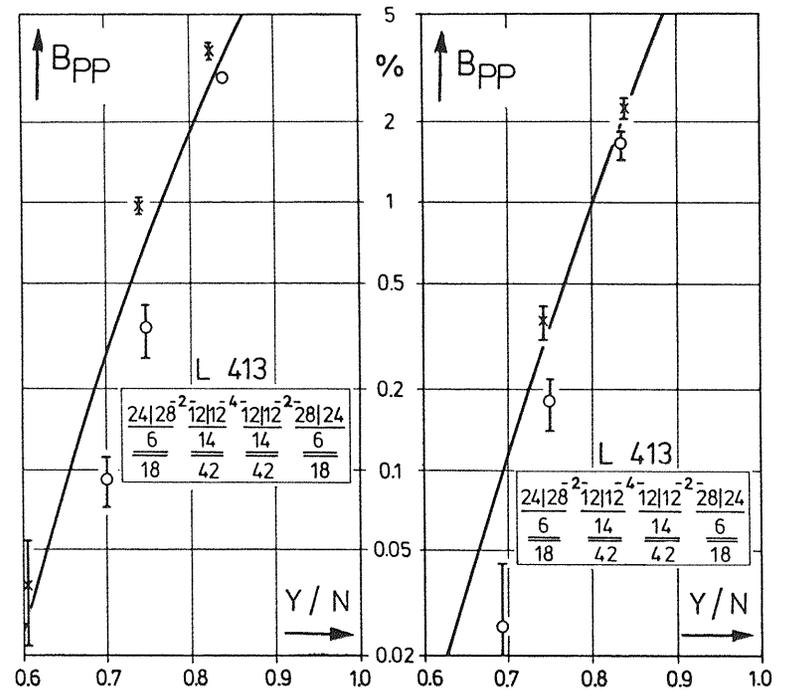


Diagramm 8-10a: Parallele Verdrahtung

Diagramm 8-10b: Vermaschte Verdrahtung

4-stufiges Linksystem L 413  
 mit mehrfacher Zwischenleitungsführung  
 und abgeschnittenem Zufallsverkehr 1. Art  
 Richtungsaufteilung: 1 Bündel mit 432 Leitungen

Simulation:  $\circ$  Absuchmodus GN  
 $\times$  Absuchmodus GZ

PPL-Rechnung: ———

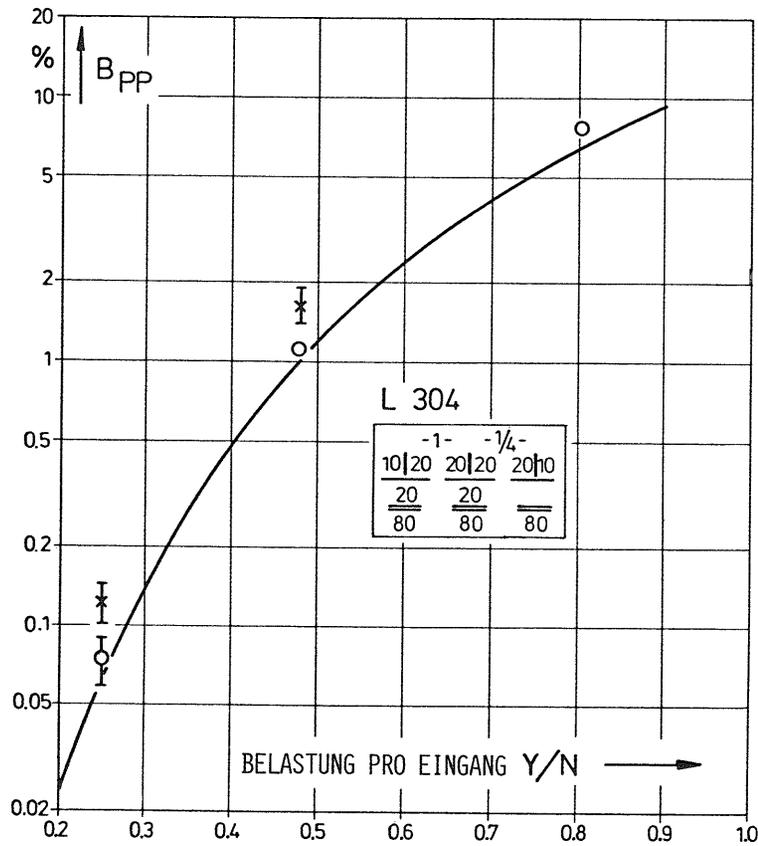


Diagramm 8-11: 3-stufiges Linkssystem L 304  
mit unterteiltem Verbindungsgraphen  $k_1/4=5$   
und abgeschnittenem Zufallsverkehr 1. Art  
Richtungsaufteilung: 10 Bündel zu je 80 Leitungen  
(SDM-Verdrahtung)

Simulation:  $\circ$  Absuchmodus GN  
 $\times$  Absuchmodus GZ

PPL-Rechnung: \_\_\_\_\_

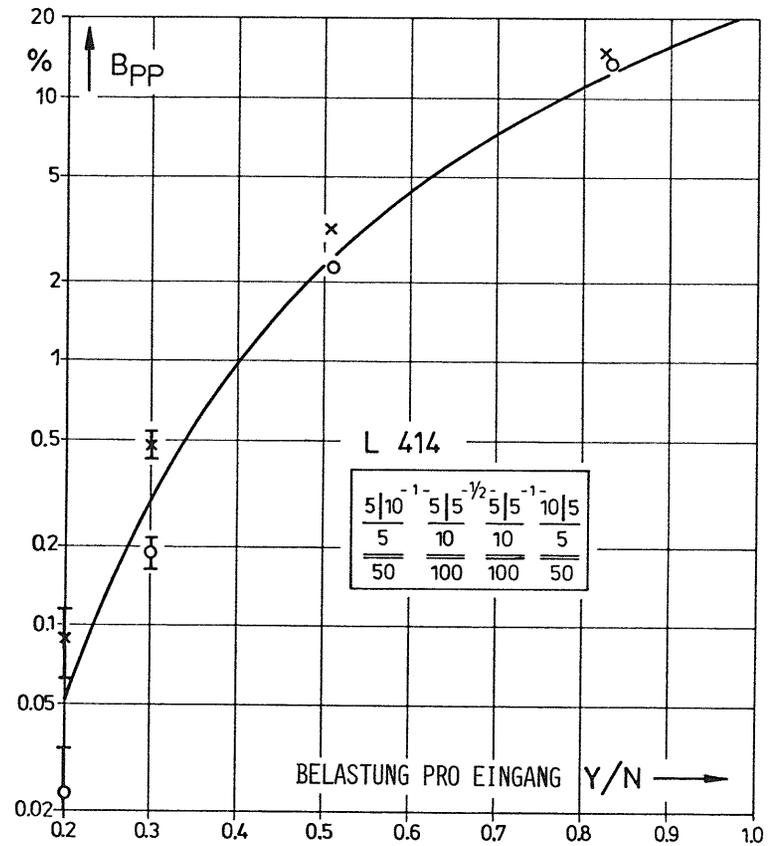


Diagramm 8-12: 4-stufiges Linkssystem L 414  
mit unterteiltem Verbindungsgraphen  $k_1/2=5$   
und abgeschnittenem Zufallsverkehr 1. Art  
Richtungsaufteilung: 5 Bündel zu je 50 Leitungen  
(SDM-Verdrahtung)

Simulation:  $\circ$  Absuchmodus GN  
 $\times$  Absuchmodus GZ

PPL-Rechnung: \_\_\_\_\_

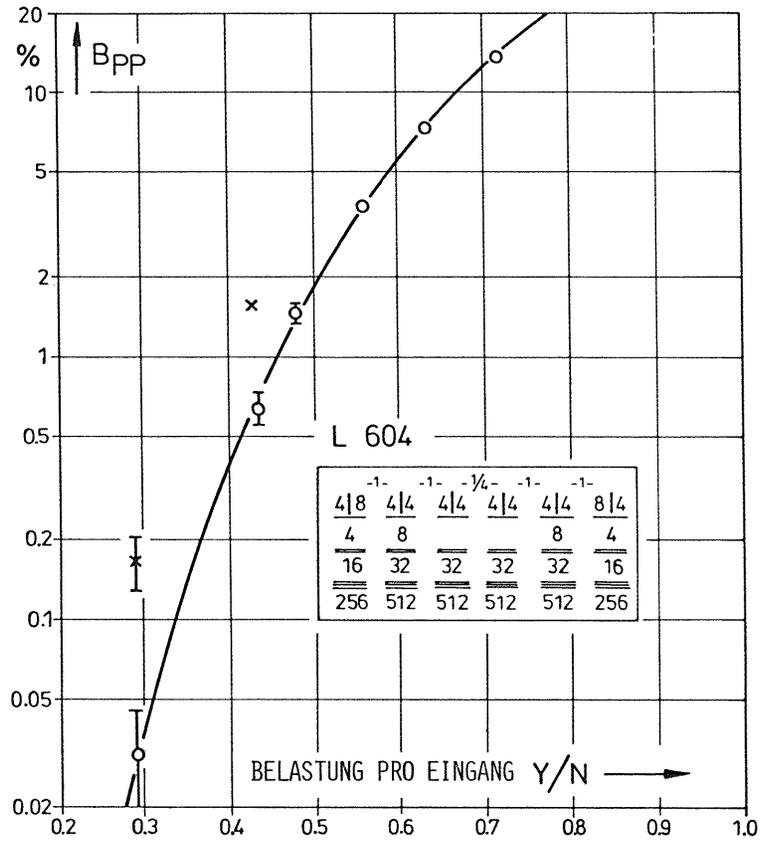


Diagramm 8-13: 6-stufiges Linkssystem L 604 mit unterteiltem Verbindungsgraphen und abgeschnittenem Zufallsverkehr 1. Art Zwischenleitungsführung zwischen Stufe 4 und 5 "interleaved". Richtungsaufteilung: 4 Bündel zu je 256 Leitungen.

Simulation:  $\circ$  Absuchmodus GN  
 $\times$  Absuchmodus GZ

PPL-Rechnung: \_\_\_\_\_

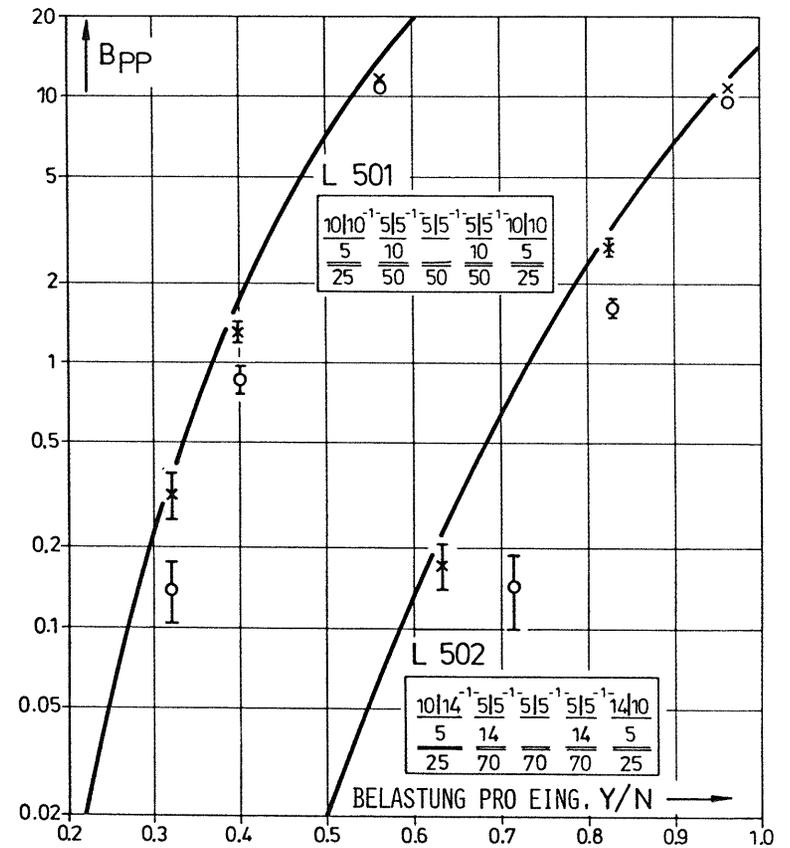


Diagramm 8-14: 5-stufige Linkssysteme L 501, L 502 mit einfacher Zwischenleitungsführung (spiegelsymmetrisch zwischen Stufe 4 und 5) und abgeschnittenem Zufallsverkehr 1. Art Richtungsaufteilung: 5 Bündel zu je 50 Leitungen.

Simulation:  $\circ$  Absuchmodus GN  
 $\times$  Absuchmodus GZ

PPL-Rechnung: \_\_\_\_\_

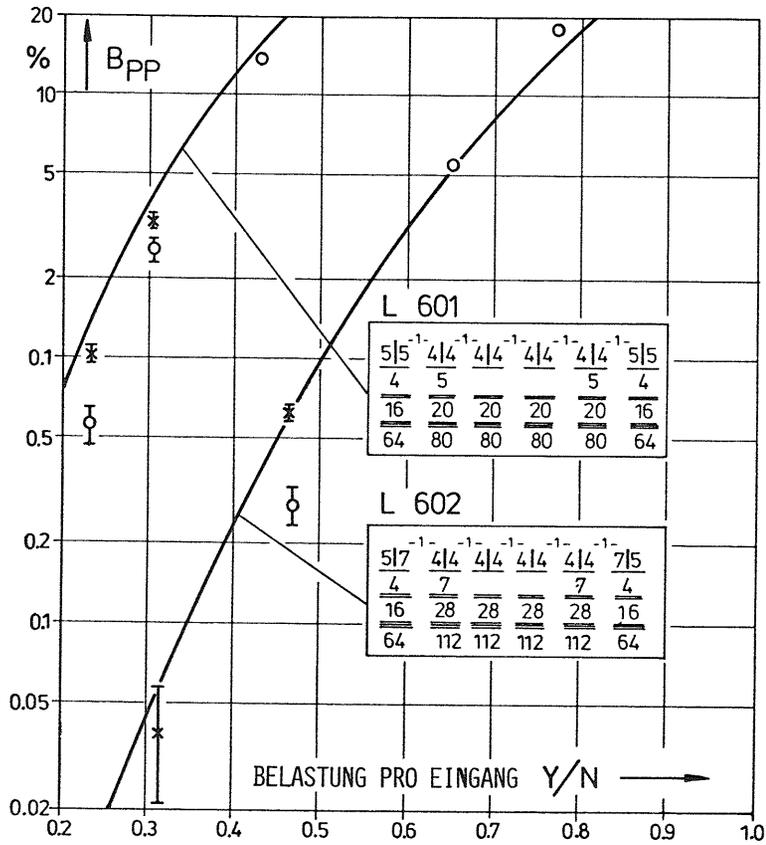


Diagramm 8-15: 6-stufige Linksysteme L 601, L 602 mit einfacher Zwischenleitungsführung (spiegelsymmetrisch zwischen Stufe 3 und 4) und abgeschnittenem Zufallsverkehr 1. Art  
Richtungsaufteilung: 5 Bündel zu je 64 Leitungen

Simulation:  $\circ$  Absuchmodus GN  
 $\times$  Absuchmodus GZ

PPL-Rechnung: \_\_\_\_\_

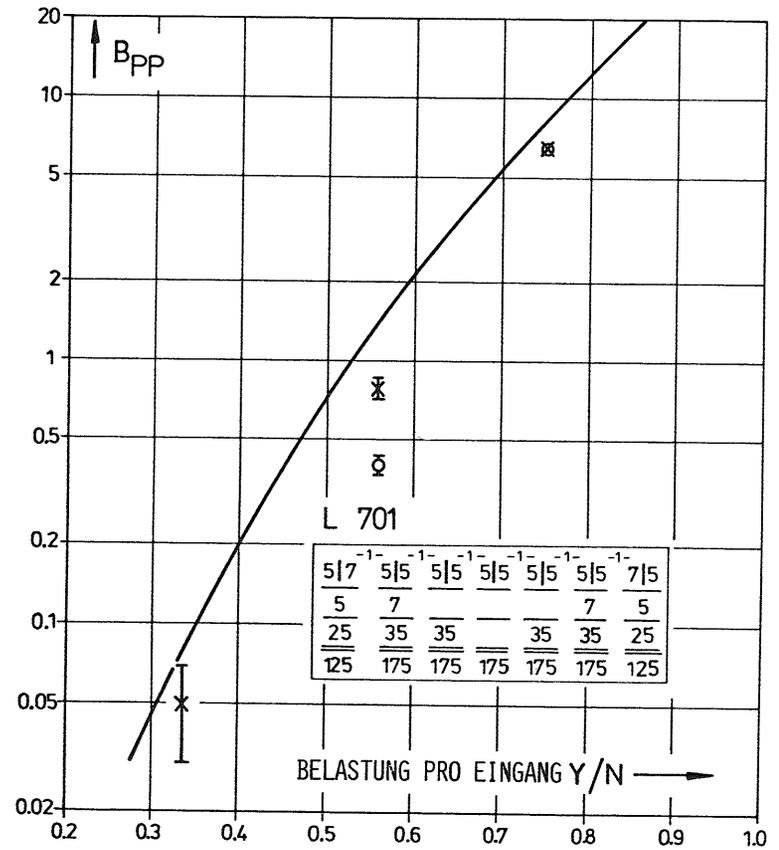


Diagramm 8-16: 7-stufiges Linksysteem L 701 mit einfacher Zwischenleitungsführung (spiegelsymmetrisch zwischen Stufe 4 und 5, sowie zwischen Stufe 5 und 6)  
Richtungsaufteilung: 5 Bündel zu je 125 Leitungen

Simulation:  $\circ$  Absuchmodus GN  
 $\times$  Absuchmodus GZ

PPL-Rechnung: \_\_\_\_\_



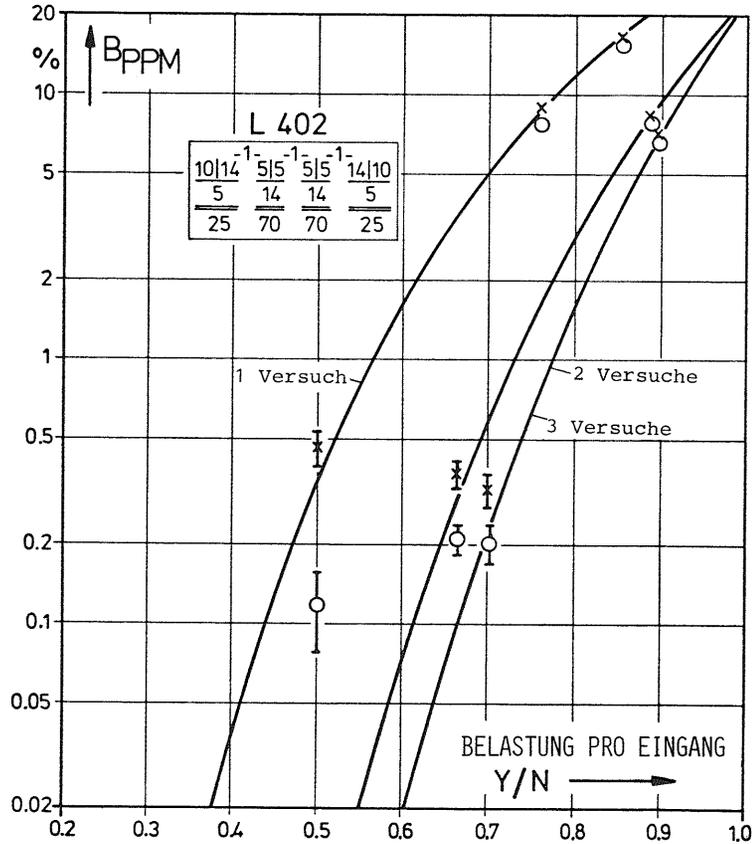


Diagramm 8-19: 4-stufiges Linksystem L 402 mit einfacher Zwischenleitungsführung und abgeschnittenem Zufallsverkehr 1. Art  
Zahl der Markierversuche: 1, 2, und 3  
Markierstrategie C  
Richtungsaufteilung: 10 Bündel zu je 25 Leitungen

Simulation:  $\circ$  Absuchmodus GN  
 $\times$  Absuchmodus GZ

PPL/PPLM-Rechnung: \_\_\_\_\_

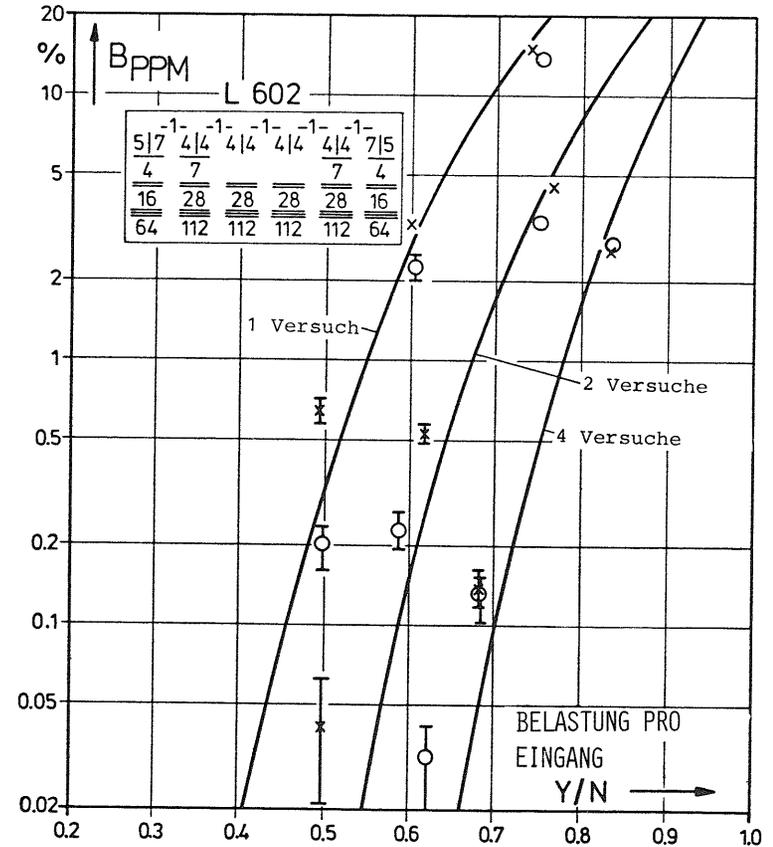


Diagramm 8-20: 6-stufiges Linksystem L 602 mit einfacher Zwischenleitungsführung ("interleaved" zwischen Stufe 4 und 5) und abgeschnittenem Zufallsverkehr 1. Art  
Zahl der Markierversuche: 1, 2, und 4  
Markierstrategie B  
Richtungsaufteilung: 5 Bündel zu je 64 Leitungen

Simulation:  $\circ$  Absuchmodus GN  
 $\times$  Absuchmodus GZ

PPL/PPLM-Rechnung: \_\_\_\_\_

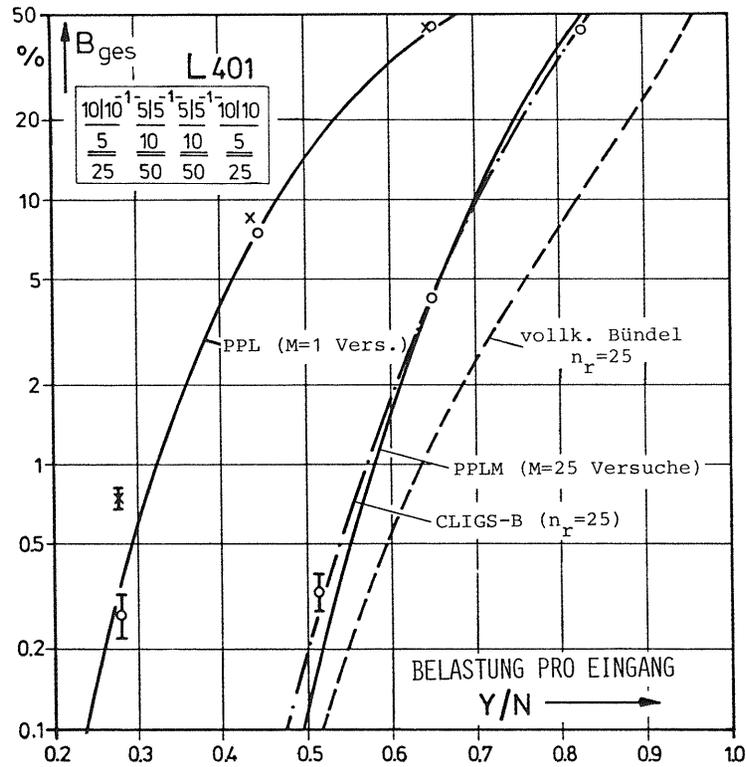


Diagramm 8-21: 4-stufiges Linksystem L 401  
mit einfacher Zwischenleitungsführung  
und abgeschnittenem Zufallsverkehr 1. Art  
Zahl der Markierversuche: 1 und 25  
Richtungsaufteilung: 10 Bündel zu je 25 Leitungen

Simulation:  $\circ$  Absuchmodus GN  
 $\times$  Absuchmodus GZ

PPL/PPLM - Rechnung: —————

CLIGS-B Rechnung: - - - - -

voll erreichbares Bündel: - - - - -  $n_r=25$  Ltg.

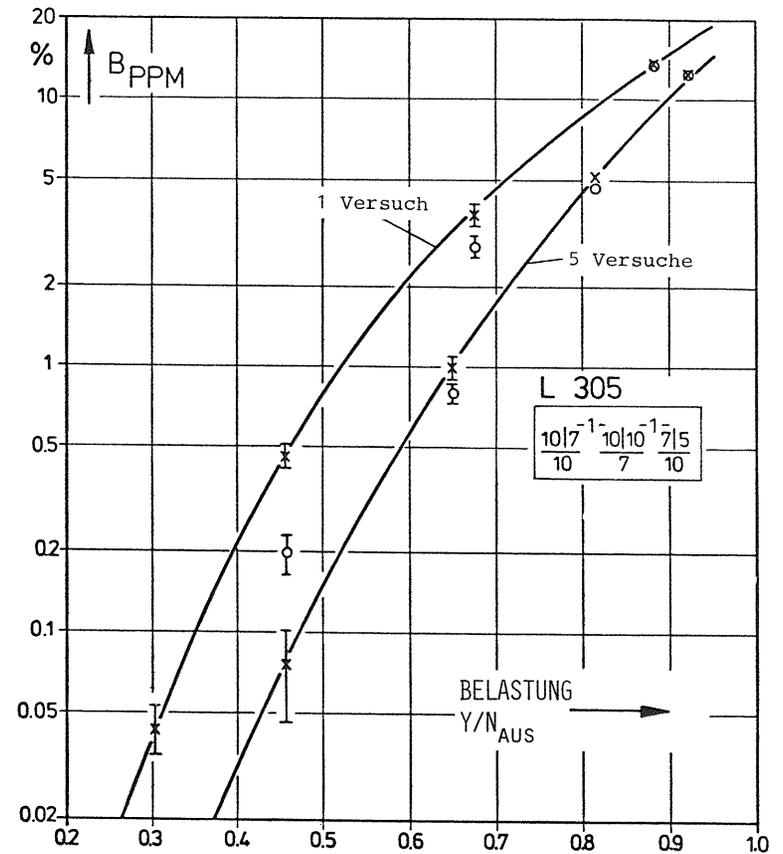


Diagramm 8-22: 3-stufiges Linksystem L 305  
mit einfacher Zwischenleitungsführung  
und Zufallsverkehr 2. Art  
Zahl der Eingänge:  $N_{ein} = 100$   
Zahl der Ausgänge:  $N_{aus} = 50$   
Zahl der Markierversuche: 1 und 5  
Markierstrategie B  
Richtungsaufteilung: 5 Bündel zu je 10 Leitungen

Simulation:  $\circ$  Absuchmodus GN  
 $\times$  Absuchmodus GZ

PPL/PPLM-Rechnung: —————

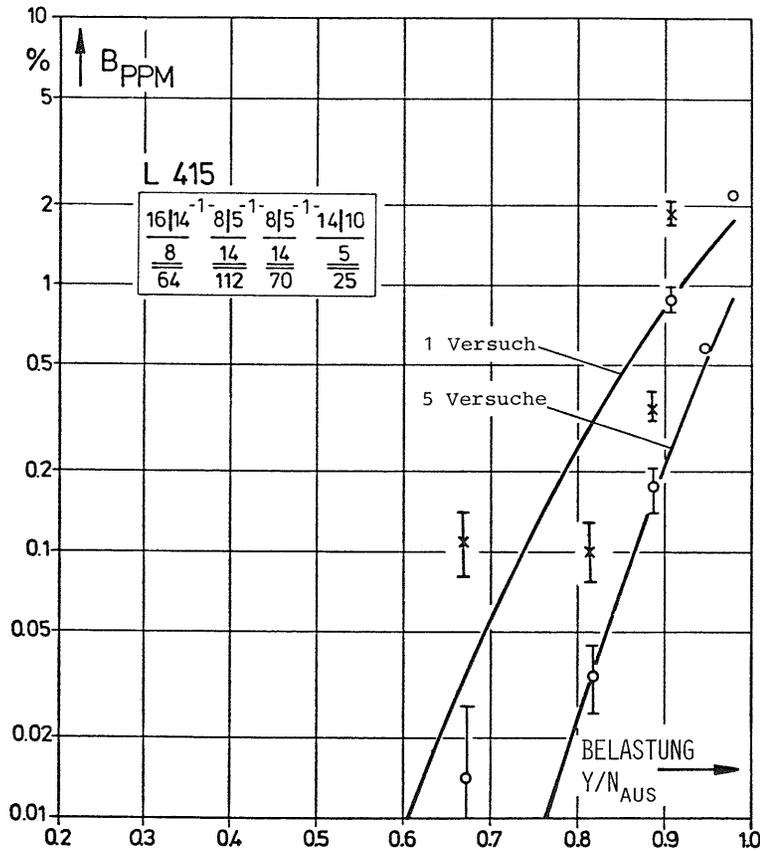


Diagramm 8-23: 4-stufiges Linksystem L 415 mit einfacher Zwischenleitungsführung und Zufallsverkehr 2. Art  
 Zahl der Eingänge:  $N_{ein} = 1024$   
 Zahl der Ausgänge:  $N_{aus} = 250$   
 Zahl der Markierversuche: 1 und 5  
 Markierstrategie C  
 Richtungsaufteilung: 10 Bündel zu je 25 Leitungen

Simulation:  $\circ$  Absuchmodus GN  
 $\pm$  Absuchmodus GZ

PPL/PPLM-Rechnung: —————

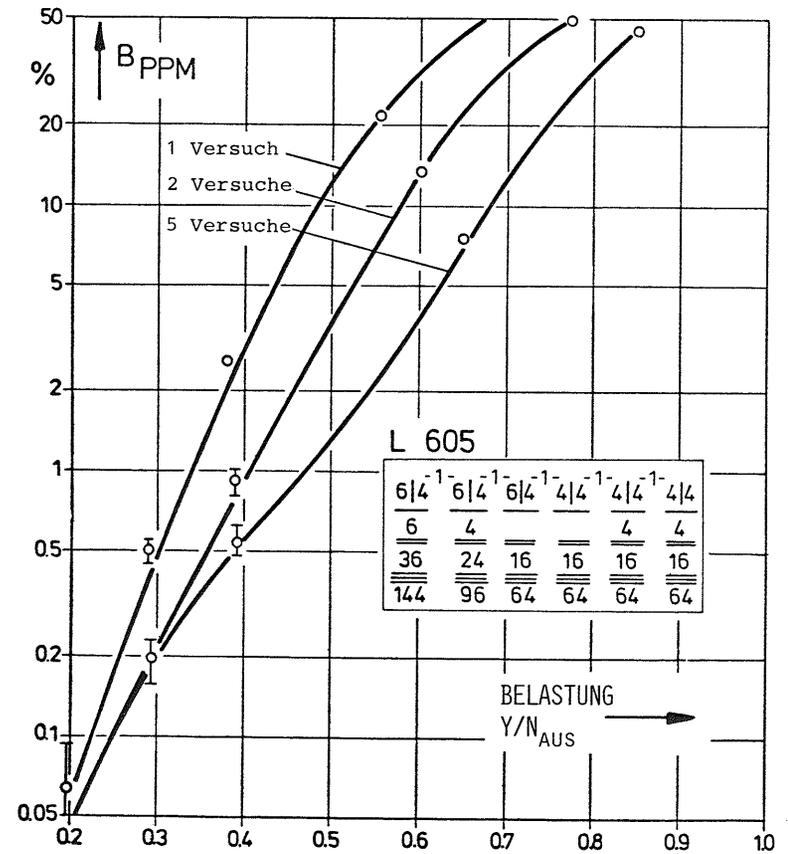


Diagramm 8-24: 6-stufiges Linksystem L 605 mit einfacher Zwischenleitungsführung ("interleaved" zwischen Stufe 4 und 5) und Zufallsverkehr 1. Art  
 Zahl der Eingänge:  $N_{ein} = 864$   
 Zahl der Ausgänge:  $N_{aus} = 256$   
 Zahl der Markierversuche: 1, 2 und 5  
 Markierstrategie C'  
 Richtungsaufteilung: 4 Bündel zu je 64 Leitungen

Simulation:  $\circ$  Absuchmodus GN

PPL/PPLM Rechnung: —————

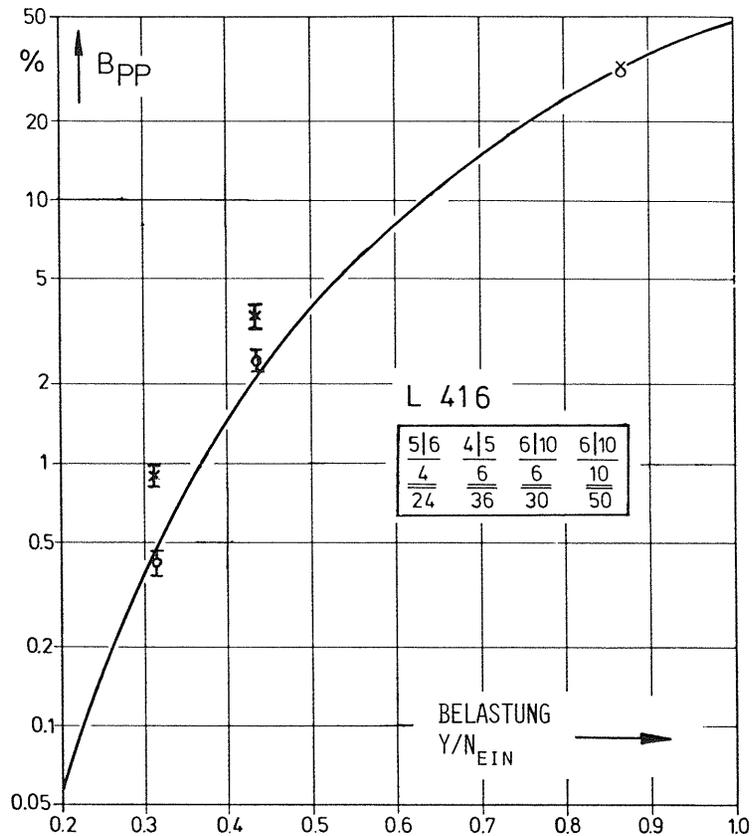


Diagramm 8-25: 4-stufiges Linkssystem L 416  
 mit einfacher Zwischenleitungsführung  
 und abgeschnittenem Zufallsverkehr 1. Art  
 Zahl der Eingänge:  $N_{ein} = 120$   
 Zahl der Ausgänge:  $N_{aus} = 500$   
 Richtungsaufteilung: 10 Bündel zu je 50 Leitungen

Simulation:  $\circ$  Absuchmodus GN  
 $\square$  Absuchmodus GZ  
 $\times$

PPL-Rechnung: \_\_\_\_\_

IX. ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit der verkehrstheoretischen Untersuchung mehrstufiger Koppelanordnungen mit konjugierter Durchschaltung (sog. Linksysteme). Solche Linksysteme werden in vielen öffentlichen und privaten Vermittlungssystemen für den Fernspreverkehr eingesetzt.

Es wird das Näherungsverfahren PPL vorgestellt, welches die näherungsweise Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit in Linksystemen mit (einfacher) Punkt-Punkt-Markierung erlaubt. Mit dem erweiterten Verfahren PPLM läßt sich auch die Verlustwahrscheinlichkeit bei mehrfacher Punkt-Punkt-Markierung näherungsweise bestimmen.

Durch zahlreiche Vergleiche mit Simulationen auf einem Digitalrechner wird die Güte des Näherungsverfahrens PPL (bzw. PPLM) unter Beweis gestellt.

