

Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung

Universität Stuttgart

Prof. Dr.-Ing. A. Lotze

**18. Bericht über verkehrstheoretische Arbeiten**

**Mehrstufige doppelt-gerichtete  
Koppelanordnungen der Vermittlungstechnik  
mit Intern- und Externverkehr**

von

D. Bazlen

Institute of Switching and Data Technics

University of Stuttgart

Prof. Dr.-Ing. A. Lotze

**18th Report on Studies in Congestion Theory**

**Multi-Stage Switching Systems with  
Both-Way Connections for Internal and  
External Traffic**

by

D. Bazlen



## Abstract

This report deals with the analytical investigation of multi-stage switching systems with conjugated selection (link systems) performing both-way connections for internal and/or external traffic, resp. Such link systems are in use in public or private exchanges, resp., as subscriber connection networks (SCN).

Fig. 1 shows a typical example of the speech path network of a telephone exchange.

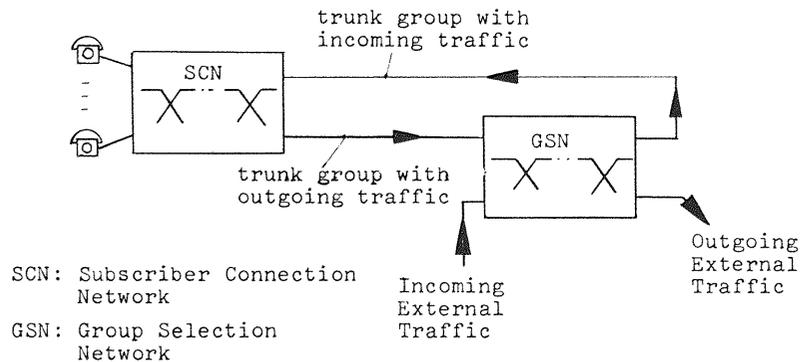


Fig. 1: Example of the Speech Path Network of a Telephone Exchange

In such SCN different types of traffic must be distinguished:

1. Internal traffic which is performed by connections between two subscribers of the same SCN. Each connection occupies two paths in the considered link system (SCN), one outgoing as well as one incoming.
2. Outgoing and incoming external traffic to and from other SCN's which belong to the same or to any other exchange. Each connection occupies one path only through the considered link system.

Regarding the various structures of public and private exchanges the calculation has to distinguish several Operation Modes according to the number and use of the trunk groups which are connected to the "right side" of the SCN (the subscribers are connected to the "left side" of the SCN; cf. Fig. 1).

The analytical investigations are concerned with the approximate calculation of the probability of loss as a function of the link system's structure and the different types of carried traffics. Structure and carried traffics are prescribed. The losses and therefrom the offered traffics are calculated. The basic idea for this approximate calculation is the method CIRB (Combined Inlet and Route Blocking) which was developed for uni-directional traffic. This method is suitably extended for various types of mixed internal and external traffic flowing simultaneously through the SCN. Hereby one assumes on the trunk groups with mixed internal and external traffic the special function for the probabilities of state which holds exactly for fully accessible groups.

In the following a brief review of the various chapters will be given.

### Chapter I: Abbreviations and Definitions (pp 10-12)

The most important abbreviations and definitions used in the paper are given. Two types of offered traffic are distinguished:

#### PCT 1 (Pure Chance Traffic of Type 1):

The mean arrival rate per Unit Time is constant and independent of the state of occupancy of the system. The interarrival times and the holding times are negative exponentially distributed.

#### PCT 2 (Pure Chance Traffic of Type 2):

The mean arrival rate per Unit Time is proportional to the number of instantaneously free sources. The interarrival times per free source and the holding times are negative exponentially distributed.

### Chapter II: Introduction (pp 13-18)

General remarks about the investigated switching arrays with internal and external traffic are outlined.

### Chapter III: Basic Methods (pp 19-37)

In Section III.2 the capital ideas of the method CIRB are explained. In Section III.3 the probability distribution  $p(x)$  for fully accessible trunk groups with mixed internal and external traffic is explained for PCT 1. For the case of PCT 2 corresponding new formulas for  $p(x)$  are derived.

Chapter IV: Link Systems With Mixed Internal and External Traffic (pp 38-167)

In Section IV.2 the three types of traffic (internal, outgoing external and incoming external) are characterized.

Section IV.3 gives the mathematical model for the internal as well as the incoming external traffic. Hereby it is assumed that the incoming traffics (internal and external) are connected to the considered SCN via further GSN arrays (e.g. as in Fig. 1). Losses caused by these selector stages are assumed to be negligibly small. According to the various structures of public as well as private exchanges 5 Operation Modes for link systems with mixed internal and external traffic have to be investigated analytically. A survey of these 5 Operation Modes is given in Section IV.4.

These Operation Modes are described in detail in Sections IV.5 to IV.8 and formulas for the probabilities of loss are derived. For each of the 3 traffic types (internal, outgoing external, incoming external) one special loss formula is derived. Each formula embraces three components which are calculated individually for PCT 1 or PCT 2 resp. :

1. Losses caused by "Inlet" Blocking:

These losses are caused by blocking of the outlets of a multiple in the first stage of the link system.

2. Losses caused by Link Group Blocking:

This Link Group Blocking occurs behind link stages with concentration if no idle link to the next following stage is accessible.

3. Losses caused by Trunk Group Blocking:

Trunk Group Blocking occurs behind the last stage caused by the limited access to the considered trunk group of the link system.

For various examples diagrams are shown regarding the probabilities of loss as a function of the carried traffic. Hereby the results of the calculation are compared with artificial traffic tests to demonstrate the accuracy of this approximate calculation method.

	Seite
<u>Inhaltsverzeichnis</u>	1
Schrifttumsverzeichnis	6
<u>I. Abkürzungen und Definitionen</u>	10
I.1 Strukturparameter	10
I.2 Verkehrsparameter	10
I.3 Zustandsgrößen	11
I.4 Betriebsparameter	11
I.5 Die wichtigsten Indices	12
<u>II. Einleitung</u>	13
<u>III. Grundlegende Verfahren</u>	19
III.1 Allgemeines	19
III.2 Das Verfahren der kombinierten Eingangs- und Abnehmerblockierung, CIRB	19
2.1 Das Prinzip	19
2.1.1 Die Gesamtverlustwahrscheinlichkeit B ohne Zwischenblockierungen	20
2.1.2 Die Gesamtverlustwahrscheinlichkeit B mit Zwischenblockierungen	21
2.2 Zufallsverkehr 1. Art	23
2.2.1 Der Verlust $b_1$ infolge von Eingangsblockierung	23
2.2.2 Die Abnehmerblockierung $[m_j]$ (Bündelblockierung)	23
2.2.3 Die Zwischenblockierung $[m_{1v}]$	25
2.3 Zufallsverkehr 2. Art	26
2.3.1 Der Verlust $b_1$ infolge von Eingangsblockierung	26
2.3.2 Die Abnehmerblockierung $[m_j]$ (Bündelblockierung)	27
2.3.3 Die Zwischenblockierung $[m_{1v}]$	27
III.3 Wahrscheinlichkeitsverteilung $p(x)$ für vollkommen erreichbare Bündel mit gemischtem Intern- und Externverkehr	28
3.1 Zufallsverkehr 1. Art	28
3.2 Zufallsverkehr 2. Art	31
3.2.1 Die Berechnung von $p(x)$ ausgehend vom zweidimensionalen Zustandsraum	31
3.2.2 Die Berechnung von $p(x)$ ausgehend vom eindimensionalen Zustandsraum	36

<u>IV. Linkssysteme mit gemischtem Intern- und Externverkehr</u>	Seite
IV.1 Übersicht	38
IV.2 Die Verkehrstypen	39
IV.3 Annahmen	41
3.1 Annahmen für den Internverkehr	41
3.2 Annahmen für den ankommenden Externverkehr	43
IV.4 Überblick über die 5 Betriebsarten	44
IV.5 Betriebsart 1	48
5.1 Allgemeines	48
5.2 Die Beschreibung der Betriebsart 1	48
5.3 Die gegebenen Größen	50
5.4 Die gesuchten charakteristischen Verkehrsgrößen	52
5.4.1 Gemeinsame Beziehungen für ZV 1 und ZV 2	52
5.4.1.1 Berechnung der Verkehrsgrößen, wenn keine Zwischenblockierungen auftreten	52
5.4.1.2 Berechnung der Verkehrsgrößen, wenn Zwischenblockierungen auftreten	61
5.4.2 Zusätzliche Verkehrsgrößen bei Zufallsverkehr 2. Art	67
5.5 Zufallsverkehr 1. Art	68
5.5.1 Allgemeines	68
5.5.2 Die Wahrscheinlichkeitsverteilung $p(x)$ auf den $n_g$ Leitungen hinter der Stufe s	69
5.5.3 Die Bündelblockierungen	70
5.5.3.1 Extern abgehend	70
5.5.3.2 Extern ankommend	71
5.5.3.3 Intern	71
5.5.4 Die Wahrscheinlichkeitsverteilung $w(x)$ auf den $k_1$ Zwischenleitungen eines Koppelvielfachs der Stufe 1	72
5.5.5 Die Verlustwahrscheinlichkeiten infolge von Blockierung des Ursprungs- bzw. Zielkoppelvielfachs	74
5.5.5.1 Extern abgehend	74
5.5.5.2 Extern ankommend	74
5.5.5.3 Intern	74
5.5.6 Die Wahrscheinlichkeitsverteilung $p_v(x)$ auf den $(g_v, k_v)/G$ Zwischenleitungen zwischen der Stufe $v$ und der Stufe $v+1$ des Linksystems	76
5.5.7 Die Zwischenblockierungen	77
5.6 Zufallsverkehr 2. Art	78
5.6.1 Allgemeines	78

	Seite
5.6.2 Grundsätzliche Bemerkungen zur Definition des Angebots bei Systemen mit ZV 2 und Internverkehr	79
5.6.3 Die Wegesuchalgorithmen	81
5.6.3.1 Der Wegesuchalgorithmus 1	81
5.6.3.2 Der Wegesuchalgorithmus 2	82
5.6.4 Die Wahrscheinlichkeitsverteilung $p(x)$ auf den $n_s$ Leitungen des Leitungsbündels hinter der Stufe $s$ des Linksystems	86
5.6.5 Die Bündelblockierungen	91
5.6.6 Die Wahrscheinlichkeitsverteilung $w(x)$ auf den $k_1$ Zwischenleitungen	91
5.6.7 Die Verlustwahrscheinlichkeiten infolge von Blockierung des Ursprungs- bzw. Zielkoppelvielfachs	97
5.6.7.1 Wegesuchalgorithmus 1	97
5.6.7.2 Wegesuchalgorithmus 2	99
5.6.8 Die Wahrscheinlichkeitsverteilung $p_v(x)$ auf dem Zwischenleitungsbündel zwischen der Stufe $v$ und der Stufe $v+1$	108
5.6.9 Die Zwischenblockierungen	111
5.7 Ergebnisse	111
IV.6 Betriebsart 2	117
6.1 Allgemeines	117
6.2 Die Beschreibung der Betriebsart 2	117
6.3 Die gegebenen Größen	118
6.4 Die gesuchten charakteristischen Verkehrsgrößen	119
6.5 Zufallsverkehr 1. Art	122
6.5.1 Allgemeines	122
6.5.2 Die Wahrscheinlichkeitsverteilungen $p_j(x)$ auf den Leitungsbündeln 1 und 2 hinter der Stufe $s$ des Linksystems	122
6.5.3 Die Bündelblockierungen	123
6.5.3.1 Extern abgehend	123
6.5.3.2 Extern ankommend	123
6.5.3.3 Intern	123
6.6 Zufallsverkehr 2. Art	124
6.6.1 Allgemeines	124
6.6.2 Die Wahrscheinlichkeitsverteilungen $p_j(x)$ auf den Leitungsbündeln 1 und 2	125
6.7 Ergebnisse	127
IV.7 Betriebsart 3 und 4	135
7.1 Allgemeines	135
7.2 Die Beschreibung der Betriebsart 3 und 4	136
7.2.1 Betriebsart 3 (eine Externrichtung)	136

	Seite
7.2.2 Betriebsart 4 (zwei Externrichtungen)	138
7.2.3 Linksysteme mit drei Externrichtungen	139
7.2.4 Gegenüberstellung der Betriebsarten mit 1, 2 bzw. 3 Externrichtungen	140
7.3 Die gegebenen Größen	141
7.4 Die gesuchten charakteristischen Verkehrsgrößen	142
7.5 Zufallsverkehr 1. Art	142
7.5.1 Allgemeines	142
7.5.2 Die Wahrscheinlichkeitsverteilungen $p_j(x)$ auf den Leitungsbündeln hinter der Stufe $s$ des Linksystems	143
7.5.2.1 Leitungsbündel 1 und 2	143
7.5.2.2 Leitungsbündel 3; Betriebsart 3 (eine Externrichtung)	143
7.5.2.3 Leitungsbündel 3 und 4; Betriebsart 4 (zwei Externrichtungen)	144
7.5.3 Die Bündelblockierungen	145
7.5.3.1 Extern abgehend	145
7.5.3.2 Extern ankommend	145
7.5.3.3 Intern	145
7.6 Zufallsverkehr 2. Art	146
7.6.1 Allgemeines	146
7.6.2 Die Wahrscheinlichkeitsverteilungen $p_j(x)$ auf den Leitungsbündeln hinter der Stufe $s$ des Linksystems	146
7.6.2.1 Leitungsbündel 1 und 2	146
7.6.2.2 Leitungsbündel 3; Betriebsart 3 (eine Externrichtung)	148
7.6.2.3 Leitungsbündel 3 und 4; Betriebsart 4 (zwei Externrichtungen)	149
7.7 Ergebnisse	149
IV.8 Betriebsart 5	156
8.1 Allgemeines	156
8.2 Die Beschreibung der Betriebsart 5	156
8.3 Die gegebenen Größen	158
8.4 Die gesuchten charakteristischen Verkehrsgrößen	159
8.5 Zufallsverkehr 1. Art	159
8.5.1 Allgemeines	159
8.5.2 Die Wahrscheinlichkeitsverteilung $p_1(x)$ auf dem Leitungsbündel 1	160
8.5.3 Die internen Bündelblockierungen	160
8.6 Zufallsverkehr 2. Art	161
8.6.1 Allgemeines	161

8.6.2 Die Wahrscheinlichkeitsverteilung $p_1(x)$ auf dem Leitungsbündel 1	161
8.7 Ergebnisse	162
<u>V. Zusammenfassung</u>	167
ANHANG	168

Schrifttumsverzeichnis

Einstufige Koppelanordnungen:

/1/ Rønneblom, N.: Traffic loss of a circuit group consisting of both-way circuits, which is accessible for the internal and external traffic of a subscriber group. TELE (1959) No. 2, S. 79 - 92.

/2/ Lotze, A. : Verluste und Güteermerekmale einstufiger Mischungen. NTZ 14 (1961) H. 9, S. 449 - 453.

/3/ Lotze, A. : Tafel der modifizierten Palm-Jacobaeus-Verlustformel.  
Wagner, W. : Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung der Universität Stuttgart, 1963.

/4/ Bächle, A. : Die Berechnung einstufiger Koppelanordnungen mit unvollkommener Erreichbarkeit bei angebotem Zufallsverkehr zweiter Art. Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung der Universität Stuttgart, Monographie, 1966.

/5/ Botsch, D. : Die Verlustwahrscheinlichkeit einstufiger Koppelanordnungen der Vermittlungstechnik mit Extern- und Internverkehr. Dissertation an der Technischen Hochschule Stuttgart, 1966.

/6/ Herzog, U. : Adaptation of the MPJ loss formula to gradings of various type. 4th report on studies in congestion theory, Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung der Universität Stuttgart, 1967.

/7/ Lotze, A. : History and development of grading theory. A.E.Ü. 25 (1971) H. 9/10, S. 402 - 410.

/8/ Botsch, D. : Die Verlustwahrscheinlichkeit einstufiger Koppelanordnungen der Vermittlungstechnik mit Extern- und Internverkehr. A.E.Ü. 22 (1968) H. 3, S. 127 - 132.

Mehrstufige Koppelanordnungen:

/9/ Kharkevich, D.: An approximate method for calculating the number of junctions in a crossbar system exchange. Elektrosvyaz' Nr. 1 (1959), S. 55 - 63.

/10/ Basharin, G.P.: Derivation of equations of state for two-stage telephone circuits with losses. Elektrosvyaz' Nr. 1 (1960), S. 56 - 64.

- /11/ Lotze, A. : Berechnung der Blockierungs- und Verlustwahrscheinlichkeit zwei- und mehrstufiger Linksysteme für Mischwahl und Gruppenwahl nach dem Näherungsverfahren der "kombinierten Eingangs- und Abnehmerblockierung". 3. Bericht über verkehrstheoretische Untersuchungen des Instituts für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung der Universität Stuttgart, 1963.
- /12/ Botsch, D. : Zweistufige Linksysteme mit Extern- und Internverkehr.  
Weller, H. : Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung der Universität Stuttgart, Monographie, 1966.
- /13/ Lotze, A. : Optimum link systems.  
5th ITC New York 1967, Pre-Book S.242 - 251.
- /14/ Kümmerle, K.: An analysis of loss approximation for link systems.  
5th ITC New York 1967, Pre-Book S.327 - 336.
- /15/ Herzog, U. : Die Bemessung ein- und mehrstufiger Koppelanordnungen der Vermittlungstechnik für angebotenen Überlaufverkehr.  
5. Bericht über verkehrstheoretische Arbeiten. Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung der Universität Stuttgart, 1968.
- /16/ Kümmerle, K.: Berechnungsverfahren für mehrstufige Koppelanordnungen mit konjugierter Durchschaltung - Systematik und Analyse.  
9. Bericht über verkehrstheoretische Arbeiten. Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung der Universität Stuttgart, 1969.
- /17/ Herzog, U. : Die Bemessung von Linksystemen mit alternativer Leitweglenkung nach dem verallgemeinerten RDA - Streuwertverfahren.  
NTZ 23 (1970) H. 3, S. 143 - 150.
- /18/ Bazlen, D. : Simulation eines Vermittlungssystems mit Teilnehmer- und Richtungswahlstufe.  
Danner, E. : Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung der Universität Stuttgart,  
Kampe, G. : Studienarbeit Nr. 329, 1970.
- /19/ Lörcher, W. : A) Exact calculation of the probability of loss for two-stage link systems with preselection and group selection.  
A.E.Ü. 25 (1971) H. 9/10, S. 471 - 476.  
B) Exakte Berechnung der Zustandswahrscheinlichkeiten und der charakteristischen Verkehrsgrößen mehrstufiger Koppelanordnungen mit konjugierter Durchschaltung.  
Dissertation an der Universität Stuttgart, 1973.
- /20/ Bazlen, D. : Call congestion in link systems with internal and external traffic.  
A.E.Ü. 25 (1971) H. 9/10, S. 479 - 483.

Fernsprechverkehrssimulation:

- /21/ Dietrich, G. : Simulation von Fernsprechverkehr mit  
Wagner, H. : elektronischen Rechenautomaten.  
Elektrisches Nachrichtenwesen 38 (1963) H. 4, S. 538 - 548.
- /22/ Dietrich, G. : Bestimmung der Verkehrsleistung von Verlustsystemen durch künstlichen Fernsprechverkehr.  
Wagner, H. : NTZ 16 (1963) H. 6, S. 289 - 296.
- /23/ Huber, M. : Simulation von Nachrichtenvermittlungssystemen.  
Wagner, W. : Erschienen in "Nicht-numerische Informationsverarbeitung". Herausgegeben von R. Gunzenhäuser, Springer-Verlag Wien, New York 1968.
- /24/ Kümmerle, K. : Ein Vorschlag zur Berechnung der Vertrauensintervalle bei Verkehrstests.  
A.E.Ü. 23 (1969) H. 10, S. 507 - 511.
- /25/ Kampe, G. : SIMSCRIPT.  
Vieweg-Verlag Braunschweig, 1971.

Vermittlungstechnik:

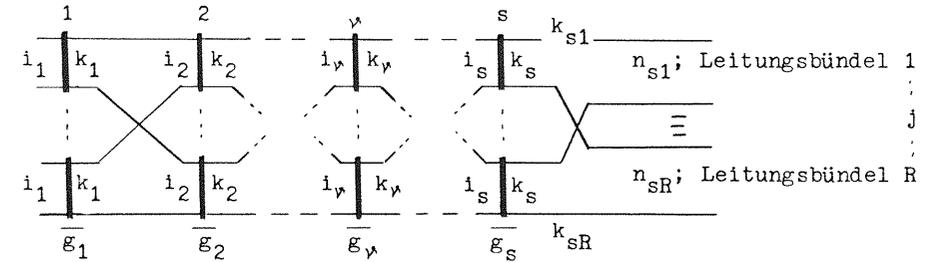
- /26/ Schönemeyer, H.: Das Fernsprech-Vermittlungssystem HE-60L.  
SEL Nachrichten, 11. Jahrgang (1963) H. 3, S. 95 - 100.
- /27/ Dietrich, G. : Struktur und Verkehrsleistung der Koppelanordnung im Fernsprech-Vermittlungssystem HE-60L.  
Willrett, H. : SEL Nachrichten, 11. Jahrgang (1963) H.3, S. 114 - 120.
- /28/ Feiner, A. : No.1 ESS Switching Network Plan.  
Hayward, W.S.: Bell Syst. tech. J. 43 (1964) No. 5, S. 2193 - 2220.
- /29/ Bollmus, G. : Die Systemmerkmale und der Aufbau des FRK-Amtssystems.  
TN-Nachrichten, H. 65 (1965), S. 9 - 17.
- /30/ Knoblich, G. : Das Koppelnetzwerk im FRK-Amtssystem.  
Reher, H.W. : TN-Nachrichten, H. 65 (1965), S. 33 - 42.
- /31/ Schönfeld, W.H.: Einführung in die Fernsprech-Nebenstellentechnik.  
Verlag Erich Herzog, Goslar, 1965.
- /32/ Kaufmann, H.O.: ESK 10 000 E - Ein System für Fernsprech - Ortsämter in Siemens Crosspoint - Technik mit  
Skawski, H. : Elektronik.  
Informationen Fernsprech - Vermittlungstechnik, 3 (1967) H. 4, S. 203 - 213.
- /33/ ESK 10 000 E - Local Automatic Telephone Exchanges.  
SIEMENS A.G., Wernerwerk für Fernsprechtechnik, München, 1967.
- /34/ Hagenhaus, L. : Gruppierung der Teilnehmerwahlstufe im System ESK 10 000 E.  
Reger, J. : Informationen Fernsprech - Vermittlungstechnik 4 (1968) H. 2, S. 71 - 75.

- /35/ Röder, H. : Zur Entwicklung von Fernsprechnebenstellenanlagen mit vollelektronischem Raumvielfach und zentraler Logik. NTZ 22 (1969) H. 8, S. 437 - 443.
- /36/ Katzschner, L.: On an experimental local PCM switching network.  
Lörcher, W. : 1972 International Zürich Seminar on Integrated Systems for Speech, Video and Data Communication, 15 - 17 March 1972, Zürich.  
Weisschuh, H. :
- /37/ Tanaka, M. : Nonblocking switching in integrated PCM networks. A.E.Ü. 25 (1971) H. 9/10, S. 477 - 478.
- /38/ Huber, M. : On the congestion in tdm systems. 4. ITC London 1964.

I. Abkürzungen und Definitionen

1. Strukturparameter

Stufe



- s : Anzahl der Stufen des Linksystems.
- $g_\nu$  : Anzahl der Koppelvielfache (KVfe) in Stufe  $\nu$ ;  $\nu = 1, 2, \dots, s$ .
- $i_\nu$  : Anzahl der Eingänge je KVf in Stufe  $\nu$ ;  $\nu = 1, 2, \dots, s$ .
- $k_\nu$  : Anzahl der Ausgänge je KVf in Stufe  $\nu$ ;  $\nu = 1, 2, \dots, s$ .
- R : Anzahl der Leitungsbündel (Abnehmerbündel) hinter der Stufe s.
- $k_{sj}$  : Anzahl der Ausgänge je KVf in Stufe s je Leitungsbündel j;  $j = 1, 2, \dots, R$ .
- $n_{sj}$  : Anzahl der Leitungen des Leitungsbündels j;  $j = 1, 2, \dots, R$ .
- $g_\nu k_\nu$  : Anzahl der Zwischenleitungen zwischen Stufe  $\nu$  und  $\nu+1$ .

2. Verkehrsparameter

- $\alpha$  : Anrufrate je freie Quelle (zusätzlich indiziert entsprechend dem Verkehrstyp und/oder dem Leitungsbündel hinter der Stufe s und/oder der Koppelstufe des Linksystems).
- $\alpha_0$  : Fiktive (erzeugende) Anrufrate (Indizierung wie oben).
- A : Angebot in Erlang (Indizierung wie oben).
- $A_0$  : Fiktives (erzeugendes) Angebot (Indizierung wie oben).
- h : Mittlere Belegungsdauer. Hier ist  $h = 1$  als normierte Zeiteinheit.
- $\mathcal{E} = \frac{1}{h}$  : Enderate.
- Y : Belastung in Erlang (Indizierung wie oben).
- $d = \frac{i}{Y}$  : Verhältnis von Intern- zu Gesamtbelastung (Indizierung wie oben).
- $\left. \begin{matrix} b \\ B \end{matrix} \right\}$  : Verlustwahrscheinlichkeit (Indizierung wie oben).

- $m_j$  : Mittlere Prüfbarkeit (Erreichbarkeit) des Leitungsbündels  $j$ ;  $j = 1, 2, \dots, R$  (für  $R = 1$  ohne Index).
- $m_{ju}$  : Größte ganze Zahl  $\leq m_j$ .
- $m_{jo}$  : Kleinste ganze Zahl  $\geq m_j$ .
- $\eta_j$  : Verhältnis der Belastung des Leitungsbündels  $j$  zur Gesamtbelastung;  $j = 1, 2, \dots, R$ .
- $[m_j]$  : Abnehmerblockierung bzw. Bündelblockierung (zusätzlich indiziert mit dem entsprechenden Verkehrstyp).
- $m_{1\gamma}$  : Mittlere Prüfbarkeit des Zwischenleitungsbündels zwischen Stufe  $\gamma$  und Stufe  $\gamma+1$  ( $\gamma = 2, 3, \dots, s-1$ ).
- $[m_{1\gamma}]$  : Zwischenblockierung in der Stufe  $\gamma$ .
- $c$  : Mittlere (erwartungsgemäße) Anzahl von Rufen je Zeiteinheit (zusätzlich indiziert entsprechend der Art der Rufe (angebotene Rufe, Verlustrufe u.s.w. und/oder mit dem Verkehrstyp u.a.)).

3. Zustandsgrößen

- $\{x\}$  : Zustand, daß in einem Bündel  $x$  Leitungen belegt sind.
- $p_j(x)$  : Wahrscheinlichkeit, daß der Zustand  $\{x\}$  im Leitungsbündel  $j$  existiert;  $j = 1, 2, \dots, R$  (für  $R = 1$  ohne Index).
- $w(x)$  : Wahrscheinlichkeit, daß der Zustand  $\{x\}$  im Zwischenleitungsbündel eines Koppelvielfachs der Stufe 1 existiert.
- $\mu_j(x)$  : Durchlasswahrscheinlichkeit im Zustand  $\{x\}$  des Leitungsbündels  $j$ ;  $j = 1, 2, \dots, R$  (für  $R = 1$  ohne Index).
- $G_j(x)$  : Sperrwahrscheinlichkeit im Zustand  $\{x\}$  des Leitungsbündels  $j$ ;  $j = 1, 2, \dots, R$  (für  $R = 1$  ohne Index).

Entsprechend  $p_\gamma(x)$ ,  $\mu_\gamma(x)$ ,  $G_\gamma(x)$ : Größen beziehen sich auf das Zwischenleitungsbündel zwischen der Stufe  $\gamma$  und der Stufe  $\gamma+1$ .

4. Betriebsparameter

- Zufallsverkehr 1. Art : Die mittlere Anrufrate je Zeiteinheit ist konstant, unabhängig vom Belegungszustand des Systems. Die Anrufabstände und Belegungsdauern sind negativ exponentiell verteilt.  
(ZV 1)
- Zufallsverkehr 2. Art : Die mittlere Anrufrate je Zeiteinheit ist proportional der Zahl momentan freier Quellen. Die Anrufabstände je freie Quelle und die Belegungsdauern sind negativ exponentiell verteilt.  
(ZV 2)

5. Die wichtigsten Indices

- 1 : Die Größe bezieht sich auf ein Koppelvielfach der Stufe 1.
- $\gamma$  : Die Größe bezieht sich auf das Zwischenleitungsbündel zwischen Stufe  $\gamma$  und Stufe  $\gamma+1$ .
- $\left. \begin{matrix} j \\ s_j \end{matrix} \right\}$  : Die Größe bezieht sich auf das Leitungsbündel  $j$  (für  $R = 1$  entfällt der Index).
- i : Internverkehr.
- ig : Abgehender Internverkehr.
- ik : Ankommender Internverkehr.
- k : Koppelvielfachinterner Verkehr (kv-interner Verkehr).
- kg : Abgehender koppelvielfachinterner Verkehr.
- kk : Ankommender koppelvielfachinterner Verkehr.
- s : Systeminterner Verkehr.
- sg : Abgehender systeminterner Verkehr.
- sk : Ankommender systeminterner Verkehr.
- b : Blockinterner Verkehr (bg : abgehend; bk : ankommend).
- $\bar{b}$  : Nicht-blockinterner Verkehr ( $\bar{b}g$  : abgehend;  $\bar{b}k$  : ankommend).
- e : Externverkehr.
- eg : Abgehender Externverkehr.
- ek : Ankommender Externverkehr.

## II. Einleitung

In modernen Fernsprechvermittlungen besteht das Sprechwegenetz häufig aus mehrstufigen Koppelanordnungen mit konjugierter Durchschaltung, sogenannten Linksystemen bzw. Zwischenleitungsanordnungen. Hierbei erfolgt die Durchschaltung einer Zubringerleitung zu einer Abnehmerleitung dann und nur dann, wenn zwischen Zubringerleitung und Abnehmerleitung ein freier Weg durch das gesamte Linksystem hindurch vorhanden ist. Der Vorteil solcher Linksysteme gegenüber einstufigen Koppelanordnungen besteht (bei gleicher Verkehrsleistung) in einer beträchtlichen Einsparung an Koppelpunkten, welche den Mehraufwand für die konjugierte Steuerung der Durchschaltung überwiegt.

Linksysteme werden sowohl als Teilnehmerwahl-Koppelanordnung (Endwahl-Koppelanordnung) als auch als Richtungswahl-Koppelanordnung eingesetzt /26 - 30, 32 - 36, u.a./.

Teilnehmerwahl-Koppelanordnungen dienen einerseits der Konzentration des Verkehrs von in der Regel schwachbelasteten Teilnehmeranschlußleitungen auf die stärker belasteten Leitungsbündel der inneren Verbindungswege einer Vermittlungsstelle (abgehender Verkehr); andererseits dienen sie der Expansion des ankommenden Verkehrs auf die Teilnehmeranschlußleitungen. Dies bedeutet, daß Teilnehmerwahl-Koppelanordnungen doppelt-gerichteten Verkehr führen.

Richtungswahl-Koppelanordnungen verteilen den Verkehr von einem oder mehreren ankommenden (bereits gut ausgenutzten) Bündeln in verschiedene weiterführende Richtungen (z.B. Verkehr zu Teilnehmergruppen der eigenen Vermittlungsstelle oder zu fremden Vermittlungsstellen). Richtungswahl-Koppelanordnungen führen also einfach-gerichteten Verkehr.

Bild 1 zeigt eine Anordnung aus Teilnehmerwahl-Koppelanordnung (TW) und Richtungswahl-Koppelanordnung (RW).

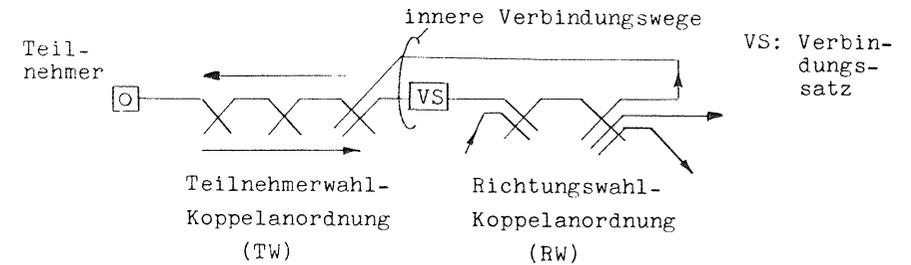


Bild 1: Anordnung aus Teilnehmerwahl- und Richtungswahl-Koppelanordnung.

Zur Untersuchung solcher Vermittlungssysteme stehen im wesentlichen 3 Verfahren zur Verfügung:

1. Verkehrsmessung : Die Verkehrsleistung, d.h. die Verlustwahrscheinlichkeit als Funktion des Verkehrsangebots, der Struktur und der Steuerung einer Vermittlungsanordnung, in unserem Fall einer mehrstufigen Koppelanordnung mit konjugierter Durchschaltung (Linksystem), wird im öffentlichen Fernsprechnetzz mit Hilfe von Verkehrsmessungen bestimmt. Gemessen wird in der Hauptverkehrszeit, für die ein konstantes Verkehrsangebot, d.h. ein stationärer Prozess bezüglich der einfallenden Anrufe, vorausgesetzt werden kann. Um eine genügend große statistische Aussagesicherheit zu erhalten, muß eine genügend große Zahl von Ereignissen (Verbindungswünschen) erfasst werden ( $\geq 100\ 000$  Anrufe). Dieses Verfahren ist deshalb sehr zeitraubend und oft ungenau. Wegen signifikanter Schwankungen des Verkehrsangebots an verschiedenen Werktagen und ebenso wegen saisonaler Schwankungen kann eine hinreichend große Zahl von Anrufen (bei gleicher Anrufrate) oft überhaupt nicht registriert werden.

2. Simulation : Die Struktur einer Koppelanordnung wird auf einem Digitalrechner nachgebildet. Künstlich im Rechner erzeugter Verkehr bestimmter, möglichst wirklichkeitstreuer statistischer Eigenschaften wirkt auf diese nachgebildete Koppelanordnung. Der Vorteil dieser Methode ist die Zeitraffung des Verkehrsablaufs (erzeugt werden bis zu ca. 500 000 Anrufe pro Rechnerstunde), die Flexibilität bezüglich der nachzubildenden Strukturen von Koppelanordnungen und der einstellbaren Anruf-rate des Verkehrsangebots, sowie die Reproduzierbarkeit des künstlichen Verkehrs /21 - 25/.
3. Analytische Berechnung : Mit Methoden der Statistik und Wahrscheinlichkeitstheorie wird rechnerisch die Verkehrsgüte der Vermittlungsanordnung bestimmt als Funktion von deren Struktur und des Verkehrsangebots. Soweit möglich wird versucht innerhalb gegebener Voraussetzungen (mathematisches Modell), ein exaktes Rechenverfahren zu finden. In unserem Fall der Linksysteme ist eine exakte Lösung möglich /10, 19/, sie führt aber zu sehr großen Gleichungssystemen, so daß selbst auf den größten Digitalrechnern nur sehr kleine, in der Praxis kaum auftretende Linksysteme berechnet werden können.
- Deshalb wird versucht für größere und komplexere Strukturen Näherungsverfahren zu finden, die einfach auswertbar sind und für die Praxis ausreichend genaue Ergebnisse liefern. Diese Näherungsverfahren müssen dann mit Simulationsergebnissen verglichen werden, um die Genauigkeit des Rechenverfahrens und/oder dessen Gültigkeitsgrenzen zu überprüfen.

Derartige approximative Rechenverfahren haben den Vorteil, daß sie einfach anwendbar sind und meistens nur sehr kurze Rechenzeiten auf einem Digitalrechner benötigen.

Zur Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit mehrstufiger Linksysteme wurde eine große Zahl von Verfahren vorgeschlagen /14,16/. Allen diesen Verfahren ist gemeinsam, daß sie sich ausschließlich mit einfach-gerichteten Linksystemen beschäftigen.

In dieser Arbeit werden nun Linksysteme mit doppelt-gerichtetem Verkehr behandelt. Solche Linksysteme führen also z.B. den abgehenden Verkehr von den unmittelbar an das betrachtete Linksystem angeschlossenen Teilnehmern zu den Bündeln der inneren Verbindungswege und auch den ankommenden Verkehr von diesen Bündeln zu den Teilnehmern. Diese Verkehre können in 3 Anteile aufgeteilt werden:

1. Abgehender Externverkehr : Verkehr von den Teilnehmern des betrachteten Linksystems zu den Bündeln der inneren Verbindungswege. Von dort geht dieser Verkehr dann z.B. über die Richtungswahl-Koppelanordnung (vgl. Bild 1, S. 14) zu einer anderen Teilnehmergruppe der eigenen Vermittlungsstelle oder zu einer fremden Vermittlungsstelle. Ein erfolgreicher Ruf dieses Verkehrs belegt im betrachteten Linksystem (Teilnehmerwahl-Koppelanordnung) einen Weg.
2. Ankommender Externverkehr: Verkehr (z.B. von einer fremden Vermittlungsstelle) über eine Richtungswahl-Koppelanordnung der eigenen Vermittlungsstelle und über die Teilnehmerwahl-Koppelanordnung zu einem Teilnehmer des betrachteten Linksystems. Ein erfolgreicher Ruf dieses Verkehrs belegt im Linksystem ebenfalls einen Weg.

3. Internverkehr : Verkehr von einem Teilnehmer der betrachteten Teilnehmerwahl-Koppelanordnung zu einem anderen Teilnehmer derselben Teilnehmerwahl-Koppelanordnung. Ein erfolgreicher Ruf dieses Verkehrs benötigt im betrachteten Linksystem gleichzeitig zwei Wege, einen abgehenden Weg vom rufenden Teilnehmer zu einem Bündel der inneren Verbindungswege und einen ankommenden Weg von einem Bündel der inneren Verbindungswege zum gerufenen Teilnehmer.

Für mehrstufige Linksysteme welche gleichzeitig diese drei Verkehrstypen verarbeiten wird ein Näherungsverfahren zur Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit bei gegebener Struktur, Verkehrsbelastung und Verkehrsaufteilung entwickelt. Dieses Verfahren geht aus von einem Näherungsverfahren für Linksysteme mit einfach-gerichtetem Verkehr. Dieses Verfahren wird in der Literatur "Verfahren der kombinierten Eingangs- und Abnehmerblockierung;" abgekürzt CIRB (Combined Inlet and Route Blocking), genannt /11, 13, 16/. Dieses Verfahren CIRB wird in Kapitel III: "Grundlegende Verfahren" mit seinen wesentlichen Merkmalen beschrieben. Ebenfalls in Kapitel III wird die Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverteilung für vollkommen erreichbare Bündel mit gemischtem Intern- und Externverkehr und Zufallsverkehr 1. Art (ZV 1) entsprechend zu /1, 5, 8/ gezeigt und es werden neue Beziehungen für Zufallsverkehr 2. Art (ZV 2) hergeleitet.

In Kapitel IV wird das neue Näherungsverfahren für mehrstufige Linksysteme mit gemischtem Intern- und Externverkehr hergeleitet. Hierbei wird gezeigt, daß im wesentlichen 5 verschiedene Betriebsarten bei solchen Linksystemen unterschieden werden können. Außerdem wird bei der Berechnung dieser Linksysteme unterschieden zwischen:

1) Angebotenem Zufallsverkehr 1. Art (ZV 1): Dieser Angebotstyp unterstellt eine konstante Anrufrate  $c_A$  solange noch mindestens eine Zubringerleitung frei ist. Rechnerisch kann dieser Fall behandelt werden, wie ein Verkehrsangebot aus unendlich

vielen Verkehrsquellen, dessen Anrufrate durch die endlich große Zahl von belegten Verkehrsquellen nicht reduziert wird.  
2) Angebotenem Zufallsverkehr 2. Art (ZV 2): Dieser Angebotstyp unterstellt eine endliche Zahl von Verkehrsquellen mit einer konstanten Anrufrate  $\alpha$  je freie Quelle. Die mittlere Anrufrate je Zeiteinheit ist dann proportional der Zahl momentan freier Quellen.

III. Grundlegende Verfahren

1. Allgemeines

Zur näherungsweise Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit mehrstufiger Linksysteme mit reinem Externverkehr (einfach-gerichteter Verkehr) wurden bereits zahlreiche Verfahren entwickelt /14, 16/.

Eines dieser Verfahren, das Verfahren der kombinierten Eingangs- und Abnehmerblockierung (CIRB) /11, 13/, ist besonders einfach zu handhaben und liefert im allgemeinen für die Praxis ausreichend genaue Ergebnisse /11, 16/. In Abschnitt 2 dieses Kapitels werden die wesentlichen Merkmale dieses Verfahrens CIRB nochmals kurz beschrieben.

In Abschnitt 3 wird auf die bereits in /1, 5, 8/ hergeleitete Wahrscheinlichkeitsverteilung für Bündel hinter einstufigen Koppelanordnungen mit vollkommener Erreichbarkeit und gemischtem Intern- und Externverkehr bei ZV 1 kurz eingegangen und neue Beziehungen für die Berechnung dieser Wahrscheinlichkeitsverteilung bei ZV 2 hergeleitet.

2. Das Verfahren der kombinierten Eingangs- und Abnehmerblockierung, CIRB /11, 13/

2.1 Das Prinzip

Das Verfahren kann auf Linksysteme für Richtungswahl oder Mischwahl mit einfach-gerichtetem Verkehr und beliebiger Stufenzahl angewandt werden. Ausgehend von der Struktur und der gegebenen Belastung des Systems wird die Verlustwahrscheinlichkeit berechnet.

Diese Verlustwahrscheinlichkeit setzt sich zusammen aus:

1. Verlustwahrscheinlichkeit  $b_1$  infolge von Eingangsblockierung. Sie kennzeichnet den Anteil des Verlustes, der dadurch entsteht, daß alle  $k_1$  Ausgänge eines Koppelvielfachs der Stufe 1 bei Einfall eines Rufes in dieses Koppelvielfach belegt sind.
2. Verlustwahrscheinlichkeit  $b_{z\gamma}$  infolge von Zwischenblockierung  $[m_{1\gamma}]$  ( $\gamma = 2, 3, \dots, s-1$ ). Sie kennzeichnet jenen Anteil des Verlustes, der dadurch entsteht, daß bei Einfall eines

Rufes (in einem bestimmten Koppelvielfach der Stufe 1) freie Zwischenleitungen zwischen Stufe  $\gamma$  und Stufe  $\gamma+1$  nicht erreichbar sind oder daß alle insgesamt erreichbaren Zwischenleitungen zwischen Stufe  $\gamma$  und Stufe  $\gamma+1$  belegt sind. Zwischenblockierung in der Stufe  $\gamma$  tritt auf, wenn  $i_\gamma > k_\gamma$  ist.

3. Verlustwahrscheinlichkeit  $b_{sj}$  infolge von Abnehmerblockierung (Bündelblockierung)  $[m_j]$  in Richtung  $j$ . Sie kennzeichnet jenen Anteil des Verlustes, der dadurch entsteht, daß bei Einfall eines Rufes (in einem bestimmten Koppelvielfach der Stufe 1) freie Abnehmerleitungen im gewünschten Bündel  $j$  nicht erreichbar sind oder daß alle Abnehmerleitungen des Bündels  $j$  belegt sind.

Im allgemeinen sind die Zwischenblockierungen  $[m_{1\gamma}]$  vernachlässigbar klein gegenüber der Eingangs- bzw. Abnehmerblockierung. Deshalb wird im folgenden zunächst die Berechnung der Gesamtverlustwahrscheinlichkeit ohne Zwischenblockierungen gezeigt (Abschnitt 2.1.1). Anschließend wird in Abschnitt 2.1.2 die Gesamtverlustwahrscheinlichkeit bei Berücksichtigung der Zwischenblockierungen angegeben.

Die hierbei verwendeten Größen  $b_1$ ,  $[m_j]$  und  $[m_{1\gamma}]$  werden in Abschnitt 2.2 für Zufallsverkehr 1. Art und in Abschnitt 2.3 für Zufallsverkehr 2. Art berechnet.

2.1.1 Die Gesamtverlustwahrscheinlichkeit B ohne Zwischenblockierungen

Die Verlustwahrscheinlichkeit  $b_1$  infolge von Eingangsblockierung ist definiert als

$$b_1 = \frac{c_{V1}}{c_A} \tag{III.1}$$

mit

$c_A$  : Anzahl der angebotenen Rufe je Zeiteinheit.

$c_{V1}$  : Anzahl der Rufe je Zeiteinheit, die infolge von Eingangsblockierung verloren gehen.

$(c_A - c_{V1})$  Rufe gehen nicht infolge von Eingangsblockierung verloren. Infolge von Abnehmerblockierung gehen damit  $(c_A - c_{V1})[m_j]$  Rufe verloren. Damit wird die Verlustwahrscheinlichkeit  $b_{sj}$ :

$$b_{sj} = \frac{(c_A - c_{V1}) \cdot [m_j]}{c_A}$$

Mit Gl.(III.1) ergibt sich:

$$b_{sj} = (1 - b_1) \cdot [m_j] \quad (III.2)$$

Die Verlustwahrscheinlichkeit infolge von Eingangsblockierung und die Verlustwahrscheinlichkeit infolge von Abnehmerblockierung schließen sich gegenseitig aus, damit gilt:

$$B = b_1 + b_{sj}$$

Daraus ergibt sich mit Gl.(III.2):

$$B = b_1 + (1 - b_1) \cdot [m_j] \quad (III.3)$$

D.h. ein Ruf kann verloren gehen (erfolglos sein) entweder durch Blockierung jenes Koppelvielfachs der Stufe 1 an dessen Eingang er eintrifft, oder, wenn dieses Koppelvielfach nicht blockiert ist, durch Abnehmerblockierung.

### 2.1.2 Die Gesamtverlustwahrscheinlichkeit B mit Zwischenblockierungen

Die Berechnung der Gesamtverlustwahrscheinlichkeit B wird zunächst am Beispiel eines 3-stufigen Linksystems durchgeführt. Hierbei sei  $i_2 > k_2$ , d.h. es tritt Verlust  $b_{z2}$  infolge von Zwischenblockierung in der Stufe 2 auf.

Nach Gl.(III.1) war die Verlustwahrscheinlichkeit infolge von Eingangsblockierung:

$$b_1 = \frac{c_{V1}}{c_A}$$

Für die Verlustwahrscheinlichkeit  $b_{z2}$  gilt analog zu Gl.(III.2):

$$b_{z2} = \frac{c_A - c_{V1}}{c_A} \cdot [m_{12}] = (1 - b_1) [m_{12}] \quad (III.4)$$

mit

$[m_{12}]$ : Zwischenblockierung in der Stufe 2.

Damit gehen  $\{c_A - (c_{V1} + (c_A - c_{V1})[m_{12}])\}$  Rufe weder durch Eingangs- noch durch Zwischenblockierung verloren. Mit dieser Zahl von Rufen ergibt sich die Verlustwahrscheinlichkeit  $b_{sj}$  infolge von Abnehmerblockierung:

$$b_{sj} = \frac{\{c_A - (c_{V1} + (c_A - c_{V1})[m_{12}])\} \cdot [m_j]}{c_A}$$

Mit Gl.(III.1) und (III.4) wird:

$$b_{sj} = \{1 - (b_1 + b_{z2})\} [m_j] \quad (III.5)$$

$b_1$ ,  $b_{z2}$  und  $b_{sj}$  schließen sich gegenseitig aus, damit gilt:

$$\begin{aligned} B &= b_1 + b_{z2} + b_{sj} = \\ &= b_1 + (1 - b_1)[m_{12}] + \{1 - (b_1 + (1 - b_1)[m_{12}])\} [m_j] \end{aligned}$$

oder umgeformt:

$$\begin{aligned} B &= b_1 + (1 - b_1)[m_{12}] + (1 - b_1)[m_j] - (1 - b_1)[m_{12}][m_j] = \\ &= b_1 + (1 - b_1) \cdot \{1 - (1 - [m_{12}])(1 - [m_j])\} \end{aligned} \quad (III.6)$$

Hierbei ist  $\{1 - (1 - [m_{12}])(1 - [m_j])\}$  gerade die Wahrscheinlichkeit, daß entweder Zwischenblockierung oder Abnehmerblockierung auftritt.

Allgemein gilt für s-stufige Linksysteme:

$$B = b_1 + (1 - b_1) \cdot \left\{1 - \prod_{v=2}^{s-1} (1 - [m_{1v}])\right\} (1 - [m_j]) \quad (III.7)$$

2.2 Zufallsverkehr 1. Art

2.2.1 Der Verlust  $b_1$  infolge von Eingangsblockierung

Es gilt:

$$b_1 = w(k_1) \tag{III.8}$$

Hierbei ist allgemein  $w(x)$  ( $x = 0, 1, \dots, k_1$ ) die Wahrscheinlichkeit, daß von den  $k_1$  Ausgängen eines Koppelvielfachs der Stufe 1  $x$  Leitungen belegt sind.

Für  $w(x)$  wird eine Erlang-Verteilung wie im vollkommenen Bündel mit  $k_1$  Leitungen angenommen, damit ist:

mit  $w(k_1) = E_{k_1}(A_0)$

$Y_1 = A_0(1 - E_{k_1}(A_0))$  als vorgegebene Belastung.

$E_{k_1}(A_0)$  ist die Erlang'sche Verlustformel, es gilt:

$$E_{k_1}(A_0) = \frac{\frac{A_0^{k_1}}{k_1!}}{\sum_{i=0}^{k_1} \frac{A_0^i}{i!}} \tag{III.9}$$

Das fiktive Angebot  $A_0$  wird durch Iteration so bestimmt, daß mit der Verteilung des vollkommen erreichbaren Bündels die vorgegebene Belastung  $Y_1$  mit vorgeschriebener Genauigkeit (z.B.  $10^{-6}$ ) erreicht wird.

2.2.2 Die Abnehmerblockierung  $[m_j]$  (Bündelblockierung)

Bei der Berechnung von  $[m_j]$  wird das Links-system durch eine einstufige, unvollkommen erreichbare Koppelanordnung ersetzt, deren konstante Erreichbarkeit gleich der mittleren Prüfbarkeit  $m_j$  ist /9, 11, 13, 16/.

Es ergibt sich /11, 13, 16/:

$$m_j = \prod_{\nu=1}^{s-1} (k_\nu - Y_\nu) \cdot k_{sj} + \eta_j \cdot Y_1 \tag{III.10a}$$

mit  $\prod_{\nu=1}^x (k_\nu - Y_\nu) \leq g_{\nu+1} \quad (x = 1, 2, \dots, s-1)$

und  $m_j \leq n_{sj}$

} (III.10b)

Damit wird:

$$[m_j] = \sum_{x=m_j}^{n_{sj}} G_j(x) \cdot p_j(x) \tag{III.11}$$

mit

$p_j(x)$ : Wahrscheinlichkeit, daß  $x$  von den  $n_{sj}$  Leitungen des betrachteten Abnehmerbündels belegt sind.

$G_j(x)$ : Sperrwahrscheinlichkeit der einstufigen "Ersatz"-Koppelanordnung im Zustand  $\{x\}$ .

Für  $p_j(x)$  wird wieder - analog zu  $w(x)$  - eine Erlang-Verteilung im vollkommenen Bündel gleicher Belastung  $Y_{sj}$  angenommen; der Rechengang verläuft entsprechend zur Herleitung der MPJ-Verlustformel /2, 3, 7/. Es ist:

$$[m_j] = \frac{E_{n_{sj}}(A_0)}{E_{n_{sj}-m_j}(A_0)} \tag{III.12}$$

mit  $Y_{sj} = A_0(1 - E_{n_{sj}}(A_0))$  als vorgegebener Belastung.

Anmerkung:

Da im allgemeinen die mittlere Prüfbarkeit  $m_j$  nach Gl.(III.9) nicht ganzzahlig ist, erhält man  $[m_j]$  bzw.  $G_j(x)$  durch lineare Interpolation zwischen den Werten für  $m_{ju}$  und  $m_{jo}$  (siehe Definition Kapitel II).

Es ist dann:

$$G_j(x) = \frac{\binom{x}{m_{ju}}}{\binom{n_{sj}}{m_{ju}}} (m_{jo} - m_j) + \frac{\binom{x}{m_{jo}}}{\binom{n_{sj}}{m_{jo}}} (m_j - m_{ju}) \tag{III.13}$$

und

$$[m_j] = (m_{j0} - m_j) \sum_{x=m_{ju}}^{n_{sj}} G_j(x) p_j(x) + (m_j - m_{ju}) \sum_{x=m_{jo}}^{n_{sj}} G_j(x) p_j(x)$$

oder umgeformt:

$$[m_j] = (m_{j0} - m_j) \frac{E_{n_{sj}}(A_0)}{E_{n_{sj} - m_{ju}}(A_0)} + (m_j - m_{ju}) \frac{E_{n_{sj}}(A_0)}{E_{n_{sj} - m_{jo}}(A_0)} \quad (III.14)$$

### 2.2.3 Die Zwischenblockierung $[m_{1y}]$

Bei der Berechnung der Zwischenblockierung  $[m_{1y}]$  wird der Teil des Linksystems bis einschließlich der Stufe  $y$  durch eine einstufige, unvollkommen erreichbare Koppelanordnung ersetzt, deren konstante Erreichbarkeit gleich der mittleren Prüfbarkeit  $m_{1y}$  ist.

Für  $m_{1y}$  gilt entsprechend zu  $m_j$  nach Gl.(III.10):

$$\left. \begin{aligned} m_{1y} &= \prod_{s=1}^{y-1} (k_s - Y_s) \cdot k_y + Y_1 \\ \text{mit } \prod_{s=1}^k (k_s - Y_s) &\leq g_{s+1} \quad (k = 1, 2, \dots, y-1) \\ \text{und } m_{1y} &\leq k_y g_y \end{aligned} \right\} \quad (III.15)$$

In Gl.(III.10) für  $m_j$  steht der Faktor  $\eta_j Y_1$ . Dies ist der Anteil von  $Y_1$ , der in die betrachtete Richtung führt und der damit ebenfalls auf frei oder besetzt geprüft werden kann. Hier in Gl.(III.15) ist  $\eta_j = 1$ , da alle  $Y_1$  im Mittel belegten Ausgänge eines Koppelvielfachs der Stufe 1 zu dem betrachteten Zwischenleitungsbündel führen.

Für die Zwischenblockierung gilt:

$$[m_{1y}] = \sum_{x=m_{1y}}^{k_y g_y} G_y(x) p_y(x) = \frac{E_{k_y g_y}(A_0)}{E_{k_y g_y - m_{1y}}(A_0)} \quad (III.16)$$

mit

$p_y(x)$  : Wahrscheinlichkeit, daß  $x$  von den  $k_y g_y$  Leitungen des betrachteten Zwischenleitungsbündels zwischen Stufe  $y$  und Stufe  $y+1$  belegt sind.

$G_y(x)$  : Sperrwahrscheinlichkeit der einstufigen "Ersatz"-Koppelanordnung im Zustand  $\{x\}$ .

Der Rechengang verläuft entsprechend zu Abschnitt 2.2.2, wobei hier von der vorgegebenen Belastung der  $g_y k_y$  Zwischenleitungen ausgegangen wird.

### 2.3 Zufallsverkehr 2. Art

#### 2.3.1 Der Verlust $b_1$ infolge von Eingangsblockierung

Entsprechend zur Verlustwahrscheinlichkeit eines einstufigen, vollkommen erreichbaren Bündels bei endlicher Zahl von Verkehrsquellen gilt (Mischungen hinter der Stufe 1 werden nicht betrachtet):

$$b_1 = \frac{i_1 - k_1}{i_1 - Y_1} w(k_1) \quad (III.17)$$

Für  $w(x)$  wird eine "Erlang-Bernoulli-Verteilung" angenommen. Damit ist:

$$w(k_1) = \frac{\binom{i_1}{k_1} \alpha_0^{k_1}}{\sum_{y=0}^{k_1} \binom{i_1}{y} \alpha_0^y} \quad (III.18)$$

$\alpha_0$  ist eine "fiktive" Anrufrate, sie wird iterativ so bestimmt, daß

$$Y_1 = \sum_{x=1}^{k_1} x \cdot w(x) \quad (III.19)$$

als vorgegebene Belastung mit vorgeschriebener Genauigkeit erfüllt ist.

2.3.2 Die Abnehmerblockierung  $[m_j]$  (Bündelblockierung)

$m_j$  und  $G_j(x)$  werden entsprechend zu Abschnitt 2.2.2 berechnet. Für  $p_j(x)$  wird bei endlicher Quellenzahl wieder eine "Erlang-Bernoulli-Verteilung" angenommen. Hierbei wird eine Quellenzahl

$$Q = i_1 \cdot g_1 \quad (III.20)$$

zugrunde gelegt. Damit erhält man entsprechend zur BQ-Formel für Mischungen bei endlicher Quellenzahl /4/:

$$[m_j] = \frac{E_{n_{sj}}(\alpha_o, Q)}{E_{n_{sj}-m_j}(\alpha_o, Q)} \quad (III.21)$$

mit

$$E_{n_{sj}}(\alpha_o, Q) = \frac{\binom{Q}{n_{sj}} \alpha_o^{n_{sj}}}{\sum_{\nu=0}^Q \binom{Q}{\nu} \alpha_o^{\nu}}$$

$\alpha_o$  wird wieder iterativ so bestimmt, daß sich die vorgegebene Belastung  $Y_{sj}$  ergibt (vgl. Abschnitt 2.3.1).

Wie in Abschnitt 2.2.2 muß zwischen den Werten für  $m_{ju}$  und  $m_{jo}$  linear interpoliert werden.

2.3.3 Die Zwischenblockierung  $[m_{1\nu}]$  (vgl. Abschnitt 2.2.3)

Es gilt Gl.(III.21), wobei

- $m_j$  ersetzt wird durch  $m_{1\nu}$ ,
- $n_{sj}$  ersetzt wird durch  $k_{\nu} g_{\nu}$  und
- $Y_{sj}$  ersetzt wird durch die Belastung auf den  $k_{\nu} g_{\nu}$  Zwischenleitungen.

3. Die Wahrscheinlichkeitsverteilung  $p(x)$  für vollkommen erreichbare Bündel mit gemischtem Intern- und Externverkehr

3.1 Zufallsverkehr 1. Art

In /5, 8/ wird ausgehend vom eindimensionalen Zustandsraum die Wahrscheinlichkeitsverteilung  $p(x)$  exakt hergeleitet. Diese Herleitung wird im folgenden kurz skizziert.

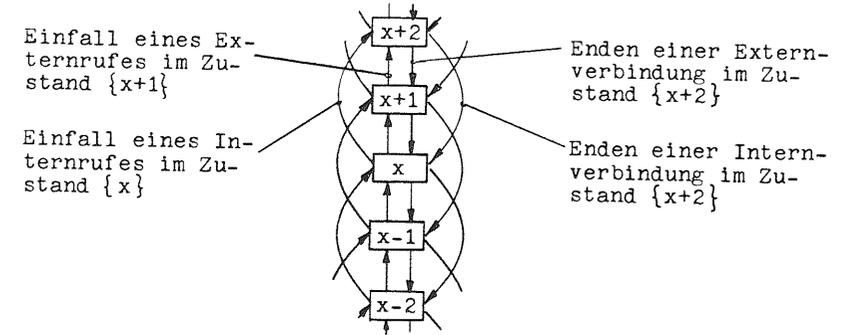


Bild 2: Ausschnitt aus dem eindimensionalen Zustandsraum.

Wegen des - für die interessierende Hauptverkehrszeit - stationären Verkehrsangebots sind alle Zustände  $0 \leq x \leq n$  "im statistischen Gleichgewicht", d.h. der Erwartungswert der Ereignisse "Zustand  $\{x\}$  entsteht" ist gleich jenem für die Ereignisse "Zustand  $\{x\}$  verschwindet".

Für die Berechnung der Wahrscheinlichkeiten  $p(x)$  wird - außer vom statistischen Gleichgewicht - auch noch von der Tatsache der "Zustands-Symmetrie" Gebrauch gemacht; d.h. es werden, vom Zustand  $\{x+2\}$  ausgehend, nur die Übergänge "nach unten" in die Zustände  $\{x+1\}$  und  $\{x\}$  bzw. "von unten" aus den Zuständen  $\{x+1\}$  und  $\{x\}$  nach  $\{x+2\}$  betrachtet.

Führt man die Funktion  $f(x)$  ein, wobei  $f(x)$  der Erwartungswert des Internanteils im Zustand  $\{x\}$  ist, so ergibt sich /5/:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}\{1-f(x+2)\} \cdot (x+2) \cdot dt \cdot p(x+2) + \mathcal{E}\{f(x+2)\} \cdot \frac{x+2}{2} \cdot dt \cdot p(x+2) = \\ = c_{Ae} \cdot dt \cdot p(x+1) + c_{Ai} \cdot dt \cdot p(x) \end{aligned} \quad (I'II.22)$$

In Gleichung (III.22) gibt die linke Seite an mit welcher Wahrscheinlichkeit (in einem Zeitelement dt) der Zustand {x+2} endet und in den Zustand {x+1} bzw. {x} übergeht. Die rechte Seite gibt an mit welcher Wahrscheinlichkeit der Zustand {x+2} aus dem Zustand {x+1} bzw. {x} entsteht.

Hierbei ist:

$\varepsilon\{1-f(x+2)\}(x+2)dt$  : Wahrscheinlichkeit, daß im Zustand {x+2} ein Externruf in der Zeit dt endet, d.h. der Zustand {x+2} geht in den Zustand {x+1} über.

$\varepsilon f(x+2)\frac{x+2}{2} dt$  : Wahrscheinlichkeit, daß im Zustand {x+2} ein Internruf in der Zeit dt endet, d.h. der Zustand {x+2} geht in den Zustand {x} über. Hierbei ist zu beachten, daß allgemein bei x intern belegten Leitungen, x/2 Internverbindungen im Bündel sind. Da die Enderate sich auf die Anzahl der Verbindungen bezieht, muß in Gl.(III.22) der Faktor 1/2 stehen.

$c_{Ae} dt$  : Wahrscheinlichkeit, daß ein Externruf in der Zeit dt einfällt.

$c_{Ai} dt$  : Wahrscheinlichkeit, daß ein Internruf in der Zeit dt einfällt.

Wegen der vorausgesetzten Stationarität des Verkehrs sind alle Wahrscheinlichkeiten p(x) zeitunabhängig ( $p(x,t) = p(x)$ ).

Wird Gl.(III.22) über eine konstante Beobachtungsdauer T integriert, so wird das Integral  $\int_0^T dt = T$

und damit kann Gl.(III.22) durch T dividiert werden.

Wird weiter  $A_e = c_{Ae}/\varepsilon$  und  $A_i = c_{Ai}/\varepsilon$  eingeführt (Extern- bzw. Internangebot) so wird:

$$\begin{aligned} \{1-f(x+2)\}(x+2) \cdot p(x+2) + f(x+2) \cdot \frac{x+2}{2} \cdot p(x+2) &= \\ &= A_e \cdot p(x+1) + A_i \cdot p(x) \end{aligned} \quad (III.23)$$

Intern- und Externverkehr zusammen sind voraussetzungsgemäß im "statistischen Gleichgewicht". Es wird nun davon ausgegangen, daß Extern- und Internverkehr, getrennt betrachtet, sich ebenfalls im "statistischen Gleichgewicht" befinden ( der Beweis für die Exaktheit dieser Annahme kann entsprechend zu Abschnitt 3.2 geführt werden). Damit kann Gl.(III.23) in zwei Teile zerlegt werden:

a) Statistisches Gleichgewicht für den Externverkehr:

$$\{1-f(x+2)\} \cdot (x+2) \cdot p(x+2) = A_e \cdot p(x+1) \quad (III.24)$$

b) Statistisches Gleichgewicht für den Internverkehr:

$$f(x+2) \cdot \frac{x+2}{2} \cdot p(x+2) = A_i \cdot p(x) \quad (III.25)$$

Wird Gl.(III.25) nach f(x+2) aufgelöst und in Gl.(III.24) eingesetzt, so ergibt sich:

$$p(x+2) = \frac{A_e}{x+2} \cdot p(x+1) + 2 \cdot \frac{A_i}{x+2} \cdot p(x) \quad (III.26)$$

Weiter gilt die normierende Bedingung (Randbedingung):

$$\sum_{x=0}^n p(x) = 1 \quad (III.27)$$

wobei n die Anzahl der Leitungen des betrachteten Bündels ist.

Aus Gl.(III.26) und (III.27) ergibt sich schließlich ein geschlossener Ausdruck für p(x) /1, 5, 8/:

$$p(x) = \frac{\sum_{r=0}^{\lfloor \frac{x}{2} \rfloor} \frac{A_i^r \cdot A_e^{x-2r}}{r! \cdot (x-2r)!}}{\sum_{j=0}^n \sum_{r=0}^{\lfloor \frac{j}{2} \rfloor} \frac{A_i^r \cdot A_e^{j-2r}}{r! \cdot (j-2r)!}} \quad (III.28)$$

$\lfloor \frac{x}{2} \rfloor$  bedeutet, "das Ganze von  $\frac{x}{2}$ " (abgerundet).

### 3.2 Zufallsverkehr 2. Art

Bei ZV 1 ist der Anrufprozess des Intern- bzw. Externverkehrs unabhängig von der Zahl der durch Intern- bzw. Externrufe belegten Leitungen. Deshalb ist es zulässig für ZV 1, entsprechend zu Gl.(III.24) bzw. (III.25), das statistische Gleichgewicht getrennt für Extern- bzw. Internverkehr anzuschreiben /5/.

Bei ZV 2 wird der Anrufprozess des einen Verkehrstyps von der Zahl der Belegungen des anderen Verkehrstyps beeinflusst. Eine exakte Berechnung von  $p(x)$  darf deshalb nicht ohne weiteres direkt vom eindimensionalen Zustandsraum wie bei ZV 1 ausgehen.

Im folgenden wird deshalb die Berechnung von  $p(x)$ , ausgehend vom zweidimensionalen Zustandsraum durchgeführt und mit der Berechnung ausgehend vom eindimensionalen Zustandsraum verglichen.

#### 3.2.1 Die Berechnung von $p(x)$ ausgehend vom zweidimensionalen Zustandsraum

Die Intern- bzw. Externbelegungen werden getrennt voneinander betrachtet. Mit  $x_i$  bzw.  $x_e$  wird die Zahl der Intern- bzw. Externbelegungen im Bündel gekennzeichnet (bei  $x_i$  Internbelegungen sind  $2x_i$  Leitungen intern belegt). Damit ergibt sich allgemein folgender Ausschnitt aus dem zweidimensionalen Zustandsraum.

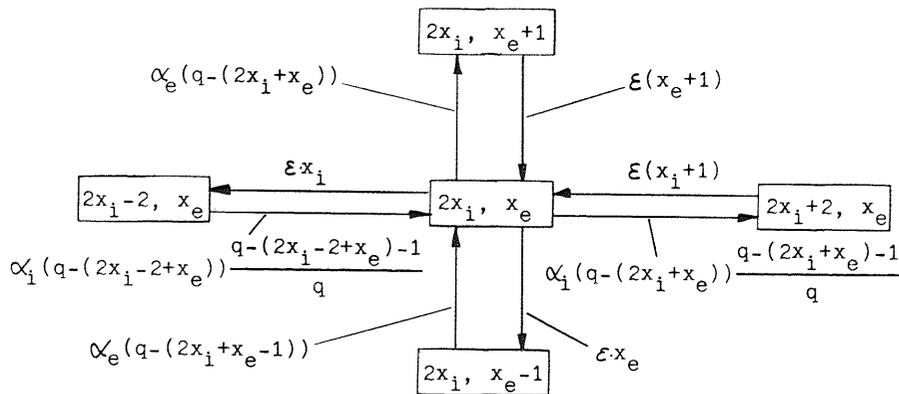


Bild 3: Ausschnitt aus dem zweidimensionalen Zustandsraum.

In Bild 3 ist:

- $\alpha_i(q-(2x_i+x_e))$  : Interne Anrufrate im Zustand  $\{2x_i, x_e\}$ .  
Im Zustand  $\{2x_i, x_e\}$  sind  $q-(2x_i+x_e)$  Quellen frei, jede mit einer internen Anrufrate  $\alpha_i$ .
- $\frac{q-(2x_i+x_e)-1}{q}$  : Wahrscheinlichkeit, daß der gerufene Teilnehmer frei ist. Bei Einfall eines Internrufes im Zustand  $\{2x_i, x_e\}$  wird die  $(2x_i+x_e+1)$ -te Quelle belegt, damit sind  $(q-(2x_i+x_e)-1)$  Quellen frei. Die Wahrscheinlichkeit, daß der gerufene Teilnehmer (einer von denselben  $q$  Teilnehmern (die auch die Quellen bilden)) frei ist, ist dann gerade  $(q-(2x_i+x_e)-1)/q$ .

Nur wenn sowohl ein Internruf eintrifft, als auch der gerufene Teilnehmer frei ist, kann ein Übergang  $\{2x_i, x_e\} \rightarrow \{2x_i+2, x_e\}$  stattfinden.

- $\alpha_e(q-(2x_i+x_e))$  : Externe Anrufrate im Zustand  $\{2x_i, x_e\}$ .
- $\varepsilon(x_i+1)$  : Interne Enderate, wenn  $2x_i+2$  Leitungen durch Internrufe belegt sind. Damit existieren  $x_i+1$  Internbelegungen im Bündel, jede mit einer Enderate  $\varepsilon$ .
- $\varepsilon(x_e+1)$  : Externe Enderate, wenn  $x_e+1$  Externbelegungen im Bündel sind.

Damit wird die zweidimensionale Zustandsgleichung (vgl. Bild 3):

$$\begin{aligned}
 p(2x_i, x_e) & \left\{ \alpha_i(q-(2x_i+x_e)) \frac{q-(2x_i+x_e)-1}{q} + \alpha_e(q-(2x_i+x_e)) + \varepsilon x_i + \varepsilon x_e \right\} = \\
 & = p(2x_i-2, x_e) \cdot \alpha_i(q-(2x_i-2+x_e)) \frac{q-(2x_i-2+x_e)-1}{q} + \\
 & + p(2x_i, x_e-1) \cdot \alpha_e(q-(2x_i+x_e-1)) + \\
 & + p(2x_i+2, x_e) \cdot \varepsilon(x_i+1) + p(2x_i, x_e+1) \cdot \varepsilon(x_e+1)
 \end{aligned}
 \tag{III.29}$$

Zur Veranschaulichung dieser Zustandsgleichung kann man sich die Zustandswahrscheinlichkeiten  $p(2x_i, x_e)$  auf einem Gitter angeordnet denken, man erhält damit eine graphische Darstellung der Zustandsgleichung (Bild 4).

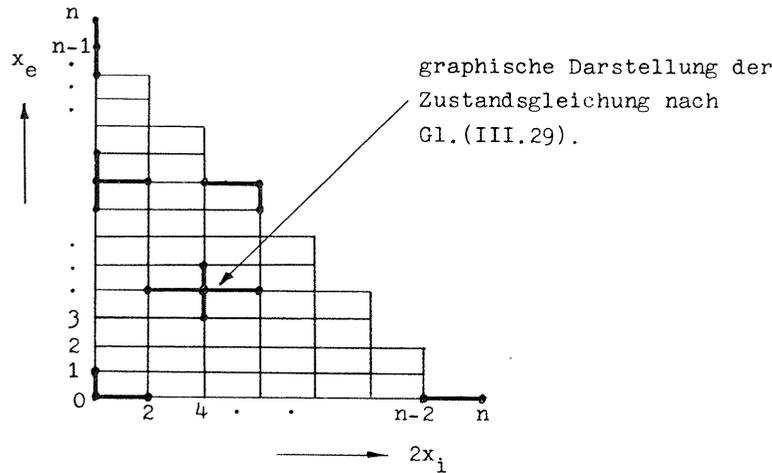


Bild 4: Anordnung der Zustandswahrscheinlichkeiten  $p(2x_i, x_e)$  auf einem Gitter (der Einfachheit halber für geradzahliges  $n$ ); Darstellung der Zustandsgleichung (dick ausgezogene Graphen).

Zur Berechnung von  $p(2x_i, x_e)$  wird von folgendem Ansatz ausgegangen: Es wird zunächst sogenannte "Vollsymmetrie" angenommen, d.h. es werden nur jeweils 2 benachbarte Zustände betrachtet und für diese wird vorausgesetzt, daß sie sich im statistischen Gleichgewicht befinden (z.B.  $\{2x_i, x_e\}$  und  $\{2x_i+2, x_e\}$ ).

Damit können ausgehend von der Zustandswahrscheinlichkeit  $p(0,0)$  die benachbarten Zustandswahrscheinlichkeiten  $p(2,0)$  bzw.  $p(0,1)$  berechnet werden (vgl. Gl. (III.29)):

$$p(2,0) = p(0,0) \frac{\alpha_i}{\epsilon} \cdot q \cdot \frac{q-1}{q} \quad (III.30)$$

$$p(0,1) = p(0,0) \frac{\alpha_e}{\epsilon} \cdot q \quad (III.31)$$

Der Zustand  $\{2,1\}$  kann sowohl durch Einfall eines Internrufes im Zustand  $\{0,1\}$  als auch durch Einfall eines Externrufes im Zustand  $\{2,0\}$  entstehen. D.h. die Berechnung von  $p(2,1)$  muß ausgehend von  $p(2,0)$  bzw. ausgehend von  $p(0,1)$  dasselbe Ergebnis liefern, nur dann ist der gewählte Lösungsansatz mit Hilfe der "Vollsymmetrie" nicht zu verwerfen.

$$p(2,1) = p(2,0) \frac{\alpha_e}{\epsilon} (q-2) \text{ , daraus mit Gl. (III.30):}$$

$$p(2,1) = p(0,0) \frac{\alpha_i}{\epsilon} \frac{\alpha_e}{\epsilon} \frac{q(q-1)(q-2)}{q} \quad (III.32)$$

bzw. 
$$p(2,1) = p(0,1) \frac{\alpha_i}{\epsilon} (q-1) \frac{q-2}{q} \text{ , daraus mit Gl. (III.31):}$$

$$p(2,1) = p(0,0) \frac{\alpha_i}{\epsilon} \frac{\alpha_e}{\epsilon} \frac{q(q-1)(q-2)}{q}$$

Die so berechneten Wahrscheinlichkeiten  $p(2,1)$  stimmen also überein.

Wird dieses Verfahren für weitere Zustände  $\{x_i, x_e\}$  fortgeführt, so läßt sich das Bildungsgesetz für die Zustandswahrscheinlichkeiten  $p(2x_i, x_e)$  erkennen. Man erhält folgende geschlossene Lösung, in der noch  $p(0,0)$  unbekannt ist (im folgenden wird auf die mittlere Belegungsdauer  $h = 1$  normiert, damit wird  $\epsilon = 1/h = 1$ ):

$$p(2x_i, x_e) = p(0,0) \frac{\alpha_i^{x_i} \cdot \alpha_e^{x_e}}{x_i! \cdot x_e! \cdot (q - (2x_i + x_e))!} \cdot q^{x_i} \quad (III.33)$$

Außerdem gilt die Bedingung, daß die Summe aller Zustandswahrscheinlichkeiten  $p(2x_i, x_e)$  gleich eins ist:

$$\sum_{x_i=0}^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor} \sum_{x_e=0}^{n-2x_i} p(2x_i, x_e) = 1 \quad (III.34)$$

Mit Gl.(III.34) kann die unbekannte Wahrscheinlichkeit  $p(0,0)$  in Gl.(III.33) eliminiert werden, es ergibt sich:

$$p(2x_1, x_e) = \frac{\alpha_1^{x_1} \alpha_e^{x_e} q!}{x_1! x_e! (q-(2x_1+x_e))! q^{x_1}} \quad (III.35)$$

$$\sum_{z_1=0}^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor} \sum_{z_e=0}^{n-2z_1} \frac{\alpha_1^{z_1} \alpha_e^{z_e} q!}{z_1! z_e! (q-(2z_1+z_e))! q^{z_1}}$$

Für die geschlossene Lösung nach Gl.(III.35) muß noch geprüft werden, ob sie die allgemeine Zustandsgleichung nach Gl.(III.29) bzw. ob sie alle möglichen Zustandsgleichungen gemäß Bild 4 befriedigt. Dann und nur dann stellt  $p(2x_1, x_e)$  nach Gl.(III.35) die allgemeine Lösung des Gleichungssystems nach Bild 4 dar. Dieser Beweis kann durch Einsetzen von Gl.(III.35) in (III.29) einfach geführt werden.

Mit Hilfe der zweidimensionalen Zustandswahrscheinlichkeit  $p(2x_1, x_e)$  soll nun die eindimensionale Zustandswahrscheinlichkeit  $p(x)$  berechnet werden.

Es ist :  $x = 2x_1 + x_e$  (III.36)

Ausgehend von Gl.(III.33) mit  $p(0,0) = p(0)$  ergibt sich:

$$p(x) = \sum_{x_1=0}^{\lfloor \frac{x}{2} \rfloor} p(2x_1, x-2x_1) = p(0) \sum_{x_1=0}^{\lfloor \frac{x}{2} \rfloor} \frac{\alpha_1^{x_1} \alpha_e^{x-2x_1} q!}{x_1! (x-2x_1)! (q-x)! q^{x_1}}$$

$$p(x) = p(0) \frac{q!}{(q-x)!} \sum_{x_1=0}^{\lfloor \frac{x}{2} \rfloor} \frac{\alpha_1^{x_1} \alpha_e^{x-2x_1}}{x_1! (x-2x_1)! q^{x_1}} \cdot 1 \quad (III.37)$$

### 3.2.2 Die Berechnung von $p(x)$ ausgehend vom eindimensionalen Zustandsraum

Im folgenden wird gezeigt daß sich dieselbe exakte Lösung auch ergibt aus einer Abbildung des zweidimensionalen auf einen eindimensionalen Zustandsraum.

Der Ansatz der eindimensionalen Zustandsgleichung entsprechend zu Gl.(III.23) (bei ZV 1) ergibt (mit  $\epsilon = 1$ ):

$$\{1-f(x+2)\} \cdot (x+2) \cdot p(x+2) + f(x+2) \cdot \frac{x+2}{2} \cdot p(x+2) = \quad (III.38)$$

$$= \alpha_e (q-x-1) \cdot p(x+1) + \alpha_1 (q-x) \cdot p(x) \cdot \frac{q-x-1}{q}$$

hierbei ist:

- $\alpha_e (q-x-1)$  : Externe Anrufrate im Zustand  $\{x+1\}$ ,
- $\alpha_1 (q-x)$  : Interne Anrufrate im Zustand  $\{x\}$ ,
- $\frac{q-(x+1)}{q}$  : Wahrscheinlichkeit, daß der gerufene Teilnehmer (einer aus  $q$ ) bei  $(x+1)$  belegten Quellen frei ist.

Durch getrenntes Aufstellen des statistischen Gleichgewichts für Intern- bzw. Externverkehr kann entsprechend zu Abschnitt 3.2.1  $f(x)$  eliminiert werden, damit ergibt sich:

$$p(x+2) = \alpha_e \cdot \frac{q-x-1}{x+2} \cdot p(x+1) + \alpha_1 \cdot 2 \cdot \frac{q-x}{x+2} \cdot p(x) \cdot \frac{q-x-1}{q} \quad (III.39)$$

Durch Berechnung von  $p(1)$ ,  $p(2)$  usw. läßt sich das Bildungsgesetz von  $p(x)$  erkennen, es ergibt sich wiederum Gl.(III.37) (für die Summation wird entsprechend zu Gl.(III.37) die Größe  $x_1$  eingeführt):

$$p(x) = p(0) \frac{q!}{(q-x)!} \sum_{x_1=0}^{\lfloor \frac{x}{2} \rfloor} \frac{\alpha_1^{x_1} \alpha_e^{x-2x_1}}{x_1! (x-2x_1)! q^{x_1}} \cdot 1$$

Mit der Bedingung  $\sum_{x=0}^n p(x) = 1$  ergibt sich aus Gl.(III.37):

$$p(x) = \frac{\frac{q!}{(q-x)!} \sum_{x_1=0}^{\lfloor \frac{x}{2} \rfloor} \frac{\alpha_i^{x_1}}{x_1!} \frac{\alpha_e^{x-2x_1}}{(x-2x_1)!} \frac{1}{q^{x_1}}}{\sum_{r=0}^n \frac{q!}{(q-r)!} \sum_{x_1=0}^{\lfloor \frac{r}{2} \rfloor} \frac{\alpha_i^{x_1}}{x_1!} \frac{\alpha_e^{r-2x_1}}{(r-2x_1)!} \frac{1}{q^{x_1}}} \quad (\text{III.40})$$

Damit ist der Beweis erbracht, daß für die Berechnung von  $p(x)$  für ZV 2 ebenfalls von der eindimensionalen Zustandsgleichung ausgegangen werden darf (Gl.(III.39)).

#### IV. Linkssysteme mit gemischtem Intern- und Externverkehr

##### 1. Übersicht

Bei doppelt-gerichteten Linkssystemen mit gemischtem Intern- und Externverkehr können 3 Verkehrstypen unterschieden werden:

1. Internverkehr
2. Abgehender Externverkehr
3. Ankommender Externverkehr.

Diese 3 Verkehrstypen werden in Abschnitt 2 dieses Kapitels näher beschrieben.

In Abschnitt 3 werden die Annahmen diskutiert, die bezüglich des Internverkehrs und des ankommenden Externverkehrs gemacht werden.

Die  $g_s k_s$  "rechtsseitigen" Leitungen (siehe Bild 5) der letzten (s-ten) Stufe des betrachteten Linksystems können entweder als ein Leitungsbündel betrieben werden oder sie können in 2 oder mehr Bündel für abgehende und ankommende Verkehre (intern bzw. extern) aufgeteilt werden. Hier können 5 wesentliche Betriebsarten unterschieden werden.

Ein kurzer Überblick über diese 5 Betriebsarten mit den wesentlichen Strukturmerkmalen wird in Abschnitt 4 gegeben.

In den Abschnitten 5, 6, 7 und 8 werden nacheinander diese 5 Betriebsarten ausführlich beschrieben und es werden jeweils die Verlustwahrscheinlichkeiten und andere charakteristische Verkehrsgrößen berechnet.

Diese Berechnung erfolgt sowohl für den rechnerisch einfacheren Fall von Zufallsverkehr 1.Art als auch für den realistischeren Fall von Zufallsverkehr 2.Art. Bei ZV 2 werden bezüglich des Internverkehrs noch 2 Wegesuchalgorithmen unterschieden, für die jeweils getrennt die Verlustwahrscheinlichkeiten berechnet werden.

Am Ende der Abschnitte 5, 6, 7 und 8 werden jeweils Rechen-ergebnisse verglichen mit Simulationsergebnissen. Um diese Vergleiche durchführen zu können, wurden für die 5 Betriebsarten umfangreiche Simulationsprogramme erstellt.

2. Die Verkehrstypen

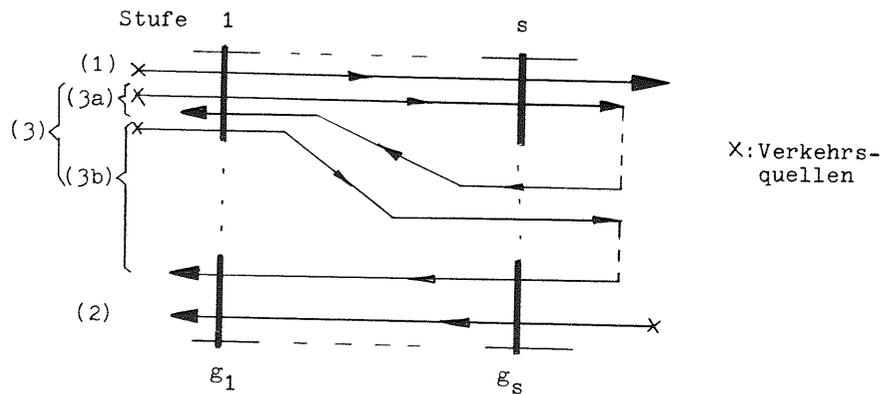


Bild 5: Die 3 Verkehrstypen eines Linksystems mit Internverkehr.

Es werden 3 Verkehrstypen unterschieden:

- (1) Abgehender Externverkehr : Dieser Verkehr wird von Verkehrsquellen auf der "linken Seite" des Linksystems erzeugt (vgl. Bild 5). Ein abgehender Externruf belegt einen Weg im Linksystem (vgl. auch Kapitel II). Die Größen, die sich auf den abgehenden Externverkehr beziehen, werden mit einem Index "eg" gekennzeichnet.
- (2) Ankommender Externverkehr : Dieser Verkehr wird von Verkehrsquellen auf der "rechten Seite" des Linksystems erzeugt (vgl. Bild 5). Ein ankommender Externruf belegt ebenfalls einen Weg im Linksystem (vgl. auch Kapitel II). Die Größen, die sich auf den ankommenden Externverkehr beziehen, werden mit einem Index "ek" gekennzeichnet.

(3) Internverkehr

: Dieser Verkehr wird von den Verkehrsquellen auf der "linken Seite" des Linksystems erzeugt (vgl. Bild 5). Ein Internruf belegt zwei Wege im Linksystem, einen abgehenden und einen ankommenden Weg (vgl. Kapitel II). Die Größen, die sich auf den Internverkehr beziehen, werden mit einem Index "i" gekennzeichnet. Hierbei kennzeichnet der Index:

- "ig" : die Verkehrsgrößen des intern abgehenden Verkehrs,
- "ik" : die Verkehrsgrößen des intern ankommenden Verkehrs.

Zur genaueren Beschreibung des Internverkehrs ist es zweckmäßig denselben zu unterteilen:

- (3a) Koppelvielfachinterner Verkehr: Dies ist jener Teil des Internverkehrs, bei dem Zielkoppelvielfach gleich Ursprungskoppelvielfach ist (vgl. Bild 5). Dieser Verkehr wird mit einem Index "k" gekennzeichnet. Ferner kennzeichnet der Index:
  - "kg" : die Verkehrsgrößen des koppelvielfachinternen abgehenden Verkehrs,
  - "kk" : die Verkehrsgrößen des koppelvielfachinternen ankommenden Verkehrs.
- (3b) Systeminterner Verkehr: Darunter versteht man jenen Teil des Internverkehrs, bei dem Zielkoppelvielfach ungleich Ursprungskoppelvielfach ist (vgl. Bild 5). Dieser Verkehr wird mit einem Index "s" gekennzeichnet. Hierbei kennzeichnet der Index:
  - "sg" : die Verkehrsgrößen des systeminternen abgehenden Verkehrs,
  - "sk" : die Verkehrsgrößen des systeminternen ankommenden Verkehrs.

Der Übersichtlichkeit halber wird eine weitere, für die Berechnung der Zwischenblockierung im allgemeinen notwendige, Unterteilung des Internverkehrs erst später, direkt bei der Beschreibung des Rechengangs bei Berücksichtigung der Zwischenblockierung, eingeführt (vgl. Abschnitt 5.4.1.2).

3. Annahmen

3.1 Annahmen für den Internverkehr

Der abgehende und ankommende Teil einer Internverbindung innerhalb der betrachteten Teilnehmerwahl-Koppelanordnung (TW) werden (in der Regel) zwischen abgehend belegter Leitung und der ankommend belegten Leitung hinter der Stufe s über eine zusätzliche ein- oder mehrstufige Koppelanordnung miteinander verbunden (vgl. Bild 6: RW-Koppelanordnung). Hierbei wird angenommen:

1. Die Durchschaltung über diese zusätzliche Richtungswahl-Koppelanordnung (RW) erfolge praktisch verlustlos,
2. Zeitverzögerungen im Verbindungsaufbau, die durch diese zusätzliche Koppelanordnung verursacht werden, werden vernachlässigt. D.h. es wird angenommen, daß der abgehende und ankommende Teil der Internverbindung gleichzeitig hergestellt werden.

Zu Annahme 1 (Bild 6):

In Kapitel II wurde als Beispiel folgendes System gezeigt (vgl. /26, 27/):

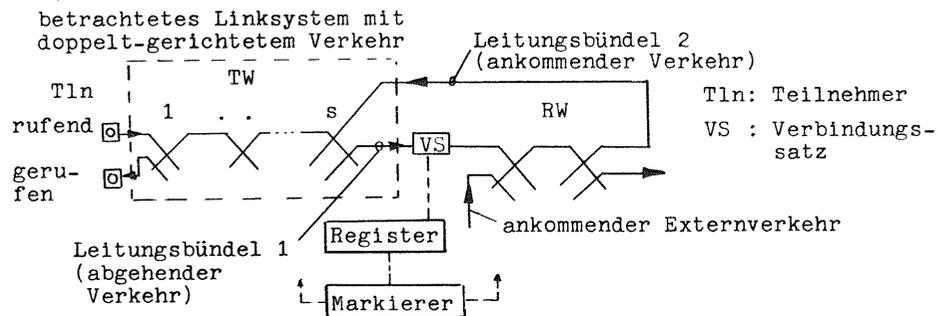


Bild 6: Anordnung aus Teilnehmerwahl- (TW) und Richtungswahl- (RW) Koppelanordnung.

Bei diesem System nach Bild 6 ist die in der Annahme 1 betrachtete zusätzliche Koppelanordnung die Richtungswahl-Koppelanordnung (RW).

Es wird vorausgesetzt, daß ankommende Rufe konjugiert über die RW- und die TW-Koppelanordnung durchgeschaltet werden, d.h. konjugierte Durchschaltung vom "linksseitigen" Eingang der RW-Koppelanordnung bis zum "linksseitigen" Zielkoppelvielfach der TW-Koppelanordnung.

Es wird weiter angenommen, daß die RW-Koppelanordnung eine vernachlässigbar kleine "innere Blockierung" besitzt. Dann darf vorausgesetzt werden, daß alle freien Leitungen von der RW-Koppelanordnung zur TW-Koppelanordnung (Leitungsbündel 2 in Bild 6) durch den Markierer bei seinem Durchschaltversuch benutzbar sind.

Damit kann wiederum die konjugierte Durchschaltung von einem "linksseitigen" Eingang der RW-Koppelanordnung zu einem "linksseitigen" Zielkoppelvielfach der TW-Koppelanordnung ("Punkt-Punkt-Markierung") ersetzt werden durch die konjugierte Durchschaltung vom "linksseitigen" Zielkoppelvielfach zum Leitungsbündel 2 der TW-Koppelanordnung ("Punkt-Bündel-Markierung"). Es darf also im folgenden sowohl für den abgehenden als auch den ankommenden Teil des Internverkehrs "Punkt-Bündel-Markierung" zugrunde gelegt werden.

(Dies bedeutet im Beispiel nach Bild 6:

- abgehender Internverkehr: "Punkt-Bündel-Markierung" vom Ursprungskoppelvielfach ("linke Seite" der TW-Koppelanordnung) zum Leitungsbündel 1,
- ankommender Internverkehr: "Punkt-Bündel-Markierung" vom Zielkoppelvielfach ("linke Seite" der TW-Koppelanordnung) zum Leitungsbündel 2.)

Zu Annahme 2:

In einem System nach Bild 6 erfolgt die Durchschaltung einer Internverbindung z.B. in 3 Schritten:

- a) Konjugierte Durchschaltung des rufenden Teilnehmers über die TW-Koppelanordnung zu einem freien Verbindungssatz und einem freien Register.
- b) Aufnahme und Auswertung der Wählzeichen im Register.
- c) Nach der Wahl der gesamten Rufnummer wird der gerufene Teilnehmer markiert. Es erfolgt eine konjugierte Durchschaltung vom Verbindungssatz über die RW-Koppelanordnung und die TW-Koppelanordnung zum gerufenen Teilnehmer.

Wird näherungsweise eine konstante Zeit T für die Wahl und die Auswertung der Rufnummer angenommen, so ist die Durchschaltung des ankommenden Teils der Internverbindung um die Zeit T verzögert gegenüber der Durchschaltung des abgehenden Teils.

Für die Wähl- und Auswertzeit können 10% bis 20% der mittleren Belegungsdauer eines Gesprächs angenommen werden.

Zur Untersuchung dieser konstanten Verzögerungszeit T wurde in /18/ ein zeittreues Simulationsprogramm erstellt, mit dem Strukturen nach Bild 6 nachgebildet werden können. Die Untersuchungen ergaben, daß sich durch die zusätzliche konstante Zeit T die Belastung der TW-Koppelanordnung bei gleicher Anrufrate entsprechend erhöht; die Verlustwahrscheinlichkeit hat aber denselben Wert, wie wenn sie bei dieser (höheren) Belastung, jedoch ohne Zeitverzögerung, ermittelt worden wäre. Wird also bei der Berechnung solcher Linksysteme von der Belastung des Systems ausgegangen, so kann die Zeitverzögerung zwischen der Herstellung des abgehenden und ankommenden Teils einer Internverbindung vernachlässigt werden.

3.2 Annahmen für den ankommenden Externverkehr

- 1. Der ankommende Externverkehr wird von den Verkehrsquellen fremder Linksysteme erzeugt, d.h. von anderen Teilnehmergruppen derselben Vermittlungsstelle oder von Teilnehmergruppen fremder Vermittlungsstellen. Das Ziel dieses Verkehrs sind die Teilnehmer, d.h. "linksseitigen" Eingänge (Bild 6) der Koppelvielfache der Stufe 1, des betrachteten Linksystems.

Für den Anrufprozess des ankommenden Externverkehrs wird unabhängig vom Anrufprozess des Intern- bzw. abgehenden Externverkehrs (ZV 1 oder ZV 2) immer Zufallsverkehr 1. Art (ZV 1) zugrunde gelegt. Diese Voraussetzung ist gerechtfertigt, da der ankommende Externverkehr von einer Teilnehmerzahl erzeugt wird, die sehr viel größer ist als die Teilnehmerzahl des betrachteten Linksystems.

- 2. Der ankommende Externverkehr wird im allgemeinen ebenfalls über eine zusätzliche Koppelanordnung geführt (im Beispiel nach Bild 6 trifft der ankommende Externverkehr an den "linksseitigen" Eingängen der RW-Koppelanordnung ein). Für die Durchschaltung über diese zusätzliche Koppelanordnung gilt wieder die Annahme der Blockierungsfreiheit, d.h. Annahme 1 bezüglich des ankommenden Internverkehrs (Abschnitt 3.1) ist ebenfalls für den ankommenden Externverkehr gültig. Damit kann auch für den ankommenden Externverkehr "Punkt-Bündelmarkierung" zugrunde gelegt werden (d.h. im Beispiel nach Bild 6: konjugierte Durchschaltung vom "linksseitigen" Zielkoppelvielfach zum Leitungsbündel 2 der TW-Koppelanordnung).

4. Überblick über die 5 Betriebsarten

In den folgenden Abschnitten 5, 6, 7 und 8 werden nacheinander die 5 Betriebsarten ausführlich behandelt. Dieser Abschnitt soll eine kurze Zusammenfassung dieser Betriebsarten bezüglich ihrer wesentlichen Merkmale geben.

Betriebsart 1 (vgl. Abschnitt 5)

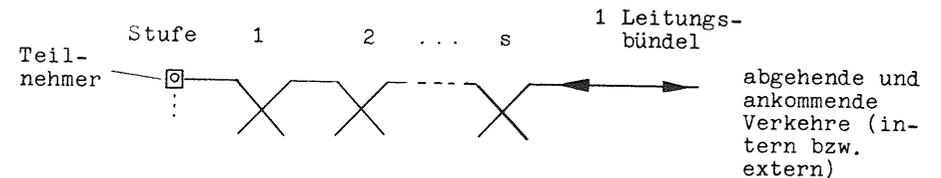


Bild 7: Linksystem mit Betriebsart 1.

Bei der Betriebsart 1 werden die "rechtsseitigen" Leitungen der letzten Stufe des Linksystems als ein Leitungsbündel betrieben (Bild 7). Auf diesem einen doppelt-gerichteten Leitungsbündel wird sowohl abgehender und ankommender Internverkehr als auch abgehender und ankommender Externverkehr geführt.

Betriebsart 2 (vgl. Abschnitt 6)

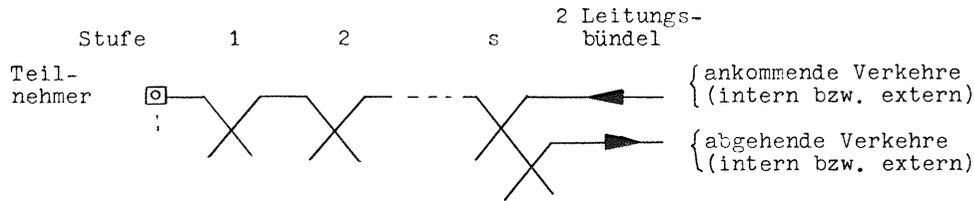


Bild 8: Linksystem mit Betriebsart 2.

Bei Betriebsart 2 sind die "rechtsseitigen" Leitungen der letzten Stufe des Linksystems in zwei einfach-gerichtete Leitungsbündel aufgeteilt (Bild 8). Das eine Leitungsbündel führt nur abgehenden Verkehr (intern bzw. extern), das zweite Leitungsbündel führt nur ankommenden Verkehr (intern bzw. extern) (vgl. das Beispiel in Abschnitt 3, Bild 6).

Betriebsart 3 (vgl. Abschnitt 7)

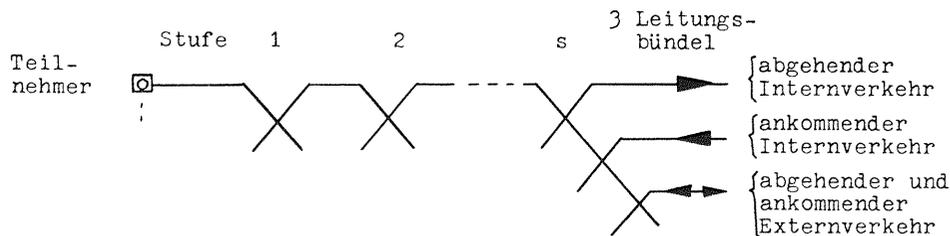


Bild 9: Linksystem mit Betriebsart 3.

Bei Betriebsart 3 sind die "rechtsseitigen" Leitungen der letzten Stufe des Linksystems in 3 Leitungsbündel aufgeteilt (Bild 9). Zwei einfach-gerichtete Leitungsbündel führen den abgehenden bzw. ankommenden Internverkehr. Das dritte, doppelt-gerichtete Leitungsbündel führt den Externverkehr (abgehend bzw. ankommend).

Betriebsart 4 (vgl. Abschnitt 7)

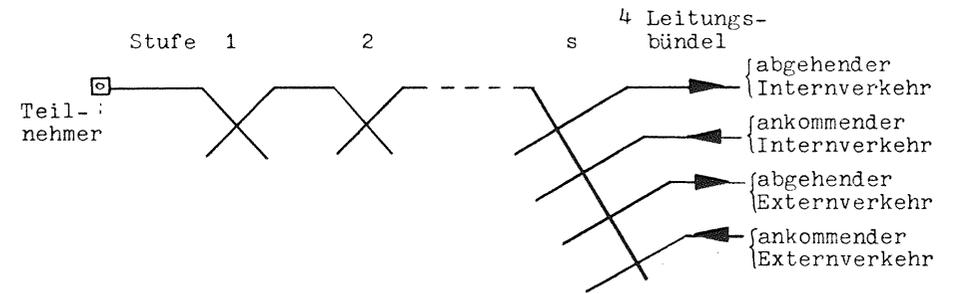


Bild 10: Linksystem mit Betriebsart 4.

Bei Betriebsart 4 sind die "rechtsseitigen" Leitungen der letzten Stufe des Linksystems in 4 einfach-gerichtete Leitungsbündel aufgeteilt (Bild 10). Entsprechend wie bei Betriebsart 3 führen zwei einfach-gerichtete Leitungsbündel den abgehenden bzw. ankommenden Internverkehr. Die restlichen zwei einfach-gerichteten Leitungsbündel führen den abgehenden bzw. ankommenden Externverkehr.

Betriebsart 5 (vgl. Abschnitt 8)

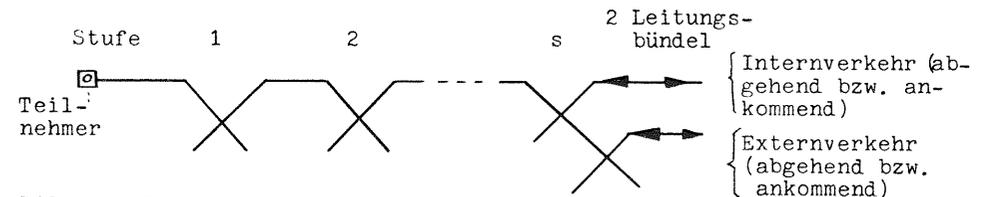


Bild 11: Linksystem mit Betriebsart 5.

Bei Betriebsart 5 sind die "rechtsseitigen" Leitungen der letzten Stufe des Linksystems in zwei doppelt-gerichtete Leitungsbündel aufgeteilt (Bild 11). Das eine Leitungsbündel führt den Internverkehr (abgehend bzw. ankommend), das zweite Leitungsbündel führt den Externverkehr (abgehend bzw. ankommend).

Für die Verlustberechnung in den nachfolgenden Kapiteln IV.5, 6, 7 und 8 muß die Verlustwahrscheinlichkeit aus zahlreichen Teilverlusten des abgehenden bzw. ankommenden Verkehrs in der Stufe 1, in Zwischenstufen und in den Leitungsbündeln hinter der Stufe s zusammengesetzt werden. In der folgenden Tabelle 1 (Seite 47a - 47c) wird gezeigt, wie sich der Gesamtverlust bei den verschiedenen Betriebsarten, Verkehrstypen usw. aus den einzelnen Verlustwahrscheinlichkeiten zusammensetzt. Es wird jeweils mittels Gleichungs- und Seitennummer die Stelle angegeben, wo diese Verluste berechnet werden.

Zufallsverkehr	1. Art					2. Art	
	Wegesuchalgorithmus					1	2
	1	2	3	4	5	1 - 5	1 - 5
Betriebsart							
$B = B_{eg} + B_{ek} + B_i$				Gl.(IV.34), S. 60			
$B_{eg} = f(b_{eg}^b)$				Gl.(IV.31), S. 60			
$B_{ek} = f(b_{ek}^b)$				Gl.(IV.32), S. 60			
$B_i = f(b_i^b)$				Gl.(IV.33), S. 60			
$b_{eg} = f([m]_{eg}^b)$				Gl.(IV.11), S. 61			
$eg^b$		Gl.(IV.55), S.74			Gl.(IV.102), S.97		
$[m]_{eg}$				Gl.(IV.68), S. 77			
$[m]_{eg}$	(IV.44) S. 70	(IV.153) S. 123	(IV.169) S. 145		wie bei ZV 1		
$b_{ek} = f([m]_{ek}^b)$				Gl.(IV.12), S. 61			
$ek^b$		Gl.(IV.56), S.74			Gl.(IV.102), S.97		
$[m]_{ek}$	(IV.45) S. 71	(IV.154) S. 123	(IV.170) S. 145		wie bei ZV 1		
$b_i = f(b_k^b, b_s^b, b(\bar{b}))$				Gl.(IV.29), S. 67			
$b_k = b_{kg} + b_{kk}$				Gl.(IV.15), S. 56			
$b_{kg} = f([m]_{kg}^b, k_{L1}^c/k_A^c, [m]_{bg}^b, [m]_{ig}^b)$				Gl.(IV.13), S. 63			
$b_{kk} = f([m]_{kk}^b, k_{L1}^c/k_A^c, [m]_{bg}^b, [m]_{ig}^b, [m]_{ik}^b)$				Gl.(IV.14), S. 64			

Tabelle 1 (1. Teil): Die verschiedenen Verlustwahrscheinlichkeiten. (Fortsetzung Seite 47b)

Zufallsverkehr	1. Art					2. Art	
	Wegesuchalgorithmus					1	2
	1	2	3	4	5	1 - 5	1 - 5
Betriebsart							
$kg^b$		Gl.(IV.57), S.74			(IV.104) S. 98	(IV.115) S. 101	
$kk^b$		Gl.(IV.59), S.75			(IV.105) S. 98	(IV.116) S. 101	
$k_{L1}^c/k_A^c$		Gl.(IV.61), S.76			(IV.107) S. 98	(IV.119), S.102 (IV.122), S.103	
$k_{L1}^c/k_A^c$		Gl.(IV.62), S.76			(IV.108) S. 98	(IV.119), S.102 (IV.123), S.104	
$[m]_{bg}$		Gl.(IV.69), S.77, (IV.70), S.78, (IV.71), S.78					
$[m]_{ig}$	(IV.46) S. 71	(IV.155) S. 123	(IV.171) S. 145	(IV.183) S. 160			
$[m]_{ik}$	(IV.47) S. 71	(IV.156) S. 124	(IV.172) S. 145	(IV.184) S. 160			
$b_s^{(b)} = b_{sg}^{(b)} + b_{sk}^{(b)}$				Gl.(IV.18b), S. 65		wie bei ZV 1	
$b_{sg}^{(b)} = f([m]_{sg}^b, s_{L1}^c/s_A^c, [m]_{bg}^b, [m]_{ig}^b)$				Gl.(IV.16b), S. 65		wie bei ZV 1	
$b_{sk}^{(b)} = f([m]_{sk}^b, s_{L1}^c/s_A^c, [m]_{bg}^b, [m]_{ig}^b, [m]_{ik}^b)$				Gl.(IV.17b), S. 65			
$b_s^{(\bar{b})} = b_{sg}^{(\bar{b})} + b_{sk}^{(\bar{b})}$				Gl.(IV.18c), S. 67			
$b_{sg}^{(\bar{b})} = f([m]_{sg}^b, s_{L1}^c/s_A^c, [m]_{bg}^b, [m]_{ig}^b)$				Gl.(IV.16c), S. 66			

Tabelle 1 (2. Teil): Die verschiedenen Verlustwahrscheinlichkeiten. (Fortsetzung Seite 47c)

Zufallsverkehr Wegesuchalgorithmus Betriebsart	1. Art					2. Art		
						1	2	
	1	2	3	4	5	1 - 5	1 - 5	
$b_{sk}(\bar{b}) = f(s_k^c v_1^c / s^c A, s^c L_1^c / s^c A, [m_{1y}] \bar{b}_{yg}, [m_{1y}] \bar{b}_{yk}, [m]_{ig}, [m]_{ik})$	Gl. (IV.17c), S. 66							
$sg^b_1$	Gl. (IV.57), S.74				(IV.103) S. 98	(IV.124) S. 105		
$sg^c L_1^c / s^c A$	Gl. (IV.63), S.76				(IV.109) S. 99	(IV.125), S.105 (IV.130), S.107		
$sk^c v_1^c / s^c A$	Gl. (IV.64), S.76				(IV.110) S. 99	(IV.131) S. 107		
$s^c L_1^c / s^c A$	Gl. (IV.65), S.76				(IV.111) S. 99	(IV.132) S. 108		
$[m_{1y}] \bar{b}_{yg}, [m_{1y}] \bar{b}_{yk}, [m]_{ig}, [m]_{ik}$	Gl. (IV.69), S.77, (IV.70), S. 78, (IV.71), S. 78							
	Gl. (IV.72), S. 78							
	(IV.46) S. 71	(IV.155) S. 123	(IV.171) S. 145	(IV.183) S. 160	wie bei ZV 1			
	(IV.47) S. 71	(IV.156) S. 124	(IV.172) S. 145	(IV.184) S. 160	wie bei ZV 1			

Tabelle 1 (3. Teil): Die verschiedenen Verlustwahrscheinlichkeiten.

5. Betriebsart 1

5.1 Allgemeines

In Abschnitt 5 wird zunächst die Betriebsart 1 behandelt. Der Verkehrsablauf bei dieser Betriebsart wird in Abschnitt 5.2 beschrieben.

In Abschnitt 5.3 werden die vorgegebenen Parameter behandelt. In Abschnitt 5.4 werden die gesuchten charakteristischen Verkehrsgrößen für die verschiedenen Verkehrstypen hergeleitet.

In Abschnitt 5.5 werden für Zufallsverkehr 1. Art die Wahrscheinlichkeitsverteilungen und die daraus resultierenden Verlustwahrscheinlichkeiten berechnet.

In Abschnitt 5.6 wird Zufallsverkehr 2. Art behandelt. Hierbei werden bei der Verlustberechnung zwei Wegesuchalgorithmen unterschieden. (Bei Zufallsverkehr 1. Art unterscheidet sich die Verlustberechnung für beide Algorithmen nicht.)

In Abschnitt 5.7 werden Rechenergebnisse und Ergebnisse der Verkehrssimulation gezeigt und miteinander verglichen.

5.2 Die Beschreibung der Betriebsart 1

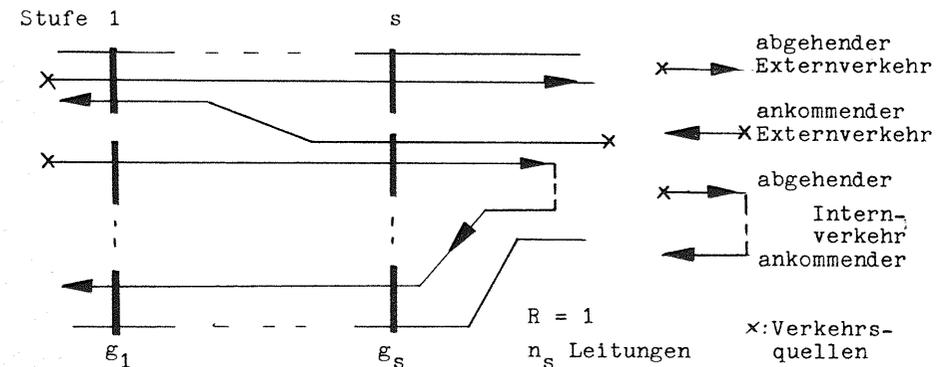


Bild 12: s-stufiges Linksystm mit Betriebsart 1.

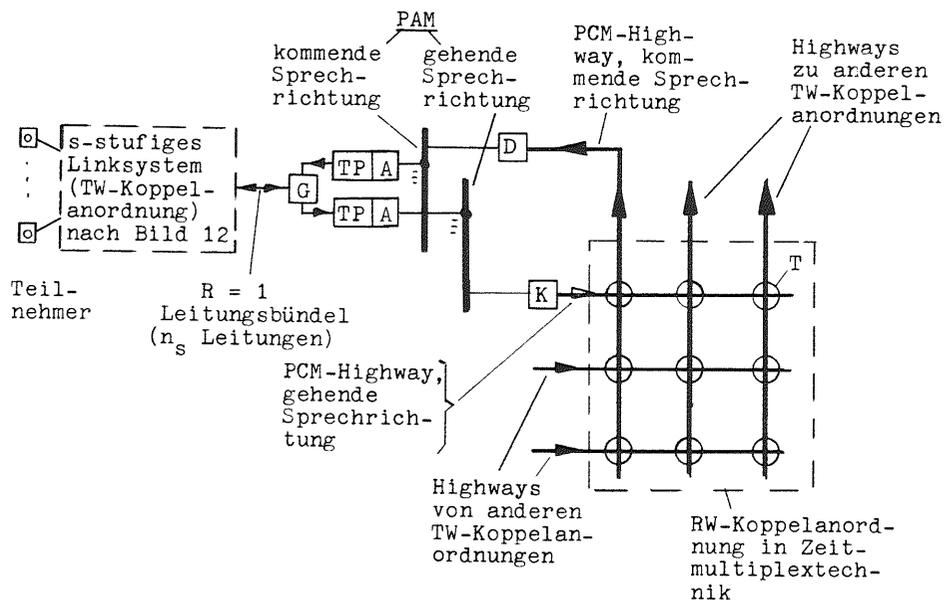
Das Linksystem hat ein Leitungsbündel hinter der Stufe s ( $R = 1$ ). (Für  $s = 2$  und ZV 1 ist in /12/ diese Betriebsart in vereinfachter Form bereits untersucht worden.)

Auf diesem einen Leitungsbündel werden alle 3 Verkehrstypen, also abgehender Externverkehr, ankommender Externverkehr und abgehender und ankommender Teil des Internverkehrs, abgewickelt. D.h. eine Internverbindung belegt auf diesem einen Leitungsbündel gleichzeitig zwei Leitungen.

Bei der Wegesuche kann von jedem abgehenden bzw. ankommenden Externruf jede der  $n_s$  Leitungen auf frei oder besetzt geprüft werden (vgl. Abschnitt 3.2).

Solche Linksysteme mit einem Leitungsbündel, auf dem alle 3 Verkehrstypen geführt werden, können z.B. in zukünftigen PCM-Vermittlungssystemen auftreten /36/.

Bild 13 zeigt den Übersichtsplan des Sprechwegenetzes einer solchen PCM-Vermittlung. Die Richtungswahl-Koppelanordnung (RW) arbeitet hier im Zeitvielfach.



G : Gabelschaltung      K : Kodierer  
 TP : Tiefpass          D : Dekodierer  
 A : Abtastschaltung    T : Torschaltung

Bild 13: PCM-Vermittlung mit Zeitvielfach-RW-Koppelanordnung (Prinzip).

Den  $n_s$  Leitungen hinter der Stufe s der TW-Koppelanordnung entsprechen  $n_s$  Zeitlagen sowohl im gehenden als auch im kommenden Highway. ( Dies entspricht einer 2-Draht-Durchschaltung in der TW-Koppelanordnung und einer 4-Draht-Durchschaltung nach der Gabel G.)

Anmerkung: Die TW-Koppelanordnung in Bild 13 entspricht in diesem Beispiel einem Raumvielfach-Linksystem eines sog. Konzentrators, der im Vorfeld des Anschlußbereichs einer PCM-Ortsvermittlungsstelle z.B. 200 - 500 Teilnehmer über ca. 30 - 60 Leitungen bzw. Zeitkanäle im Zeitmultiplex mit der Ortsvermittlungsstelle verbindet /36/.

RW-Zeitvielfach-Koppelanordnungen werden z.B. in /38/ für den blockierungsfreien Fall betrachtet.

### 5.3 Die gegebenen Größen

Gegeben sind die Strukturparameter des Linksystems und dessen Belastungen auf dem Leitungsbündel hinter der Stufe s:

- $Y_i$  : Belastung des Bündels mit Internverkehr (Internbelastung)
- $Y_{eg}$  : Belastung mit abgehendem Externverkehr (abgehende Externbelastung)
- $Y_{ek}$  : Belastung mit ankommendem Externverkehr (ankommende Externbelastung).

Damit ergibt sich die Gesamtbelastung:

$$Y_{ges} = Y_i + Y_{eg} + Y_{ek} \quad (IV.1)$$

Die gesamte Externbelastung ergibt sich zu:

$$Y_e = Y_{eg} + Y_{ek} \quad (IV.2)$$

Damit liegen die (gegebenen) Belastungen des Linksystems fest.

Um eine übersichtliche Darstellung zu erhalten wird das Verhältnis von Intern- zu Gesamtbelastung eingeführt:

$$d_{ges} = \frac{Y_i}{Y_{ges}} \quad (IV.3)$$

Zur Berechnung der mittleren Prüfbarkeit  $m$  werden die Belastungen je Koppelvielfach in den verschiedenen Koppelstufen des Linksystems benötigt (vgl. Gl.(III.10)).

Es gilt:

$$Y_v = \frac{Y_{ges}}{g_v} \quad \text{für } v = 1, 2, \dots, s \quad (IV.4)$$

Insbesondere wird zur Berechnung der Wahrscheinlichkeit  $w(k_1)$  (Eingangsblockierung der Stufe 1) die Belastung  $Y_1$  dieser  $k_1$  Leitungen benötigt.

Nach Gl.(IV.4) ist:

$$Y_1 = \frac{Y_{ges}}{g_1}$$

Entsprechend werden die externen Belastungen eines Koppelvielfachs der Stufe 1 berechnet:

$$\left. \begin{aligned} e^{Y_1} &= \frac{Y_e}{g_1} \\ eg^{Y_1} &= \frac{Y_{eg}}{g_1} \\ ek^{Y_1} &= \frac{Y_{ek}}{g_1} \end{aligned} \right\} \quad (IV.5)$$

Die interne Belastung ist:

$$i^{Y_1} = \frac{Y_i}{g_1} \quad (IV.6)$$

Gemäß der Definition des Internverkehrs in Kapitel IV.2 wird bei der Betrachtung eines Koppelvielfachs der Stufe 1 zwischen koppelvielfachinternem und systeminternem Verkehr unterschieden.

Beim koppelvielfachinternen Verkehr ist Ursprungskoppelvielfach gleich Zielkoppelvielfach. Unter der Voraussetzung, daß sich der ankommende Teil des Internverkehrs gleichmäßig auf die  $g_1$  Koppelvielfache der Stufe 1 aufteilt, ergibt sich die koppelvielfachinterne Belastung zu:

$$k^{Y_1} = \frac{i^{Y_1}}{g_1} = \frac{1}{g_1} \cdot \frac{Y_i}{g_1} \quad (IV.7)$$

D.h. der  $g_1$ -te Teil der Internrufe belegt von den  $k_1$  Leitungen eines Koppelvielfachs der Stufe 1 gleichzeitig zwei Leitungen (eine abgehende und eine ankommende Leitung).

Die systeminterne (aber nicht koppelvielfachinterne) Belastung ergibt sich zu:

$$s^{Y_1} = i^{Y_1} - k^{Y_1} = \left(1 - \frac{1}{g_1}\right) \cdot \frac{Y_i}{g_1} \quad (IV.8)$$

Um eine übersichtliche Darstellung zu erhalten, werden folgende, auf ein Koppelvielfach der Stufe 1 bezogene Größen eingeführt:

- Verhältnis koppelvielfachinterne Belastung zu Gesamtbelastung:

$$k^{d_1} = \frac{k^{Y_1}}{Y_1} \quad (IV.9)$$

- Verhältnis systeminterne Belastung zu Gesamtbelastung:

$$s^{d_1} = \frac{s^{Y_1}}{Y_1} \quad (IV.10)$$

#### 5.4 Die gesuchten charakteristischen Verkehrsgrößen

##### 5.4.1 Gemeinsame Beziehungen für ZV 1 und ZV 2

###### 5.4.1.1 Berechnung der Verkehrsgrößen, wenn keine Zwischenblockierungen auftreten

In der Praxis werden oft Linkssysteme eingesetzt, bei denen wegen der Struktur des Linksystems entweder keine Zwischenblockierungen auftreten oder aber die Zwischenblockierungen gegenüber den anderen Verlustwahrscheinlichkeitsanteilen (infolge von Eingangs- bzw. Bündelblockierung) vernachlässigbar klein sind.

Deshalb werden zunächst der Übersichtlichkeit halber die verschiedenen Verlustwahrscheinlichkeiten ohne Zwischenblockierungen angegeben. In Abschnitt 5.4.1.2 werden dann die Zwischenblockierungen bei der Verlustberechnung berücksichtigt.

Ohne Berücksichtigung der Zwischenblockierungen setzen sich die Verlustrufe des extern abgehenden Verkehrsangebots aus 2 Teilen zusammen, nämlich

- a) jenen Verlustrufen, die infolge von Eingangsblockierung der Stufe 1 entstehen  
und
- b) jenen Verlustrufen, die infolge von Bündelblockierung entstehen. (Der Begriff "Abnehmerblockierung" (vgl. Kapitel III.2, CIRB) wird hier ersetzt durch den Begriff "Bündelblockierung", da das Leitungsbündel hinter der Stufe s abgehenden und ankommenden Verkehr abwickelt und deshalb nicht mehr als Abnehmerbündel bezeichnet werden kann.)

Diese Verlustrufe werden jeweils bezogen auf die Gesamtzahl der angebotenen Rufe des abgehenden Externverkehrs. Analog zu Gl.(III.3) in Kapitel III.2 erhält man die Verlustwahrscheinlichkeit des abgehenden Externverkehrs zu:

$$b_{eg} = e_g b_1 + (1 - e_g b_1) \cdot [m]_{eg} \quad (IV.11a)$$

hierbei ist:

- $e_g b_1$  : Wahrscheinlichkeit (Wsch.), daß ein abgehender Externruf infolge von Eingangsblockierung (Blockierung des Ursprungskoppelvielfachs) verloren geht.
- $[m]_{eg}$  : Wsch., daß Bündelblockierung für abgehende Externrufe existiert. Die mittlere Prüfbarkeit  $m$  wird hier nicht weiter indiziert, da bei Betriebsart 1 nur ein Leitungsbündel hinter der Stufe s vorhanden ist.

Wie bereits in Abschnitt 3.2 ausgeführt, wird für den ankommenden Externverkehr, ebenso wie für den abgehenden Externverkehr, "Punkt-Bündel-Markierung" zugrunde gelegt. D.h. die Wegesuche erfolgt ausgehend vom Zielkoppelvielfach konjugiert bis zum Leitungsbündel hinter der Stufe s.

Die Verlustrufe des extern ankommenden Verkehrsangebots setzen sich deshalb aus den folgenden 2 Teilen zusammen (entsprechend zu den Verlustrufen des extern abgehenden Verkehrsangebots):

- a) jenen Verlustrufen, die infolge von Blockierung des Zielkoppelvielfachs in der Stufe 1 entstehen (dieser Fall entspricht der Eingangsblockierung  $w(k_1)$ )

- und
- b) jenen Verlustrufen, die infolge von Bündelblockierung entstehen.

Diese Verlustrufe werden wieder jeweils bezogen auf die Gesamtzahl der angebotenen Rufe des ankommenden Externverkehrs. Damit gilt für die Verlustwahrscheinlichkeit des extern ankommenden Verkehrs:

$$b_{ek} = e_k b_1 + (1 - e_k b_1) \cdot [m]_{ek} \quad (IV.12a)$$

hierbei ist:

- $e_k b_1$  : Wsch., daß ein ankommender Externruf infolge von Blockierung des Zielkoppelvielfachs verloren geht.
- $[m]_{ek}$  : Wsch., daß Bündelblockierung für ankommende Externrufe existiert.

Die Verlustwahrscheinlichkeit des Internverkehrs setzt sich zusammen aus den Verlustwahrscheinlichkeiten des koppelvielfach-internen und des systeminternen Verkehrs. Es müssen also zunächst diese koppelvielfach-internen bzw. systeminternen Teilverlustwahrscheinlichkeiten berechnet werden.

Die koppelvielfachinterne Verlustwahrscheinlichkeit  $b_k$

(Im folgenden wird "koppelvielfachintern" wegen der kürzeren Schreibweise mit "kv-intern" abgekürzt.)

Die kv-interne Verlustwahrscheinlichkeit setzt sich aus den Verlustwahrscheinlichkeitsanteilen in abgehender und in ankommender Richtung zusammen.

- Kv-interne Verlustrufe treten in abgehender Richtung entweder infolge von Blockierung des Ursprungskoppelvielfachs auf, ferner, solange dieses Koppelvielfach nicht blockiert ist, durch Bündelblockierung (vgl. hierzu auch Gl.(IV.11a)). Damit ergibt sich die kv-interne Verlustwahrscheinlichkeit  $b_{kg}$  in abgehender Richtung, bezogen auf das kv-interne Angebot:

$$b_{kg} = k_g b_1 + \frac{k_g^c L_1}{k^c A} \cdot [m]_{ig} \quad (IV.13a)$$

Hierbei ist:

$k_g b_1$  : Wsch., daß ein kv-interner Ruf in abgehender Richtung infolge von Blockierung des Ursprungskoppelvielfachs verloren geht.

$\frac{k_g^c L_1}{k^c A}$  : Relativer Anteil der kv-internen abgehenden Rufe, die im Ursprungskoppelvielfach eine freie Zwischenleitung finden.  
Wie später noch ausführlich gezeigt wird, ist sowohl bei ZV 1 als auch bei ZV 2 und Wegesuchalgorithmus 1  $k_g^c L_1 / k^c A = 1 - k_g b_1$ , jedoch gilt dies nicht bei ZV 2 und Wegesuchalgorithmus 2. Deshalb wird hier zunächst allgemein der obige Term eingeführt.

$[m]_{ig}$  : Wsch., daß Bündelblockierung für Internrufe in abgehender Richtung existiert.

- Bei der Berechnung der kv-internen Verlustwahrscheinlichkeit  $b_{kk}$  in ankommender Richtung wird wie beim ankommenden Externverkehr "Punkt-Bündel-Markierung" vom Zielkoppelvielfach zum Leitungsbündel hinter der Stufe s des Linksystems vorausgesetzt.

In ankommender Richtung treten deshalb kv-interne Verlustrufe auf, entweder infolge von Blockierung des Zielkoppelvielfachs (= Ursprungskoppelvielfach); oder außerhalb des Zustands "Blockierung des Zielkoppelvielfachs" durch Bündelblockierung (aber nur dann, wenn der Ruf nicht bereits in abgehender Richtung verloren gegangen ist).

Es ergibt sich:

$$b_{kk} = k k b_1 (1 - [m]_{ig}) + \frac{k^c L_1}{k^c A} \cdot [m]_{ik} \quad (IV.14a)$$

hierbei ist:

$k k b_1$  : Wsch., daß ein ankommender kv-interner Ruf infolge von Blockierung des Zielkoppelvielfachs (= Ursprungskoppelvielfach) und nicht bereits in abgehender Richtung durch Blockierung des Ursprungskoppelvielfachs verloren geht.

$(1 - [m]_{ig})$ : Wsch., daß für abgehende Internrufe keine Bündelblockierung existiert.

$\frac{k^c L_1}{k^c A}$  : Relativer Anteil der kv-internen Rufe, die im Ursprungskoppelvielfach (= Zielkoppelvielfach) sowohl in abgehender als auch in ankommender Richtung eine freie Zwischenleitung finden (vgl. auch die Bemerkung zu Gl.(IV.13a)).

$[m]_{ik}$  : Wsch., daß Bündelblockierung für Internrufe in ankommender aber nicht in abgehender Richtung existiert.

Die kv-internen Verlustwahrscheinlichkeiten  $b_{kg}$  nach Gl.(IV.13a) bzw.  $b_{kk}$  nach Gl.(IV.14a) schließen sich gegenseitig aus, deshalb ergibt sich die kv-interne Verlustwahrscheinlichkeit  $b_k$  zu:

$$b_k = b_{kg} + b_{kk} \quad (IV.15)$$

Die systeminterne Verlustwahrscheinlichkeit  $b_s$

Die systeminterne Verlustwahrscheinlichkeit setzt sich ebenfalls zusammen aus den Verlustwahrscheinlichkeitsanteilen in abgehender und in ankommender Richtung.

- Die systeminterne Verlustwahrscheinlichkeit  $b_{sg}$  in abgehender Richtung, bezogen auf das systeminterne Angebot, wird entsprechend zur kv-internen Verlustwahrscheinlichkeit  $b_{kg}$  in abgehender Richtung berechnet. Es ist:

$$b_{sg} = s g b_1 + \frac{s g^c L_1}{s^c A} [m]_{ig} \quad (IV.16a)$$

hierbei ist:

$s g b_1$  : Wsch., daß ein systeminterner Ruf in abgehender Richtung infolge von Blockierung des Ursprungskoppelvielfachs verloren geht.

$\frac{s g^c L_1}{s^c A}$  : Relativer Anteil der systeminternen abgehenden Rufe, die im Ursprungskoppelvielfach eine freie Zwischenleitung finden.

- Entsprechend wie beim ankommenden kv-internen Verkehr treten systeminterne Verlustrufe in ankommender Richtung auf, entweder infolge von Blockierung des Zielkoppelvielfachs ( $\neq$  Ursprungskoppelvielfach); oder außerhalb des Zustands "Blockierung des Zielkoppelvielfachs" durch Bündelblockierung (aber nur dann, wenn der Ruf nicht bereits in abgehender Richtung verloren gegangen ist).

Es ergibt sich:

$$b_{sk} = \frac{sk^c V1}{s^c A} (1 - [m]_{ig}) + \frac{s^c L1}{s^c A} \cdot [m]_{ik} \quad (IV.17a)$$

hierbei ist:

$\frac{sk^c V1}{s^c A}$  : Relativer Anteil jener systeminternen Rufe, die zwar in abgehender Richtung in ihrem eigenen Ursprungskoppelvielfach einen freien Ausgang finden, aber in ankommender Richtung infolge von Blockierung des Zielkoppelvielfachs verloren gehen.  
Anmerkung: Im Gegensatz zum kv-internen Verkehr ist beim systeminternen Verkehr Ziel- und Ursprungskoppelvielfach nicht identisch. Die Blockierung des Ursprungskoppelvielfachs ereignet sich hier also unabhängig von der Blockierung des Zielkoppelvielfachs. Dagegen ist beim kv-internen Verkehr in der Beziehung für  $kk^b_1$  implizit enthalten, daß in abgehender Richtung keine Blockierung des Ursprungskoppelvielfachs aufgetreten ist (vgl. hierzu z.B. Abschnitt 5.5.5).

$(1 - [m]_{ig})$  : Wsch., daß für den abgehenden Internverkehr keine Bündelblockierung existiert.

$\frac{s^c L1}{s^c A}$  : Relativer Anteil der systeminternen Rufe, die sowohl im Ursprungskoppelvielfach in abgehender Richtung als auch im Zielkoppelvielfach ( $\neq$  Ursprungskoppelvielfach) in ankommender Richtung eine freie Leitung finden.

Die systeminternen Verlustwahrscheinlichkeiten  $b_{sg}$  nach Gl.(IV.16a) bzw.  $b_{sk}$  nach Gl.(IV.17a) schließen sich gegenseitig aus, deshalb ergibt sich die systeminterne Verlustwahrscheinlichkeit  $b_s$  zu:

$$b_s = b_{sg} + b_{sk} \quad (IV.18a)$$

Sind diese externen und internen Verlustwahrscheinlichkeiten (bei vorgeschriebenen Belastungswerten) berechnet, so können die verschiedenen zugehörigen Verkehrsangebote bestimmt werden, es ist:

- das Externangebot in abgehender Richtung:

$$A_{eg} = \frac{Y_{eg}}{1 - b_{eg}} \quad (IV.19)$$

- das Externangebot in ankommender Richtung:

$$A_{ek} = \frac{Y_{ek}}{1 - b_{ek}} \quad (IV.20)$$

Die interne Gesamtbelastung teilt sich auf in ihren kv-internen Teil  $Y_k$  und ihren systeminternen Teil  $Y_s$  ( $Y_i = Y_k + Y_s$ ). Daraus ergibt sich:

- das kv-interne Angebot:

$$A_k = \frac{Y_k}{2(1 - b_k)} \quad (IV.21)$$

- das systeminterne Angebot:

$$A_s = \frac{Y_s}{2(1 - b_s)} \quad (IV.22)$$

Der Faktor 2 in Gl.(IV.21) und (IV.22) rührt daher, daß jeder erfolgreiche Internruf zwei Leitungen belegt, die zu einem Anruf gehören.

Damit ergibt sich das interne Gesamtangebot zu:

$$A_i = A_k + A_s \quad (IV.23)$$

Wird von der Voraussetzung ausgegangen, daß sich das gesamte Angebot des Internverkehrs  $A_i$  gleichmäßig auf alle  $g_1$  Koppelvielfache der Stufe 1 aufteilt, dann ergibt sich für das kv-interne Angebot des gesamten Linksystems:

$$A_k = \frac{1}{g_1} A_i \quad (IV.24)$$

also für das systeminterne Angebot:

$$A_s = \left(1 - \frac{1}{g_1}\right) A_i \quad (IV.25)$$

Mit Gl.(IV.21) bis (IV.25) ergibt sich die gesamte Intern-Verkehrsbelastung:

$$Y_i = \underbrace{\frac{A_i}{g_1} \cdot 2(1 - b_k)}_{Y_k} + \underbrace{\left(1 - \frac{1}{g_1}\right) \cdot A_i \cdot 2(1 - b_s)}_{Y_s} \quad (IV.26)$$

Damit ergibt sich das interne Gesamtangebot:

$$A_i = \frac{\frac{Y_i}{2}}{\frac{1}{g_1}(1 - b_k) + \left(1 - \frac{1}{g_1}\right)(1 - b_s)} \quad (IV.27)$$

Andererseits gilt (definitionsgemäß):

$$A_i = \frac{\frac{Y_i}{2}}{1 - b_i} \quad (IV.28)$$

Mit Gl.(IV.27) und (IV.28) ergibt sich die Wahrscheinlichkeit für den gesamten Internverlust (kv-intern oder systemintern),

bezogen auf alle (abgehend) angebotenen Internrufe:

$$b_i = \frac{1}{g_1} b_k + \left(1 - \frac{1}{g_1}\right) b_s \quad (IV.29a)$$

Damit sind alle Einzelverlustwahrscheinlichkeiten, bezogen auf das jeweilige Angebot, bestimmt. Für die Dimensionierung eines Linksystems ist aber noch die Gesamtverlustwahrscheinlichkeit, bezogen auf das Gesamtangebot, von Interesse. Es ist:

$$A_{ges} = A_{eg} + A_{ek} + A_i \quad (IV.30)$$

Damit wird:

- der Externverlust abgehend, bezogen auf alle Rufe:

$$B_{eg} = \frac{A_{eg}}{A_{ges}} b_{eg} \quad (IV.31)$$

- der Externverlust ankommend, bezogen auf alle Rufe:

$$B_{ek} = \frac{A_{ek}}{A_{ges}} b_{ek} \quad (IV.32)$$

- der Internverlust, bezogen auf alle Rufe:

$$B_i = \frac{A_i}{A_{ges}} b_i \quad (IV.33)$$

Die Summe dieser 3 Verlustwahrscheinlichkeiten ergibt die Gesamtverlustwahrscheinlichkeit (bezogen auf alle angebotenen Rufe):

$$B = B_{eg} + B_{ek} + B_i \quad (IV.34)$$

5.4.1.2 Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeiten, wenn Zwischenblockierungen auftreten

Treten Zwischenblockierungen auf, so wird Gl.(IV.11a) und Gl.(IV.12a) (Abschnitt 5.4.1.1) entsprechend zu Gl.(III.7) modifiziert (vgl. Kapitel III.2). Es gilt für die Verlustwahrscheinlichkeit des abgehenden Externverkehrs:

$$b_{eg} = e_g b_1 + (1 - e_g b_1) \left\{ 1 - \prod_{\nu=2}^{s-1} (1 - [m_{1\nu}]_{eg}) (1 - [m]_{eg}) \right\} \quad (IV.11b)$$

hierbei ist:

$[m_{1\nu}]_{eg}$  : Wsch., daß für den abgehenden Externverkehr Zwischenblockierung zwischen der Stufe  $\nu$  und der Stufe  $\nu+1$  existiert.

Entsprechend gilt für die Verlustwahrscheinlichkeit des ankommenden Externverkehrs:

$$b_{ek} = e_k b_1 + (1 - e_k b_1) \left\{ 1 - \prod_{\nu=2}^{s-1} (1 - [m_{1\nu}]_{ek}) (1 - [m]_{eg}) \right\} \quad (IV.12b)$$

mit:

$[m_{1\nu}]_{ek}$  : Wsch., daß für den ankommenden Externverkehr Zwischenblockierung zwischen der Stufe  $\nu$  und der Stufe  $\nu+1$  existiert.

Für  $[m_{1\nu}]_{eg} = [m_{1\nu}]_{ek} = 0$  ( $\nu=2,3,\dots,s-1$ ) gehen die Gleichungen (IV.11b) bzw. (IV.12b) in die Gl. (IV.11a) bzw. (IV.12a) über.

Zur Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeiten des Internverkehrs bei möglichen Zwischenblockierungen muß zusätzlich zur Unterscheidung zwischen kv-internem und systeminternem Verkehr noch eine weitere Unterteilung des Internverkehrs vorgenommen werden (Bild 14).

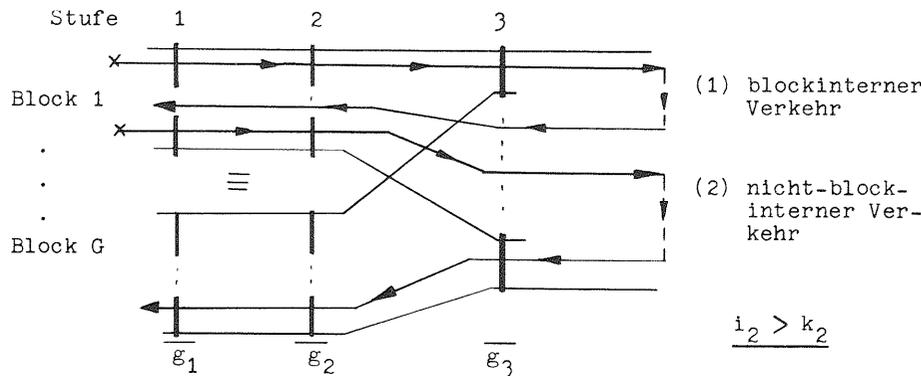


Bild 14: 3-stufiges Linksystem mit Zwischenblockierung in der Stufe 2.

In Bild 14 wurde als Beispiel ein 3-stufiges Linksystem mit Zwischenblockierung in der Stufe 2 ( $i_2 > k_2$ ) gewählt. Hierbei ist das Linksystem zwischen der Stufe 1 und der Stufe 2 in  $G$  Linkblöcke unterteilt. D.h. ein Ruf, der in ein Koppelvielfach der Stufe 1 einfällt, erreicht zwischen der Stufe 2 und der Stufe 3 nur bestimmte  $(g_2 k_2)/G$  aus  $g_2 k_2$  Leitungen. Deshalb muß, wie bei der Unterscheidung "kv-intern" und "systemintern", auch hier unterschieden werden zwischen dem Anteil des Internverkehrs der innerhalb desselben Zwischenleitungsbündels ( $(g_2 k_2)/G$  Leitungen) zwei Leitungen belegt und dem Anteil der jeweils eine Leitung in verschiedenen Zwischenleitungsbündeln belegt.

Dementsprechend wird unterschieden (vgl. Bild 14):

- (1) Blockinterner Verkehr: Dies ist jener Teil des Internverkehrs, der innerhalb desselben Zwischenleitungsbündels mit  $(g_2 k_2)/G$  Leitungen gleichzeitig zwei Leitungen belegt. Dieser Verkehr wird mit einem zusätzlichen Index  $b$  gekennzeichnet.
- (2) Nicht-blockinterner Verkehr: Dies ist jener Teil des Internverkehrs, der jeweils eine Leitung in zwei verschiedenen Zwischenleitungsbündeln belegt. Dieser Verkehr wird mit einem zusätzlichen Index  $b$  gekennzeichnet.

Für den Fall, daß nur ein Linkblock vorhanden ist ( $G = 1$ ), ist natürlich der gesamte Internverkehr gleich dem blockinternen Verkehr, da dann jede Internbelegung auf den insgesamt vorhandenen  $g_2 k_2$  Zwischenleitungen zwischen der Stufe 2 und der Stufe 3 immer zwei Leitungen belegt.

Für die bisher eingeführten Verkehrsanteile des Internverkehrs bedeutet dies:

- kv-interner Verkehr ist immer auch blockinterner Verkehr,
- systeminterner Verkehr muß zusätzlich aufgeteilt werden in den blockinternen und nicht-blockinternen Anteil.

Es werden deshalb folgende neue, interne Verlustwahrscheinlichkeitsanteile eingeführt:

- die system- und blockinterne Verlustwahrscheinlichkeit  $b_s^{(b)}$ ,
- die systeminterne aber nicht blockinterne Verlustwahrscheinlichkeit  $b_s^{(b)}$ .

Diese kv-internen und verschiedenen systeminternen Teilverlustwahrscheinlichkeiten werden im folgenden mit Berücksichtigung der Zwischenblockierungen berechnet.

Die kv-interne Verlustwahrscheinlichkeit  $b_k$

Die kv-interne Verlustwahrscheinlichkeit  $b_{kg}$  in abgehender Richtung, bezogen auf das kv-interne Angebot, ergibt sich entsprechend zum Externverkehr (vgl. Gl.(11b) bzw. Gl.(13a)):

$$b_{kg} = k_g b_1 + \frac{k_g^c L_1}{k^c_A} \cdot \left(1 - \prod_{\nu=2}^{s-1} (1 - [m_{1\nu}]_{bg})(1 - [m]_{ig})\right) \quad (IV.13b)$$

hierbei ist:

$[m_{1\nu}]_{bg}$  : Wsch., daß Zwischenblockierung für abgehende kv-interne Rufe zwischen der Stufe  $\nu$  und der Stufe  $\nu+1$  existiert (kv-interner Verkehr ist gleichzeitig auch blockinterner Verkehr, deshalb der Index b).

(Gl.(IV.13b) geht für  $[m_{1\nu}]_{bg} = 0$  ( $\nu=2, \dots, s-1$ ) über in Gl.(IV.13a).)

Zur Verdeutlichung wird Gl.(IV.13b) für den Fall eines 3-stufigen Linksystems ( $s=3$ ) mit Zwischenblockierung zwischen der Stufe 2 und der Stufe 3 dargestellt:

$$b_{kg} = k_g b_1 + \frac{k_g^c L_1}{k^c_A} \cdot \left(1 - (1 - [m_{12}]_{bg})(1 - [m]_{ig})\right)$$

In ankommender Richtung setzen sich die Verlustrufe des kv-internen Verkehrsangebots aus folgenden Teilen zusammen:

- Jenen Verlustrufen, die infolge von Blockierung des Zielkoppelvielfachs (= Ursprungskoppelvielfach) in der Stufe 1 entstehen und die in abgehender Richtung nicht blockiert wurden (Term I in der nachfolgenden Gl.(IV.14b)).
- Jenen Verlustrufen, die infolge von Zwischenblockierung zwischen der Stufe  $\nu$  und der Stufe  $\nu+1$  in ankommender Richtung entstehen ( $\nu=2, 3, \dots, s-1$ ), die also weder in abgehender Richtung noch bis zur Stufe  $\nu-1$  in ankommender Richtung blockiert wurden (Term II in der nachfolgenden Gl.(IV.14b)).
- Jenen Verlustrufen, die in ankommender Richtung durch Bündelblockierung entstehen, die also weder in abgehender Richtung noch bis zur Stufe  $s-1$  in ankommender Richtung (Markierung vom Zielkoppelvielfach aus ! ) blockiert wurden (Term III in der nachfolgenden Gl.(IV.14b)).

Damit ergibt sich die kv-interne Verlustwahrscheinlichkeit  $b_{kk}$  in ankommender Richtung:

$$b_{kk} = k_k b_1 \prod_{\nu=2}^{s-1} (1 - [m_{1\nu}]_{bg})(1 - [m]_{ig}) + \quad (\text{Term I})$$

$$+ \frac{k^c L_1}{k^c_A} \sum_{\nu=2}^{s-1} [m_{1\nu}]_{bk} \prod_{j=2}^{\nu-1} (1 - [m_{1j}]_b) \cdot \prod_{\chi=\nu+1}^{s-1} (1 - [m_{1\chi}]_{bg})(1 - [m]_{ig}) + \quad (\text{Term II})$$

$$+ \frac{k^c L_1}{k^c_A} \prod_{\nu=2}^{s-1} (1 - [m_{1\nu}]_b) [m]_{ik} \quad (\text{Term III})$$

(IV.14b)

hierbei ist:

- $[m_{1\nu}]_{bk}$  : Wsch., daß Zwischenblockierung für kv-interne Rufe in ankommender aber nicht in abgehender Richtung zwischen der Stufe  $\nu$  und der Stufe  $\nu+1$  existiert (kv-interner Verkehr ist gleichzeitig auch blockinterner Verkehr, deshalb der Index b).
- $(1 - [m_{1\nu}]_b)$  : Wsch., daß für kv-interne Rufe Zwischenblockierung weder in abgehender noch in ankommender Richtung zwischen der Stufe  $\nu$  und der Stufe  $\nu+1$  existiert.

(Gl.(IV.14b) geht natürlich für  $[m_{1\nu}]_{bg} = [m_{1\nu}]_{bk} = [m_{1\nu}]_b = 0$  ( $\nu=2, \dots, s-1$ ) in Gl.(IV.14a) über (also der Fall "ohne Zwischenblockierung").)

Bemerkung zu Term II von Gl.(IV.14b):

Für ein bestimmtes  $\nu$  wird aus Term II:

$$\frac{k^c L_1}{k^c_A} [m_{1\nu}]_{bk} \prod_{j=2}^{\nu-1} (1 - [m_{1j}]_b) \prod_{\chi=\nu+1}^{s-1} (1 - [m_{1\chi}]_{bg})(1 - [m]_{ig})$$

hierbei ist:

- $[m_{1\nu}]_{bk}$  : Wsch., daß gerade zwischen der Stufe  $\nu$  und der Stufe  $\nu+1$  Zwischenblockierung in ankommender aber nicht in abgehender Richtung existiert.
- $\frac{k^c L_1}{k^c_A} \prod_{j=2}^{\nu-1} (1 - [m_{1j}]_b)$  : Wsch., daß weder in abgehender noch in ankommender Richtung bis zur Stufe  $\nu-1$  Blockierung aufgetreten ist.
- $\prod_{\chi=\nu+1}^{s-1} (1 - [m_{1\chi}]_{bg})(1 - [m]_{ig})$  : Wsch., daß in abgehender Richtung zwischen der Stufe  $\nu+1$  und dem Leitungsbündel hinter der Stufe  $s$  keine Blockierung aufgetreten ist.

Zur Verdeutlichung wird Gl.(IV.14b) ebenfalls (wie (IV.13b)) für ein 3-stufiges Linksystem (s = 3) mit Zwischenblockierung zwischen der Stufe 2 und der Stufe 3 dargestellt:

$$b_{kk} = k_k b_1 (1 - [m_{12}]_{bg}) (1 - [m]_{ig}) + \frac{k^c L1}{k^c A} [m_{12}]_{bk} (1 - [m]_{ig}) + \frac{k^c L1}{k^c A} (1 - [m_{12}]_b) [m]_{ik}$$

Die kv-internen Verlustwahrscheinlichkeiten  $b_{kg}$  nach Gl.(IV.13b) bzw.  $b_{kk}$  nach Gl.(IV.14b) schließen sich gegenseitig aus, d.h. die kv-interne Verlustwahrscheinlichkeit  $b_k$  berechnet sich nach Gl.(IV.15):

$$b_k = b_{kg} + b_{kk}$$

Die system- und blockinterne Verlustwahrscheinlichkeit  $b_s^{(b)}$

Die system- und blockinterne Verlustwahrscheinlichkeit  $b_{sg}^{(b)}$  in abgehender Richtung ergibt sich analog zu Gl.(IV.13b):

$$b_{sg}^{(b)} = s_g b_1 + \frac{s_g^c L1}{s^c A} (1 - \prod_{\nu=2}^{s-1} (1 - [m_{1\nu}]_{bg})) (1 - [m]_{ig}) \quad (IV.16b)$$

Die system- und blockinterne Verlustwahrscheinlichkeit  $b_{sk}^{(b)}$  in ankommender Richtung ergibt sich aus Gl.(IV.17a) mit der Erweiterung nach Gl.(IV.14b):

$$b_{sk}^{(b)} = \frac{s k^c V1}{s^c A} \prod_{\nu=2}^{s-1} (1 - [m_{1\nu}]_{bg}) (1 - [m]_{ig}) + \frac{s^c L1}{s^c A} \sum_{\nu=2}^{s-1} [m_{1\nu}]_{bk} \prod_{j=2}^{\nu-1} (1 - [m_{1j}]_b) \prod_{k=\nu+1}^{s-1} (1 - [m_{1k}]_{bg}) (1 - [m]_{ig}) + \frac{s^c L1}{s^c A} \prod_{\nu=2}^{s-1} (1 - [m_{1\nu}]_b) [m]_{ik} \quad (IV.17b)$$

Die system- und blockinterne Verlustwahrscheinlichkeit  $b_s^{(b)}$  ergibt sich entsprechend zu Gl.(IV.18a):

$$b_s^{(b)} = b_{sg}^{(b)} + b_{sk}^{(b)} \quad (IV.18b)$$

Die systeminterne aber nicht blockinterne Verlustwahrscheinlichkeit  $b_s^{(\bar{b})}$

Die systeminterne aber nicht blockinterne Verlustwahrscheinlichkeit  $b_{sg}^{(\bar{b})}$  in abgehender Richtung ergibt sich entsprechend zu Gl.(IV.16b):

$$b_{sg}^{(\bar{b})} = s_g b_1 + \frac{s_g^c L1}{s^c A} \cdot (1 - \prod_{\nu=2}^{s-1} (1 - [m_{1\nu}]_{bg})) (1 - [m]_{ig}) \quad (IV.16c)$$

Die systeminterne aber nicht blockinterne Verlustwahrscheinlichkeit  $b_{sk}^{(\bar{b})}$  in ankommender Richtung ergibt sich entsprechend zu Gl.(IV.17b):

$$b_{sk}^{(\bar{b})} = \frac{s k^c V1}{s^c A} \cdot \prod_{\nu=2}^{s-1} (1 - [m_{1\nu}]_{bg}) (1 - [m]_{ig}) + \frac{s^c L1}{s^c A} \cdot \sum_{\nu=2}^{s-1} [m_{1\nu}]_{bk} (1 - [m_{1\nu}]_{bg}) \prod_{f=2}^{\nu-1} (1 - [m_{1f}]_{bg}) (1 - [m_{1f}]_{bk}) \cdot \prod_{k=\nu+1}^{s-1} (1 - [m_{1k}]_{bg}) (1 - [m]_{ig}) + \frac{s^c L1}{s^c A} \prod_{\nu=2}^{s-1} (1 - [m_{1\nu}]_{bg}) (1 - [m_{1\nu}]_{bk}) [m]_{ik} \quad (IV.17c)$$

hierbei ist:

$[m_{1\nu}]_{bk} (1 - [m_{1\nu}]_{bg})$ : Wsch., daß für den nicht-blockinternen Verkehr Zwischenblockierung zwischen der Stufe  $\nu$  und der Stufe  $\nu+1$  in ankommender aber nicht in abgehender Richtung existiert.

$(1 - [m_{1\nu}]_{bg}) (1 - [m_{1\nu}]_{bk})$ : Wsch., daß für den nicht-blockinternen Verkehr weder in abgehender noch in ankommender Richtung Zwischenblockierung zwischen der Stufe  $\nu$  und der Stufe  $\nu+1$  existiert.

Gl.(IV.17c) soll wieder am Beispiel eines 3-stufigen Linksystems (s=3) mit Zwischenblockierung zwischen der Stufe 2 und der Stufe 3 verdeutlicht werden:

$$b_{sk}^{(\bar{b})} = \frac{s k^c V1}{s^c A} \cdot (1 - [m_{12}]_{bg}) (1 - [m]_{ig}) + \frac{s^c L1}{s^c A} \cdot [m_{12}]_{bk} (1 - [m_{12}]_{bg}) (1 - [m]_{ig}) + \frac{s^c L1}{s^c A} \cdot (1 - [m_{12}]_{bg}) (1 - [m_{12}]_{bk}) [m]_{ik}$$

Die systeminterne aber nicht blockinterne Verlustwahrscheinlichkeit  $b_s^{(\bar{b})}$  ergibt sich entsprechend zu Gl.(IV.18a):

$$b_s^{(\bar{b})} = b_{sg}^{(\bar{b})} + b_{sk}^{(\bar{b})} \quad (IV.18c)$$

Für die gesamte interne Verlustwahrscheinlichkeit  $b_i$  bezogen auf alle angebotenen Internrufe ergibt sich in Erweiterung zu Gl.(IV.19a) (vgl. Bild 14):

$$b_i = \frac{1}{g_1} b_k + \left(\frac{1}{G} - \frac{1}{g_1}\right) b_s^{(b)} + \left(1 - \frac{1}{G}\right) b_s^{(\bar{b})} \quad (IV.29b)$$

D.h.

- der  $1/g_1$ -te Teil des Internverkehrs ist kv-interner Verkehr,
- der  $(1/G - 1/g_1)$ -te Teil des Internverkehrs ist system- und blockinterner Verkehr und
- der  $(1 - 1/G)$ -te Teil des Internverkehrs ist systeminterner aber nicht blockinterner Verkehr.

Für ein Linksystem mit nur einem Linkblock ( $G = 1$ ) geht Gl.(IV.29b) in Gl.(IV.29a) über (in diesem Fall ist  $b_s^{(b)} = b_s$ ).

#### 5.4.2 Zusätzliche Verkehrsgrößen bei Zufallsverkehr 2. Art

Bei Zufallsverkehr 2. Art (endliche Quellenzahl) sind außer den Verlustwahrscheinlichkeiten und den Verkehrsangeboten noch die Anrufraten je freie Quelle von Interesse.

Es wird zunächst ein Bündel mit  $n$  Leitungen betrachtet, dem Verkehr von  $q$  Quellen angeboten wird. Jede freie Quelle hat eine gleich große (und während der Hauptverkehrsstunde konstante) Anrufrate  $\alpha$ .

In einem Zustand  $\{x\}$  des Bündels sind  $(q-x)$  Quellen frei, d.h. die Anrufrate ist dann  $\alpha(q-x)$ . Mit der Wahrscheinlichkeit  $p(x)$ , daß  $x$  Leitungen belegt sind, ergibt sich für das Angebot bei ZV 2:

$$A = \sum_{x=0}^n \alpha(q-x) p(x) = \alpha(q-Y) \quad (IV.35)$$

Hierbei ist  $Y$  die Belastung auf den  $n$  Leitungen.

Bei den hier betrachteten Linksystemen hat jedes Koppelvielfach der Stufe 1  $i_1$  Quellen und eine vorgeschriebene Belastung  $Y_1$ .

Damit ergibt sich die Anrufrate je freie Quelle für den abgehenden Externverkehr:

$$\alpha_{eg} = \frac{A_{eg}/g_1}{i_1 - Y_1} \quad (IV.36)$$

Entsprechend ergibt sich für den Internverkehr:

$$\alpha_i = \frac{A_i/g_1}{i_1 - Y_1} \quad (IV.37)$$

Die gesamte Anrufrate je freie Quelle ist dann:

$$\alpha_{ges} = \alpha_{eg} + \alpha_i \quad (IV.38)$$

Der ankommende Externverkehr wird stets von sehr zahlreichen Verkehrsquellen außerhalb des betrachteten Linksystems erzeugt, weshalb immer Zufallsverkehr 1. Art angenommen werden kann.

#### 5.5 Zufallsverkehr 1. Art (ZV 1)

##### 5.5.1 Allgemeines

Es wird für die Betriebsart 1 zunächst der Fall betrachtet, daß die Verkehrsquellen des Linksystems, die sowohl den abgehenden Externverkehr als auch den Internverkehr erzeugen, eine konstante, vom momentanen Belegungszustand des Linksystems unabhängige, Anrufrate haben (ZV 1). Der ankommende Externverkehr ist voraussetzungsgemäß ebenfalls ZV 1.

Es wird auf den  $k_1$  bzw.  $(k_1 g_1)/G$  Zwischenleitungen und auf dem jeweils betrachteten Leitungsbündel hinter der Stufe  $s$  (bei Betriebsart 1 ist nur ein Leitungsbündel vorhanden) ein Typ der Wahrscheinlichkeitsverteilung vorgegeben. Ausgehend von den entsprechenden - vorgegebenen - Belastungen werden dann die einzelnen Wahrscheinlichkeitsverteilungen iterativ berechnet.

In Abschnitt 5.5.2 wird zunächst die Wahrscheinlichkeitsverteilung  $p(x)$  auf dem einen Leitungsbündel hinter der Stufe  $s$  berechnet.

In Abschnitt 5.5.3 werden mit diesen Wahrscheinlichkeiten  $p(x)$  die Bündelblockierungen für die verschiedenen Verkehrstypen bestimmt.

Entsprechend werden ausgehend von der Wahrscheinlichkeitsverteilung  $w(x)$  auf den  $k_1$  Zwischenleitungen (Abschnitt 5.5.4) die Verlustwahrscheinlichkeiten infolge von Blockierung des Ursprungs- bzw. Zielkoppelvielfachs hergeleitet (Abschnitt 5.5.5).

Für Linksysteme bei denen Zwischenblockierungen zu berücksichtigen sind, werden in Abschnitt 5.5.6 die Wahrscheinlichkeitsverteilung  $p_\nu(x)$  auf den  $(g_\nu, k_\nu)/G$  Zwischenleitungen und in Abschnitt 5.5.7 die daraus resultierenden Zwischenblockierungen berechnet.

### 5.5.2 Die Wahrscheinlichkeitsverteilung $p(x)$ auf den $n_s$ Leitungen hinter der Stufe $s$

Wie bereits ausgeführt sind bei Betriebsart 1 alle Leitungen hinter der Stufe  $s$  zu einem Bündel mit  $n_s$  Leitungen zusammengefasst.

Für die Wahrscheinlichkeitsverteilung  $p(x)$  gilt entsprechend zu Gl.(III.26):

$$p(x+2) = \frac{e_g A_{Os}}{x+2} p(x+1) + \frac{e_k A_{Os}}{x+2} p(x+1) + 2 \frac{i A_{Os}}{x+2} p(x)$$

Mit  $e^{A_{Os}} = e_g A_{Os} + e_k A_{Os}$  ergibt sich folgende Rekursionsformel:

$$p(x+2) = \frac{e^{A_{Os}}}{x+2} p(x+1) + 2 \frac{i A_{Os}}{x+2} p(x) \quad (IV.39)$$

mit der Randbedingung:  $\sum_{x=0}^{n_s} p(x) = 1$

Die fiktiven Angebote  $e^{A_{Os}}$  bzw.  $i^{A_{Os}}$  und damit die Zustandswahrscheinlichkeiten  $p(x)$  ( $x = 0, 1, \dots, n_s$ ) werden ausgehend von den gegebenen Belastungen  $Y_{eg}$ ,  $Y_{ek}$  und  $Y_i$  iterativ bestimmt. Es gelten folgende Beziehungen( vollkommen erreichbares Bündel, vgl. Kapitel III.2.2):

$$Y_e = Y_{eg} + Y_{ek} = e^{A_{Os}} (1 - p(n_s)) \quad (IV.40)$$

$$Y_i = 2 i^{A_{Os}} (1 - p(n_s) - p(n_s-1)) \quad (IV.41)$$

Der Faktor 2 in Gl.(IV.41) rührt davon her, daß jeder erfolgreiche Internruf 2 Leitungen des Leitungsbündels hinter der Stufe  $s$  belegt (siehe auch Erklärung zu Gl.(IV.21) und (IV.22)).

$p(n_s) + p(n_s-1)$  ist die Verlustwahrscheinlichkeit intern, bezogen auf das Internangebot, eines vollkommen erreichbaren Bündels (abgehend tritt Verlust im Zustand  $\{n_s\}$  auf, ankommend tritt Verlust im Zustand  $\{n_s-1\}$  auf, da bei Einfall eines Internrufes im Zustand  $\{n_s-1\}$  abgehend die letzte freie Leitung belegt wird; vgl. hierzu Abschnitt 5.5.5.3, Gl.(IV.60)).

Mit  $Y_e$  nach Gl.(IV.40) und  $Y_i$  nach Gl.(IV.41) kann  $Y_{ges}$  nach Gl.(IV.1) und  $d_{ges}$  nach Gl.(IV.3) berechnet werden.

Zu Beginn der Iteration werden Anfangswerte  $e^{A_{Oso}}$  und  $i^{A_{Oso}}$  für die fiktiven Angebote vorgegeben. Zur Berechnung dieser Anfangswerte werden die Verlustwahrscheinlichkeiten in Gl(IV.40) bzw. (IV.41) gleich 0 gesetzt, damit ergibt sich:

$$Y_e = e^{A_{Oso}} ; \quad Y_i = 2 i^{A_{Oso}}$$

Damit wird:  $e^{A_{Oso}} = Y_e$  und  $i^{A_{Oso}} = \frac{1}{2} Y_i$  (IV.42)

Mit Hilfe der "regula falsi" werden nun solange verbesserte Werte  $e^{A_{Osm}}$  und  $i^{A_{Osm}}$  ( $\mu$ -ter Iterationsschritt) berechnet, bis

$$\begin{aligned} & |Y_{ges, berechnet} - Y_{ges, gegeben}| < \delta_1 \\ \text{und} & |d_{ges, berechnet} - d_{ges, gegeben}| < \delta_2 \end{aligned} \quad (IV.43)$$

erfüllt ist, wobei  $\delta_1$  und  $\delta_2$  beliebig vorgebbare, feste Schranken sind (z.B.  $\delta_1 = \delta_2 = 10^{-6}$ ).

Sind diese Bedingungen erfüllt, dann sind die Zustandswahrscheinlichkeiten  $p(x)$  bestimmt. Mit diesen Zustandswahrscheinlichkeiten können die Bündelblockierungen berechnet werden.

### 5.5.3 Die Bündelblockierungen

#### 5.5.3.1 Extern abgehend

Die Bündelblockierung extern abgehend, bezogen auf das extern abgehende Angebot, ergibt sich zu:

$$[m]_{eg} = \sum_{x=m}^{n_s} p(x) \cdot G(x) \quad (IV.44)$$

$m$  ist die mittlere Prüfbarkeit des Leitungsbündels hinter der Stufe  $s$  (vgl. Kapitel III.2.2.2). Da bei der Betriebsart 1 nur ein Leitungsbündel vorhanden ist, wird die Größe  $m$  nicht weiter indiziert. Die mittlere Prüfbarkeit ist im allgemeinen nicht ganzzahlig, deshalb wird  $[m]_{eg}$  durch lineare Interpolation zwischen den Werten  $m_u$  und  $m_o$  berechnet (vgl. Kapitel III.2.2.2).

5.5.3.2 Extern ankommend

An dieser Stelle sei noch einmal daran erinnert, daß für den ankommenden Externverkehr Punkt-Bündel-Markierung vom Zielkoppelvielfach der Stufe 1 bis zum Leitungsbündel hinter der Stufe s vorausgesetzt wird. D.h. für die Bündelblockierung des ankommenden Externverkehrs gilt entsprechend zu Gl.(IV.44):

$$[m]_{ek} = \sum_{x=m}^{n_s} p(x) \cdot G(x) \quad (IV.45)$$

5.5.3.3 Intern

Ein abgehender Internruf wird gleich wie ein abgehender Externruf behandelt. Deshalb gilt für die Bündelblockierung des abgehenden Internverkehrs entsprechend zu Gl.(IV.44):

$$[m]_{ig} = \sum_{x=m}^{n_s} p(x) \cdot G(x) \quad (IV.46)$$

Zur Berechnung der Bündelblockierung des ankommenden Internverkehrs wird zunächst ein Zustand  $\{x\}$  des Leitungsbündels betrachtet. Fällt ein Internruf im Zustand  $\{x\}$  des Leitungsbündels ein, so belegt dieser Ruf zunächst beim abgehenden Verbindungsaufbau die  $(x+1)$ -te Leitung, der Ruf wird also im Zustand  $\{x\}$  des Leitungsbündels nicht blockiert (Durchlasswahrscheinlichkeit  $\mu(x)$ ). Bündelblockierung tritt in ankommender Richtung dann auf, wenn der ankommende Teil der Internverbindung im Zustand  $\{x+1\}$  des Leitungsbündels nicht durchschaltbar ist (Sperrwahrscheinlichkeit  $G(x+1)$ ).

Damit ergibt sich für die Bündelblockierung des ankommenden Internverkehrs (vgl./5/):

$$[m]_{ik} = \sum_{x=m-1}^{n_s-1} p(x) \cdot \mu(x) \cdot G(x+1) \quad (IV.47)$$

Aus Gl.(IV.46) und (IV.47) ergibt sich die Bündelblockierung des gesamten Internverkehrs, bezogen auf das Internangebot:

$$[m]_i = [m]_{ig} + [m]_{ik} \quad (IV.48)$$

5.5.4 Die Wahrscheinlichkeitsverteilung  $w(x)$  auf den  $k_1$  Zwischenleitungen eines Koppelvielfachs der Stufe 1

Bei der Berechnung von  $w(x)$  muß ein Koppelvielfach der Stufe 1 mit seinen  $k_1$  Ausgängen und den verschiedenen Verkehren betrachtet werden. Wie bereits in Abschnitt 5.3 gezeigt, muß hier zwischen systeminternem und kv-internem Verkehr unterschieden werden. (Ein kv-interner Ruf belegt von den  $k_1$  Leitungen gleichzeitig zwei.)

In Bild 14 sind die verschiedenen Verkehre mit ihren Belastungen und den fiktiven Angeboten dargestellt.

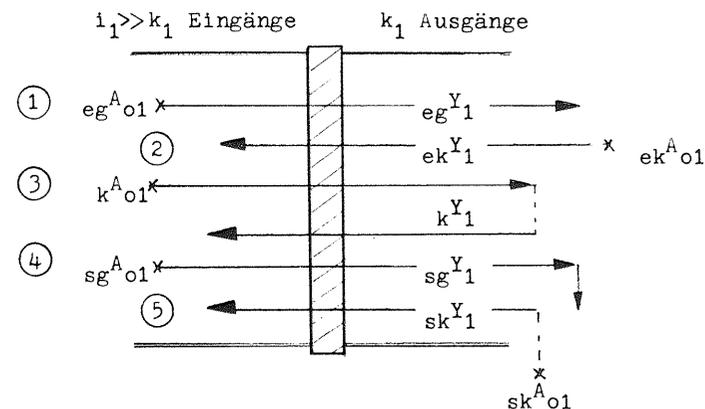


Bild 14: Ein Koppelvielfach der Stufe 1 mit seinen verschiedenen Verkehrstypen.

In Bild 14 ist:

- ① : abgehender Externverkehr mit dem fiktiven Angebot  $eg^A_{01}$ ,
- ② : ankommender Externverkehr mit dem fiktiven Angebot  $ek^A_{01}$ ,
- ③ : kv-interner Verkehr mit dem fiktiven Angebot  $k^A_{01}$ ,
- ④ : systeminterner abgehender Verkehr mit dem fiktiven Angebot  $sg^A_{01}$ ; dieser Verkehr wird von den "unendlich vielen" Quellen des betrachteten Koppelvielfachs der Stufe 1 angeboten, das Ziel dieses Verkehrs ist ein anderes Koppelvielfach der Stufe 1,

⑤ : systeminterner ankommender Verkehr mit dem fiktiven Angebot  $sk_{01}^A$ ; dieser Verkehr geht aus von den  $g_{1-1}$  nicht betrachteten Koppelvielfachen der Stufe 1 und hat als Ziel das betrachtete Koppelvielfach.

Damit wird:

$$(x+2) w(x+2) = (eg_{01}^A + ek_{01}^A + sg_{01}^A + sk_{01}^A) \cdot w(x+1) + 2 \cdot k_{01}^A w(x)$$

oder mit  $\bar{A}_{01} = eg_{01}^A + ek_{01}^A + sg_{01}^A + sk_{01}^A$  :

$$w(x+2) = \frac{\bar{A}_{01}}{x+2} w(x+1) + 2 \frac{k_{01}^A}{x+2} w(x) \quad (IV.49)$$

mit der normierenden Bedingung:  $\sum_{x=0}^{k_1} w(x) = 1$

Das fiktive Angebot  $\bar{A}_{01}$  wird iterativ so bestimmt, daß sich gerade die Belastung

$$eg_{01}^Y + ek_{01}^Y + s_{01}^Y = Y_1 - k_{01}^Y$$

ergibt.

Entsprechend wird das fiktive Angebot  $k_{01}^A$  iterativ so bestimmt, daß sich die kv-interne Belastung  $k_{01}^Y$  ergibt.

Die Berechnung von  $w(x)$  erfolgt analog zur Berechnung von  $p(x)$  nach Abschnitt 5.5.2.

Es gilt (entsprechend zu Gl.(IV.40) und (IV.41)):

$$(Y_1 - k_{01}^Y) = \bar{A}_{01} (1 - w(k_1)) \quad (IV.51)$$

$$k_{01}^Y = 2 \cdot k_{01}^A (1 - w(k_1) - w(k_1-1)) \quad (IV.52)$$

Für die Anfangswerte ergibt sich:

$$\bar{A}_{010} = Y_1 - k_{01}^Y \quad \text{und} \quad k_{010}^A = \frac{1}{2} k_{01}^Y \quad (IV.53)$$

Die Iteration wird dann wieder solange fortgesetzt bis

$$\begin{aligned} & |Y_{1,\text{berechnet}} - Y_{1,\text{gegeben}}| < \delta_1 \\ \text{und} & |k_{01,\text{berechnet}}^d - k_{01,\text{gegeben}}^d| < \delta_2 \end{aligned} \quad (IV.54)$$

erfüllt ist (nach Gl.(IV.9) ist:  $k_{01}^d = k_{01}^Y / Y_1$ ).

### 5.5.5 Die Verlustwahrscheinlichkeiten infolge von Blockierung des Ursprungs- bzw. Zielkoppelvielfachs

Mit den in Abschnitt 5.5.4 berechneten Zustandswahrscheinlichkeiten  $w(x)$  werden nun für die Verkehrstypen in abgehender Richtung die Verlustwahrscheinlichkeiten infolge von Blockierung des Ursprungs-koppelvielfachs (Eingangsblockierung) bzw. für die Verkehrstypen in ankommender Richtung die Verlustwahrscheinlichkeiten infolge von Blockierung des Zielkoppelvielfachs bestimmt.

#### 5.5.5.1 Extern abgehend

Der "extern abgehende Verlust" infolge von Blockierung des Ursprungskoppelvielfachs, bezogen auf das Angebot des abgehenden Externverkehrs, ist:

$$eg_{01}^b = w(k_1) \quad (IV.55)$$

#### 5.5.5.2 Extern ankommend

Entsprechend der Voraussetzung der Punkt-Bündel-Markierung vom Zielkoppelvielfach zum Leitungsbündel hinter der Stufe  $s$  gilt für die Verlustwahrscheinlichkeit infolge von Blockierung des Zielkoppelvielfachs des ankommenden Externverkehrs (vgl.Gl.(IV.55)):

$$ek_{01}^b = w(k_1) \quad (IV.56)$$

#### 5.5.5.3 Intern

Beim kv-internen bzw. systeminternen abgehenden Verkehr tritt Verlust infolge von Blockierung des Ursprungskoppelvielfachs im Zustand  $\{k_1\}$  auf, d.h. entsprechend zu Gl.(IV.55) gilt:

$$kg_{01}^b = sg_{01}^b = w(k_1) \quad (IV.57)$$

Für den ankommenden kv-internen bzw. systeminternen Verkehr gilt ebenfalls die Voraussetzung der Punkt-Bündel-Markierung vom Zielkoppelvielfach zum Leitungsbündel hinter der Stufe  $s$ .

Da beim systeminternen Verkehr das Ursprungskoppelvielfach nicht gleich dem Zielkoppelvielfach ist, tritt beim ankommenden systeminternen Verkehr Verlust infolge von Blockierung des Zielkoppelvielfachs ebenfalls im Zustand  $\{k_1\}$  dieses Koppelvielfachs auf.

Damit gilt:

$$sk^{b_1} = w(k_1) \quad (IV.58)$$

(Systeminterne Verluste in abgehender bzw. in ankommender Richtung treten also in der Stufe 1 in verschiedenen Koppelvielfachen auf, damit sind die beiden entsprechenden Verlustwahrscheinlichkeiten voneinander unabhängig.)

Beim ankommenden kv-internen Verkehr ist das Ursprungskoppelvielfach gleich dem Zielkoppelvielfach, d.h. beim ankommenden kv-internen Verkehr tritt Verlust infolge von Blockierung des Zielkoppelvielfachs bei Einfall eines abgehenden Rufes im Zustand  $\{k_1-1\}$  auf; denn dann belegt dieser Ruf abgehend die letzte freie Leitung und geht damit ankommend verloren. Es gilt:

$$kk^{b_1} = w(k_1-1) \quad (IV.59)$$

In der Beziehung (IV.59) für  $kk^{b_1}$  ist also enthalten, daß in abgehender Richtung keine Blockierung des Ursprungskoppelvielfachs auftritt.

Damit ergibt sich der kv-interne Verlust infolge von Blockierung des Ursprungs- (= Ziel-) Koppelvielfachs (Verlust in abgehender oder in ankommender Richtung), bezogen auf das kv-interne Angebot:

$$k^{b_1} = kg^{b_1} + kk^{b_1} = w(k_1) + w(k_1-1) \quad (IV.60)$$

( $kg^{b_1}$  und  $kk^{b_1}$  schließen sich gegenseitig aus und sind deshalb additiv.)

In den Gleichungen (IV.13), (IV.14), (IV.16) und (IV.17) zur Berechnung der verschiedenen Teilverlustwahrscheinlichkeiten des Internverkehrs treten noch die relativen Anteile  $kg^{cL1}/k^{cA}$ ,  $k^{cL1}/k^{cA}$ ,  $sg^{cL1}/s^{cA}$ ,  $sk^{cV1}/s^{cA}$  und  $s^{cL1}/s^{cA}$  auf. Diese Größen werden im folgenden berechnet.

Es ist  $kg^{cL1}/k^{cA}$  der relative Anteil der kv-internen Rufe, die im Ursprungskoppelvielfach (in abgehender Richtung) eine freie Zwischenleitung finden.

Die Zahl der kv-intern angebotenen Rufe je Zeiteinheit (Erwartungswert) ist  $k^{cA}$ . Infolge von Blockierung des Ursprungskoppelvielfachs gehen davon in abgehender Richtung  $k^{cA} \cdot w(k_1)$  Rufe verloren bzw.  $k^{cA} - k^{cA} \cdot w(k_1)$  Rufe gehen nicht verloren.

Damit gilt:  $\frac{kg^{cL1}}{k^{cA}} = \frac{k^{cA} - k^{cA} \cdot w(k_1)}{k^{cA}} = 1 - w(k_1)$

Mit  $kg^{b_1} = w(k_1)$  ergibt sich:

$$\frac{kg^{cL1}}{k^{cA}} = 1 - kg^{b_1} \quad (IV.61)$$

Entsprechend kann bei ZV 1 gezeigt werden:

$$\frac{k^{cL1}}{k^{cA}} = 1 - k^{b_1} \quad (IV.62)$$

$$\frac{sg^{cL1}}{s^{cA}} = 1 - sg^{b_1} \quad (IV.63)$$

$$\frac{sk^{cV1}}{s^{cA}} = sk^{b_1} (1 - sg^{b_1}) \quad (IV.64)$$

$$\frac{s^{cL1}}{s^{cA}} = (1 - sg^{b_1})(1 - sk^{b_1}) \quad (IV.65)$$

5.5.6 Die Wahrscheinlichkeitsverteilung  $p_\nu(x)$  auf den  $(g_\nu k_\nu)/G$  Zwischenleitungen zwischen der Stufe  $\nu$  und der Stufe  $\nu+1$  des Linksystems

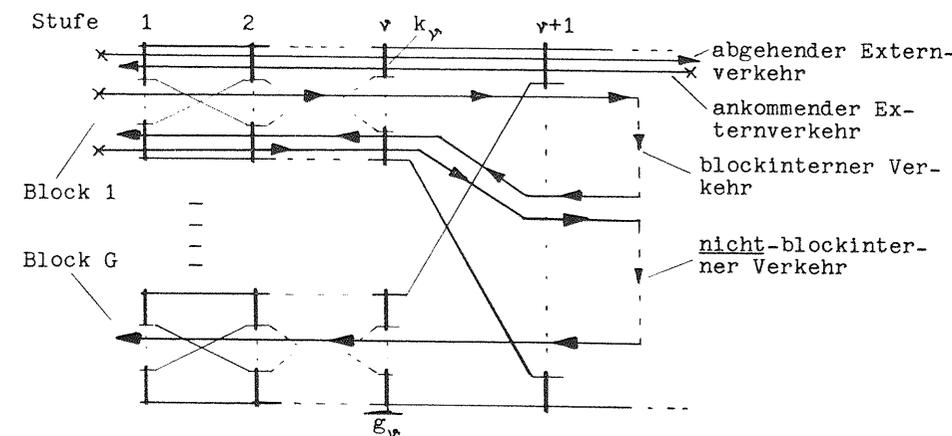


Bild 15: Das Zwischenleitungsbündel zwischen der Stufe  $\nu$  und der Stufe  $\nu+1$  mit seinen verschiedenen Verkehrstypen.

Die Belastung des betrachteten Zwischenleitungsbündels mit  $n_\nu = (g_\nu k_\nu)/G$  Leitungen setzt sich aus folgenden Teilen zusammen:

- Belastung des abgehenden Externverkehrs  $eg_{\nu} = \frac{Y_{eg}}{G}$

- Belastung des ankommenden Externverkehrs  $ek^{Y_v} = \frac{Y_{ek}}{G}$
- Belastung des blockinternen Verkehrs  $b^{Y_v} = \frac{Y_1}{G \cdot G}$  (vgl. Gl. (IV.7))
- Belastung des nicht-blockinternen Verkehrs  $\bar{b}^{Y_v} = (1-G) \frac{Y_1}{G}$  (vgl. Gl. (IV.8)).

Damit ergibt sich mit den entsprechenden fiktiven Angeboten  $eg^{A_{ov}}$ ,  $ek^{A_{ov}}$ ,  $b^{A_{ov}}$ ,  $\bar{b}^{A_{ov}}$ :

$$(x+2) \cdot p_v(x+2) = (eg^{A_{ov}} + ek^{A_{ov}} + \bar{b}^{A_{ov}}) p_v(x+1) + 2 \cdot b^{A_{ov}} \cdot p_v(x)$$

oder

$$p_v(x+2) = \frac{\bar{A}_{ov}}{x+2} p_v(x+1) + 2 \frac{b^{A_{ov}}}{x+2} p_v(x) \quad (IV.66)$$

mit der Randbedingung:

$$\sum_{x=0}^{n_v} p_v(x) = 1$$

Hierbei ist:  $\bar{A}_{ov} = eg^{A_{ov}} + ek^{A_{ov}} + \bar{b}^{A_{ov}}$

Die Berechnung von  $p_v(x)$  erfolgt analog zur Berechnung von  $p(x)$  nach Abschnitt 5.5.2. Es gilt (entsprechend zu Gl. (IV.40) und (IV.41)):

$$\left. \begin{aligned} eg^{Y_v} + ek^{Y_v} + \bar{b}^{Y_v} &= \bar{A}_{ov} \cdot (1 - p_v(n_v)) \\ b^{Y_v} &= 2 \cdot b^{A_{ov}} \cdot (1 - p_v(n_v) - p_v(n_v-1)) \end{aligned} \right\} (IV.67)$$

### 5.5.7 Die Zwischenblockierungen

Mit den nach Abschnitt 5.5.6 berechneten Zustandswahrscheinlichkeiten  $p_v(x)$  können die Zwischenblockierungen einfach berechnet werden. Es gilt entsprechend zur Berechnung der Bündelblockierungen (vgl. Abschnitt 5.5.3):

- Die Zwischenblockierung des abgehenden bzw. ankommenden Externverkehrs:
- $$[m_{1v}]_{eg} = [m_{1v}]_{ek} = \sum_{x=m_{1v}}^{n_v} p_v(x) \cdot G_v(x) \quad (IV.68)$$

- Die Zwischenblockierungen des blockinternen Verkehrs:

In abgehender Richtung:

$$[m_{1v}]_{bg} = \sum_{x=m_{1v}}^{n_v} p_v(x) \cdot G_v(x) \quad (IV.69)$$

In ankommender Richtung (vgl. Gl. (IV.47)):

$$[m_{1v}]_{bk} = \sum_{x=m_{1v}-1}^{n_v-1} p_v(x) \cdot \mu_v(x) \cdot G_v(x+1) \quad (IV.70)$$

Mit Gl. (IV.69) und (IV.70) ergibt sich die gesamte Zwischenblockierung des blockinternen Verkehrs:

$$[m_{1v}]_b = [m_{1v}]_{bg} + [m_{1v}]_{bk} \quad (IV.71)$$

- Die Zwischenblockierungen des nicht-blockinternen Verkehrs:

Der nicht-blockinterne Verkehr belegt im betrachteten Zwischenleitungsbündel nur eine Leitung, damit gilt für die Zwischenblockierungen in abgehender bzw. ankommender Richtung:

$$[m_{1v}]_{\bar{b}g} = [m_{1v}]_{\bar{b}k} = \sum_{x=m_{1v}}^{n_v} p_v(x) \cdot G_v(x) \quad (IV.72)$$

## 5.6 Zufallsverkehr 2. Art (ZV 2)

### 5.6.1 Allgemeines

Es wird nun der Fall betrachtet, daß die Verkehrsquellen des Linksystems für den abgehenden Externverkehr und für den Internverkehr eine vom momentanen Belegungszustand abhängige Anrufrate haben (ZV 2). Für den Anrufprozess des ankommenden Externverkehrs wird jedoch weiterhin Zufallsverkehr 1. Art zugrunde gelegt (vgl. Abschnitt 3.2).

In Abschnitt 5.6.2 werden zunächst einige grundsätzliche Bemerkungen zur Definition des Angebots und damit auch der Verlustwahrscheinlichkeit bei Systemen mit Internverkehr und ZV 2 gemacht.

Wie bereits in Abschnitt 1 erwähnt, kann bei ZV 2 für den Internverkehr unterschieden werden zwischen zwei (in der Praxis auftretenden) Wegesuchalgorithmen. Diese beiden Wegesuchalgorithmen werden im Abschnitt 5.6.3 beschrieben.

In Abschnitt 5.6.4 wird die Wahrscheinlichkeitsverteilung  $p(x)$  auf dem einen Leitungsbündel (Betriebsart 1) hinter der Stufe s des Linksystems bei vorgegebenem Verteilungstyp, ausgehend von der gegebenen Belastung, iterativ bestimmt. Die daraus resultierenden Bündelblockierungen werden in Abschnitt 5.6.5 angegeben.

In Abschnitt 5.6.6 wird die Wahrscheinlichkeitsverteilung  $w(x)$  hergeleitet. Die Verlustwahrscheinlichkeiten infolge von Blockierung des Ursprungs- bzw. Zielkoppelvielfachs werden für die beiden Wegesuchalgorithmen in Abschnitt 5.6.7 berechnet.

In den Abschnitten 5.6.8 bzw. 5.6.9 werden die Wahrscheinlichkeitsverteilung  $p_v(x)$  auf dem Zwischenleitungsbandel zwischen der Stufe  $v$  und der Stufe  $v+1$  bzw. die daraus resultierenden Zwischenblockierungen bestimmt.

5.6.2 Grundsätzliche Bemerkungen zur Definition des Angebots bei Systemen mit ZV 2 und Internverkehr

Bei der Betrachtung von Systemen mit Internverkehr und endlicher Anzahl von Verkehrsquellen (ZV 2) sind verschiedene Definitionen des Angebots möglich.

Bei ZV 1 wird für den Anrufprozess eine konstante, vom momentanen Belegungszustand des Systems unabhängige Anrufrate zugrunde gelegt. Diese konstante Anrufrate kann man sich durch eine unendlich große Zahl von Verkehrsquellen ( $q \rightarrow \infty, \alpha \rightarrow 0, \alpha q = \text{konst.}$ ) erzeugt denken. D.h. die Wahrscheinlichkeit, daß bei ZV 1 eine bestimmte Verkehrsquelle (von unendlich vielen) belegt ist, ist gleich Null.

Bei ZV 2 wird eine vom momentanen Belegungszustand des Systems abhängige Anrufrate zugrunde gelegt, dies entspricht einer endlichen Zahl von Verkehrsquellen ( $q < \infty$ ). D.h. die Wahrscheinlichkeit, daß bei ZV 2 eine bestimmte Verkehrsquelle (Teilnehmer) belegt ist, ist endlich groß.

Damit kann ein dem Linksystem angebotener Internruf bei ZV 2 auf zwei verschiedene Arten Verlust erleiden:

- 1. Verlust durch Blockierung des Linksystems  $B_{Link}$ , d.h. der Ruf findet keinen freien Weg zum Zielkoppelvielfach.
2. Verlust infolge von "Teilnehmerbesetzt"  $B_{Tln}$ , d.h. der gerufene Teilnehmer (die "gerufene" Verkehrsquelle) am Zielkoppelvielfach ist bereits besetzt (bei ZV 1:  $B_{Tln} = 0$ ).

Die Zahlenwerte dieser Verlustwahrscheinlichkeiten  $B_{Link}$  bzw.  $B_{Tln}$  sind in den meisten Fällen um eine oder sogar zwei Zehnerpotenzen verschieden. Übliche Werte für die Teilnehmerbesetztwahrscheinlichkeit sind  $B_{Tln} = 10\% - 20\%$ .

Das Linksystem selbst wird aber üblicherweise für  $B_{Link} = 1\% - 1\%$  dimensioniert.

Es ist deshalb üblich und zweckmäßig bei der Verlustberechnung von Linksystemen  $B_{Tln}$  auszuschließen, d.h. es werden nur die Verlustrufe je Zeiteinheit  $c_{V,Link}$  betrachtet, die keinen freien Weg zum Zielkoppelvielfach gefunden haben.

Das Angebot bzw. die Anzahl der angebotenen Rufe je Zeiteinheit kann nun auf zwei verschiedene Arten bestimmt werden; es ergeben sich damit zwei Definitionen für das Angebot:

- 1. Alle angebotenen Rufe  $c_{A1}$  je Zeiteinheit tragen zum Angebot bei; das Schicksal des Rufes (erfolgreich, Verlust infolge von Blockierung des Linksystems oder Verlust infolge von "Teilnehmerbesetzt") ist ohne Bedeutung.
2. Nur jene angebotenen Rufe  $c_{A2}$  je Zeiteinheit tragen zum Angebot bei, die nicht infolge von "Teilnehmerbesetzt" abgewiesen werden.

Werden die Verlustrufe  $c_{V,Link}$  auf  $c_{A1}$  bezogen, so ist der Quotient  $c_{V,Link}/c_{A1}$  der Prozentsatz der angebotenen Rufe, der durch Blockierung des Linksystems verloren geht. Die Anzahl der erfolgreichen Rufe  $c_L$  je Zeiteinheit ist dann aber nicht gleich der Differenz  $c_{A1} - c_{V,Link}$ , da in  $c_{A1}$  nicht erfolgreiche Rufe infolge von "Teilnehmerbesetzt" enthalten sind. Es ist also:

c\_L ≠ c\_A1 - c\_V,Link

und damit ist:

Y ≠ 2 · A\_1 · (1 - c\_V,Link / c\_A1)

(Bei Internverkehr gilt allgemein Y=2A(1-B), siehe Abschnitt 5.5.2.)

Werden dagegen die Verlustrufe  $c_{V,Link}$  auf  $c_{A2}$  bezogen, so ist:

B\_Link = c\_V,Link / c\_A2

die Verlustwahrscheinlichkeit des Linksystems und es gilt:

c\_L = c\_A2 - c\_V,Link

bzw.

Y = 2 · A\_2 · (1 - B\_Link)

Im folgenden wird immer die Angebotsdefinition 2 angewandt bei der die Beziehung Y=2A(1-B) erfüllt ist. D.h. die Rufe, die durch "Teilnehmerbesetzt" verloren gehen und nicht als eigentliche Verlustrufe gewertet werden, werden auch bei der Berechnung des Angebots nicht betrachtet.

5.6.3 Die Wegesuchalgorithmen (für Internverkehr)

5.6.3.1 Der Wegesuchalgorithmus 1

Bei diesem Wegesuchalgorithmus wird davon ausgegangen, daß sofort nach Einfall eines Internrufes das Zielkoppelvielfach bzw. der gerufene Teilnehmer ermittelt wird. Ist der gerufene Teilnehmer frei, dann wird versucht einen freien Weg durch das Linksystem vom rufenden zum gerufenen Teilnehmer zu finden. Ist der gerufene Teilnehmer belegt, dann wird der Ruf weder als Verlustruf noch als Angebotsruf gewertet (vgl. Angebotsdefinition, Abschnitt 5.6.2).

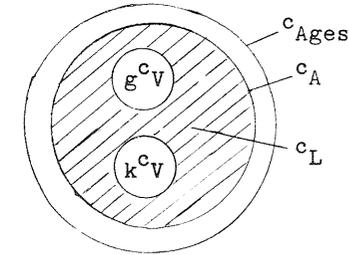
Zur Erläuterung dieses Sachverhalts bzw. zur deutlichen Unterscheidung der verschiedenen Wegesuchalgorithmen wird im folgenden der Wegesuchalgorithmus 1 stichwortartig anhand des Verbindungsaufbaus bei Einfall eines Internrufes beschrieben.

Zur weiteren Charakterisierung dient eine Mengendarstellung der verschiedenen Rufe je Zeiteinheit.

Der Verbindungsaufbau (Internverbindung):

- Ruf fällt ein; die Gesamtzahl aller angebotenen Rufe je Zeiteinheit ist  $c_{Ages}$ .
- Das Zielkoppelvielfach bzw. der gerufene Teilnehmer wird ermittelt.
- Gerufener Teilnehmer frei?
  - ja : Der Ruf wird als wirksamer angebotener Ruf gewertet. Die Zahl der wirksam angebotenen Rufe je Zeiteinheit ist  $c_A$ .
  - nein: Der Ruf wird nicht als wirksamer Ruf gewertet (er trägt nicht zum "echten" Angebot bei).
- War der gerufene Teilnehmer frei, dann Wegesuche abgehend vom Ursprungskoppelvielfach zum Leitungsbündel hinter der Stufe  $s$  des Linksystems.
- Wegesuche abgehend erfolgreich?
  - nein: Ruf erleidet Verlust in abgehender Richtung; die Zahl der abgehenden Verlustrufe je Zeiteinheit ist  $g^{cV}$ .
  - ja : Wegesuche ankommend vom Zielkoppelvielfach zum Leitungsbündel hinter der Stufe  $s$ .
- Wegesuche ankommend erfolgreich?
  - nein: Ruf erleidet Verlust in ankommender Richtung; die Zahl der ankommenden Verlustrufe je Zeiteinheit ist  $k^{cV}$ .
  - ja : Die Internverbindung ist aufgebaut; die Zahl der erfolgreichen Rufe je Zeiteinheit ist  $c_L$ .

Mengendarstellung:



Die Differenz  $c_{Ages} - c_A$  stellt die Menge jener angebotenen Rufe dar, bei der der gerufene Teilnehmer belegt ist.

Die Menge der erfolgreichen Rufe  $c_L$  ergibt sich aus der Differenz der Menge der wirksam angebotenen Rufe  $c_A$  und den beiden voneinander unabhängigen Untermengen der verlorenen Rufe  $g^{cV}$  und  $k^{cV}$ .

Es ist:

$$c_L = c_A - (g^{cV} + k^{cV})$$

Die Verlustwahrscheinlichkeit ergibt sich damit zu:

- abgehend:

$$g^b = \frac{g^{cV}}{c_A}$$

- ankommend:

$$k^b = \frac{k^{cV}}{c_A}$$

- gesamt:

$$b = g^b + k^b = \frac{g^{cV} + k^{cV}}{c_A}$$

} (IV.73)

Für die Verlustberechnung in abgehender und in ankommender Richtung liegt also dasselbe Angebot zugrunde.

5.6.3.2 Der Wegesuchalgorithmus 2

Bei diesem Wegesuchalgorithmus wird zunächst nach Einfall eines Internrufes ein Verbindungsaufbau in abgehender Richtung versucht, d.h. eine abgehende Wegesuche vom Ursprungskoppelvielfach zum Leitungsbündel hinter der Stufe  $s$  durchgeführt. Das Zielkoppelvielfach bzw. der gerufene Teilnehmer ist dabei noch nicht bekannt, d.h. die abgehende Wegesuche wird unabhängig vom Belegungsstatus des gerufenen Teilnehmers durchgeführt.

Nachdem der Verbindungsaufbau in abgehender Richtung erfolgreich war, wird das Zielkoppelvielfach bzw. der gerufene Teilnehmer ermittelt. Ist der gerufene Teilnehmer belegt, dann verläßt der Ruf ohne weitere Auswertung das System, die in abgehender Richtung aufgebaute Verbindung wird wieder aufgelöst. Der Ruf wird also nicht als ankommend angebotener sondern nur als abgehend angebotener Internruf gewertet (vgl. Angebotsdefinition in Abschnitt 5.6.2).

Ist der gerufene Teilnehmer frei, dann wird in ankommender Richtung vom Zielkoppelvielfach zum Leitungsbündel hinter der Stufe s eine Wegesuche durchgeführt.

Entsprechend wie beim Wegesuchalgorithmus 1 wird auch beim Wegesuchalgorithmus 2 also nur dann eine Verbindung durchgeschaltet, wenn der Ruf nicht durch Blockierung des Linksystems verloren geht und wenn der gerufene Teilnehmer frei ist. Bei derselben Belastung des Linksystems und derselben Aufteilung von Intern- und Externverkehr müssen also die Wahrscheinlichkeitsverteilungen  $w(x)$ ,  $p(x)$  und  $p_v(x)$  bei beiden Wegesuchalgorithmen identisch sein, da ein durch einen Internruf verursachter Übergang vom Zustand  $\{x\}$  zum Zustand  $\{x+2\}$  mit der Wahrscheinlichkeit auftritt, mit der ein Internruf einfällt ( $\alpha_1(i_1-x)$ ) und der gerufene Teilnehmer frei ist (Wahrscheinlichkeitsverteilung eines vollkommen erreichbaren Bündels). Diese Wahrscheinlichkeit ist für beide Wegesuchalgorithmen gleich. Der Unterschied zwischen den beiden Wegesuchalgorithmen besteht also nur in der unterschiedlichen Verlust- bzw. Angebotsberechnung bei gleicher Wahrscheinlichkeitsverteilung  $w(x)$  bzw.  $p(x)$  bzw.  $p_v(x)$  (Berechnung von  $p(x)$ ,  $w(x)$  und  $p_v(x)$  siehe Abschnitt 5.6.4, 5.6.6 und 5.6.8).

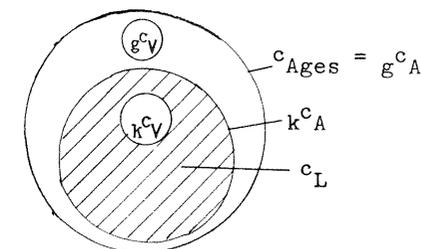
Den meisten Teilnehmerwahl-Koppelanordnungen moderner Vermittlungssysteme liegt dieses Wegesuchprinzip zugrunde. Dort wird nach Einfall eines Rufes eine Verbindung in abgehender Richtung aufgebaut, dann wählt der rufende Teilnehmer die Rufnummer des gewünschten Teilnehmers in ein zentrales Register. Dieses Register wertet die Rufnummer aus und veranlaßt die Markierung des gerufenen Teilnehmers. Nur wenn dieser Teilnehmer frei ist, wird in ankommender Richtung ein Verbindungsaufbau versucht (vgl. Abschnitt 3.1).

Wird für den Anrufprozess des Internverkehrs ZV 1 zugrunde gelegt, dann sind rechnerisch beide Wegesuchalgorithmen identisch, da bei ZV 1 die Wahrscheinlichkeit, daß eine bestimmte Verkehrsquelle belegt ist, gleich Null ist.

Im folgenden wird der Wegesuchalgorithmus 2 stichwortartig anhand des Verbindungsaufbaus bei Einfall eines Internrufes beschrieben:

- Ruf fällt ein; die Gesamtzahl aller angebotenen Internrufe je Zeiteinheit ist  $c_{Ages}$ .  $c_{Ages}$  ist in diesem Fall gleich der Zahl der wirksam abgehend angebotenen Rufe je Zeiteinheit  $g^c_A$ .
- Wegesuche in abgehender Richtung vom Ursprungskoppelvielfach zum Leitungsbündel hinter der Stufe s.
- Wegesuche in abgehender Richtung erfolgreich?
  - nein : Ruf erleidet abgehend Verlust; die Zahl der Verlustrufe in abgehender Richtung je Zeiteinheit ist  $g^c_V$ .
  - ja : Zielkoppelvielfach bzw. gerufener Teilnehmer wird ermittelt.
- Gerufener Teilnehmer frei?
  - ja : Der Ruf wird als wirksamer ankommend angebotener Ruf gewertet; die Zahl der wirksam ankommend angebotenen Rufe je Zeiteinheit ist  $k^c_A$ .
  - nein : Der Ruf wird nicht als wirksam ankommend angebotener Ruf gewertet; die bereits bestehende Verbindung in abgehender Richtung wird aufgelöst.
- War der gerufene Teilnehmer frei, dann Wegesuche in ankommender Richtung vom Zielkoppelvielfach zum Leitungsbündel hinter der Stufe s.
- Wegesuche in ankommender Richtung erfolgreich?
  - nein : Ruf erleidet ankommend Verlust; die Zahl der Verlustrufe in ankommender Richtung je Zeiteinheit ist  $k^c_V$ .
  - ja : Die Internverbindung ist aufgebaut; die Zahl der erfolgreichen Rufe je Zeiteinheit ist  $c_L$ .

Mengendarstellung:



Die Zahl der erfolgreichen Rufe  $c_L$  ergibt sich aus der Differenz der Menge der ankommend angebotenen Rufe und der Menge der Verlustrufe in ankommender Richtung:

$$c_L = k^c_A - k^c_V \quad (IV.74)$$

Die Angebots- bzw. Verlustberechnung geht bei diesem Wegesuchalgorithmus von der Angebotsdefinition nach Abschnitt 5.6.2 aus; d.h. die Rufe bei denen der gerufene Teilnehmer belegt ist, werden nicht gewertet und die Beziehung  $Y=2A(1-B)$  soll erfüllt sein (Faktor 2 wegen der Doppelbelegung beim Internverkehr).

$k^c_A$  ist die Zahl der Rufe, die dem Linksystem in ankommender Richtung unter Berücksichtigung dessen, daß der gerufene Teilnehmer frei ist, angeboten werden. Hinzu kommt die Zahl der Verlustrufe in abgehender Richtung  $g^c_V$ . Da diese Rufe als Verlustrufe gewertet werden, müssen sie natürlich auch als Angebotsrufe gewertet werden.

Die Zahl der insgesamt wirksam angebotenen Rufe je Zeiteinheit ergibt sich zu:

$$c_A = g^c_V + k^c_A \quad (IV.75)$$

Allgemein ergibt sich die Zahl der erfolgreichen Rufe  $c_L$  aus der Differenz der Zahl der wirksam angebotenen Rufe  $c_A$  und der Zahl der insgesamt verloren gegangenen Rufe  $c_V$ . Es ist (vgl. Gl.(IV.74)):

$$\begin{aligned} c_L &= c_A - c_V = g^c_V + k^c_A - (g^c_V + k^c_V) = \\ &= k^c_A - k^c_V \end{aligned} \quad (IV.76)$$

Damit wird die Verlustwahrscheinlichkeit:

$$b = \frac{g^c_V + k^c_V}{c_A} = \frac{g^c_V + k^c_V}{g^c_V + k^c_A} \quad (IV.77)$$

Daraus ergibt sich der Anteil der Verlustwahrscheinlichkeit in abgehender Richtung:

$$b_g = \frac{g^c_V}{g^c_V + k^c_A} \quad (IV.78)$$

und der Anteil der Verlustwahrscheinlichkeit in ankommender Richtung:

$$b_k = \frac{k^c_V}{g^c_V + k^c_A} \quad (IV.79)$$

$b_g$  und  $b_k$  sind die Verlustwahrscheinlichkeitsanteile, die in ihrer Summe gerade die gesamte Verlustwahrscheinlichkeit  $b$  ergeben:

$$b = b_g + b_k.$$

Die Verlustwahrscheinlichkeit in abgehender Richtung für sich betrachtet ergibt sich zu:

$$b_g^* = \frac{g^c_V}{g^c_A}$$

und die Verlustwahrscheinlichkeit in ankommender Richtung ist:

$$b_k^* = \frac{k^c_V}{k^c_A}$$

Für die weiteren Betrachtungen interessieren aber nur die auf dasselbe Angebot bezogenen Verlustwahrscheinlichkeitsanteile nach Gl.(IV.78) und (IV.79).

Mit  $b$  nach Gl.(IV.77),  $Y/2 = c_L \cdot h$ ,  $A = (g^c_V + k^c_A)h$  und der mittleren Belegungsdauer  $h=1$  (normiert) ergibt sich aus Gl.(IV.76):

$$Y = 2A(1 - b)$$

#### 5.6.4 Die Wahrscheinlichkeitsverteilung $p(x)$ auf den $n_s$ Leitungen des Leitungsbündels hinter der Stufe $s$ des Linksystems (vollkommen erreichbares Bündel als Modell)

Bei beiden Wegesuchalgorithmen wird davon ausgegangen, daß dann und nur dann ein Internruf erfolgreich ist, wenn der Ruf einen freien Weg im Linksystem gefunden hat und wenn der gerufene Teilnehmer frei ist (vgl. Abschnitt 5.6.3).

Entsprechend ist ein ankommender Externruf ebenfalls nur dann erfolgreich, wenn der gerufene Teilnehmer frei ist und wenn ein freier Weg im Linksystem vorhanden ist.

Für die Berechnung von  $p(x)$  muß die Anzahl der Verkehrsquellen  $Q$ , die für das eine Leitungsbündel hinter der Stufe  $s$  (Betriebsart 1) wirksam ist, betrachtet werden.

Bei  $g_1$  Koppelvielfachen in der Stufe 1 und  $i_1$  Quellen je Koppelvielfach ergibt sich für das Leitungsbündel:

$$Q = i_1 g_1 \quad (IV.80)$$

d.h. die Gesamtheit aller Quellen erzeugt Verkehr, der diesem Leitungsbündel angeboten wird.

Damit ergibt sich (vgl. Kapitel III.3.2, Gl.(III.39)):

$$(x+2) p(x+2) = e g_{os}^{\alpha} (Q-(x+1)) p(x+1) + \quad (I)$$

$$+ e k_{os}^A p(x+1) \frac{Q-(x+1)}{Q} + \quad (II) \quad (IV.81)$$

$$+ 2 i_{os}^{\alpha} (Q-x) p(x) \frac{Q-(x+1)}{Q} \quad (III)$$

Zu (I) : Übergang  $\{x+1\} \rightarrow \{x+2\}$ , bedingt durch einen abgehenden Externruf. Im Zustand  $\{x+1\}$  sind  $(Q-(x+1))$  Quellen frei, damit ist die fiktive Anrufrate  $e g_{os}^{\alpha} (Q-(x+1))$ .

Zu (II) : Übergang  $\{x+1\} \rightarrow \{x+2\}$ , bedingt durch einen ankommenden Externruf. Das fiktive Angebot ist unabhängig vom Belegungszustand  $e k_{os}^A$ . Der Übergang findet aber nur statt, wenn der gerufene Teilnehmer frei ist. Insgesamt sind  $Q$  Teilnehmer (Quellen) vorhanden. Im Zustand  $\{x+1\}$  sind hiervon  $(Q-(x+1))$  Teilnehmer frei, d.h. mit der Wahrscheinlichkeit  $(Q-(x+1))/Q$  ist der gerufene Teilnehmer einer von den freien Teilnehmern.

Zu (III): Übergang  $\{x\} \rightarrow \{x+2\}$ , bedingt durch den Einfall eines Internrufes im Zustand  $\{x\}$ . Die fiktive Anrufrate ist dann  $i_{os}^{\alpha} (Q-x)$ . Der Übergang findet aber wie beim ankommenden Externverkehr nur dann statt, wenn der gerufene Teilnehmer frei ist. Trifft der Internruf im Zustand  $\{x\}$  ein, dann belegt dieser Ruf abgehend die  $(x+1)$ -te Quelle, d.h. es sind dann noch  $Q-(x+1)$  Quellen frei. Mit der Wahrscheinlichkeit  $(Q-(x+1))/Q$  ist damit der gerufene Teilnehmer einer von den freien Teilnehmern. (Zu dem Faktor 2 in Term (III) vgl. Kapitel III.3.3).

Wird in Gl.(IV.81)  $e k_{os}^{\alpha} = e k_{os}^A / Q$  eingeführt, so ergibt sich:

$$(x+2) p(x+2) = (e g_{os}^{\alpha} + e k_{os}^{\alpha})(Q-(x+1)) p(x+1) + 2 i_{os}^{\alpha} (Q-x) p(x) \frac{Q-(x+1)}{Q}$$

Mit  $e_{os}^{\alpha} = e g_{os}^{\alpha} + e k_{os}^{\alpha}$  ergibt sich für  $p(x+2)$ :

$$p(x+2) = e_{os}^{\alpha} \frac{Q-(x+1)}{x+2} p(x+1) + 2 i_{os}^{\alpha} \frac{Q-x}{x+2} p(x) \frac{Q-(x+1)}{Q} \quad (IV.82)$$

mit der Randbedingung:  $\sum_{x=0}^{n_s} p(x) = 1$

Die fiktiven Anrufraten  $e_{os}^{\alpha}$  und  $i_{os}^{\alpha}$  und damit die Zustandswahrscheinlichkeiten  $p(x)$  werden entsprechend zu Abschnitt 5.5.2 (ZV 1) ausgehend von den gegebenen Belastungen  $Y_e$  und  $Y_i$  iterativ bestimmt.

Hierbei gelten folgende Beziehungen ( $Y_{ges} = Y_e + Y_i$ ):

$$Y_e = e_{os}^{\alpha} (Q - Y_{ges}) (1 - e b_s) \quad (IV.83)$$

$$Y_i = 2 i_{os}^A (1 - i b_s) \quad (IV.84)$$

$$\text{mit } i_{os}^A = i_{os}^{\alpha} \sum_{x=0}^{n_s} (Q-x) p(x) \frac{Q-(x+1)}{Q}$$

$e b_s$  bzw.  $i b_s$  ist die externe bzw. interne Verlustwahrscheinlichkeit des vollkommen erreichbaren Bündels mit  $n_s$  Leitungen.

Gl.(IV.83) müßte eigentlich getrennt für den extern abgehenden und den extern ankommenden Verkehr aufgestellt werden, im folgenden wird aber gezeigt, daß die Verlustwahrscheinlichkeit für beide Verkehre identisch ist.

Die extern abgehende Verlustwahrscheinlichkeit des vollkommen erreichbaren Bündels mit  $n_s$  Leitungen ergibt sich zu:

$$e g_b^s = \frac{Q - n_s}{Q - Y_{ges}} p(n_s) \quad (\text{vgl. Gl. (III.17)})$$

Die Berechnung der extern ankommenden Verlustwahrscheinlichkeit erfolgt ausgehend von den extern ankommenden Verlustrufen  $ek^{cV}$  und Angebotsrufen  $ek^{cA}$  je Zeiteinheit.

Extern ankommende Verlustrufe treten im Zustand  $\{n_s\}$  auf. Es werden aber nur die Rufe berücksichtigt, bei denen der gerufene Teilnehmer frei wäre. Damit ergibt sich:

$$ek^{cV} = ek^{A_{os}} p(n_s) \frac{Q-n_s}{Q} = ek^{\alpha_{os}} (Q-n_s) p(n_s)$$

Bei der Berechnung der Angebotsrufe ist die in Abschnitt 5.6.2 eingeführte Definition 2 des Angebots zu beachten (nur die Rufe werden gewertet bei denen der gerufene Teilnehmer frei ist).  
Damit wird:

$$ek^{cA} = ek^{A_{os}} \sum_{x=0}^{n_s} p(x) \frac{Q-x}{Q} = ek^{\alpha_{os}} (Q-Y_{ges})$$

D.h. in jedem Zustand  $\{x\}$  muß die Wahrscheinlichkeit  $(Q-x)/Q$ , daß der gerufene Teilnehmer einer von den freien Teilnehmern ist, berücksichtigt werden.

Damit ergibt sich für die Verlustwahrscheinlichkeit des ankommenden Externverkehrs:

$$ek^{b_s} = \frac{ek^{cV}}{ek^{cA}} = \frac{Q - n_s}{Q - Y_{ges}} p(n_s)$$

Damit ist:

$$e^{b_s} = eg^{b_s} = ek^{b_s} = \frac{Q - n_s}{Q - Y_{ges}} p(n_s) \quad (IV.85)$$

Die Berechnung der internen Verlustwahrscheinlichkeit des vollkommen erreichbaren Bündels erfolgt ebenfalls ausgehend von der Berechnung der internen Verlustrufe  $i^{cV}$  je Zeiteinheit und der internen Angebotsrufe  $i^{cA}$  je Zeiteinheit.

Intern abgehende Verlustrufe treten im Zustand  $\{n_s\}$  auf, intern ankommende Verlustrufe treten im Zustand  $\{n_s-1\}$  auf, wobei wieder nur die Rufe berücksichtigt werden, bei denen der gerufene Teilnehmer frei ist.

Es gilt für die intern abgehenden Verlustrufe:

$$ig^{cV} = i^{\alpha_{os}} (Q-n_s) p(n_s) \frac{Q-(n_s+1)}{Q}$$

und für die intern ankommenden Verlustrufe:

$$ik^{cV} = i^{\alpha_{os}} (Q-(n_s-1)) p(n_s-1) \frac{Q-n_s}{Q}$$

Für die Angebotsrufe gilt:

$$i^{cA} = \sum_{x=0}^{n_s} i^{\alpha_{os}} (Q-x) p(x) \frac{Q-(x+1)}{Q}$$

Damit wird die interne Verlustwahrscheinlichkeit:

$$i^{b_s} = \frac{ig^{cV} + ik^{cV}}{i^{cA}} = \frac{(Q-n_s)p(n_s)(Q-(n_s+1)) + (Q-(n_s-1))p(n_s-1)(Q-n_s)}{\sum_{x=0}^{n_s} (Q-x)p(x)(Q-(x+1))} \quad (IV.86)$$

Die Anfangswerte für die fiktiven Anrufraten für die Iteration werden aus Gl.(IV.83) und (IV.84) für  $e^{b_s} = i^{b_s} = 0$  berechnet, es wird:

$$e^{\alpha_{oso}} = \frac{Y_e}{(Q-Y_{ges})} \quad (IV.87)$$

$$i^{\alpha_{oso}} = \frac{Y_i}{2(Q-Y_{ges}) \frac{Q-Y_{ges}}{Q}}$$

Zur Berechnung des Anfangswertes  $i^{\alpha_{oso}}$  wurde

$$\sum_{x=0}^{n_s} (Q-x)p(x) \frac{Q-(x+1)}{Q} \approx (Q-Y_{ges}) \frac{Q-Y_{ges}}{Q}$$

gesetzt (vgl. Gl.(IV.84)).

5.6.5 Die Bündelblockierungen

Mit den Zustandswahrscheinlichkeiten  $p(x)$  nach Abschnitt 5.6.4 werden die Bündelblockierungen nach Abschnitt 5.5.3 berechnet (die Berechnung der Bündelblockierungen unterscheidet sich bei gegebenem  $p(x)$  bei ZV 2 nicht von der Berechnung bei ZV 1):

- $[m]_{eg}$  nach Gl.(IV.44)
- $[m]_{ek}$  nach Gl.(IV.45)
- $[m]_{ig}$  nach Gl.(IV.46)
- $[m]_{ik}$  nach Gl.(IV.47) und
- $[m]_i$  nach Gl.(IV.48).

5.6.6 Die Wahrscheinlichkeitsverteilung  $w(x)$  auf den  $k_1$  Zwischenleitungen

Die Wahrscheinlichkeitsverteilung  $w(x)$  ist, wie bereits erwähnt, für beide Wegesuchalgorithmen identisch (siehe Seite 83).

Bei der Herleitung der Rekursionsformel für die Zustandswahrscheinlichkeiten  $w(x)$  wird entsprechend zu Abschnitt 5.5.4 (Wahrscheinlichkeitsverteilung  $w(x)$  bei ZV 1) vorgegangen, d.h. es werden wieder 5 verschiedene Verkehre betrachtet (siehe Bild 16).

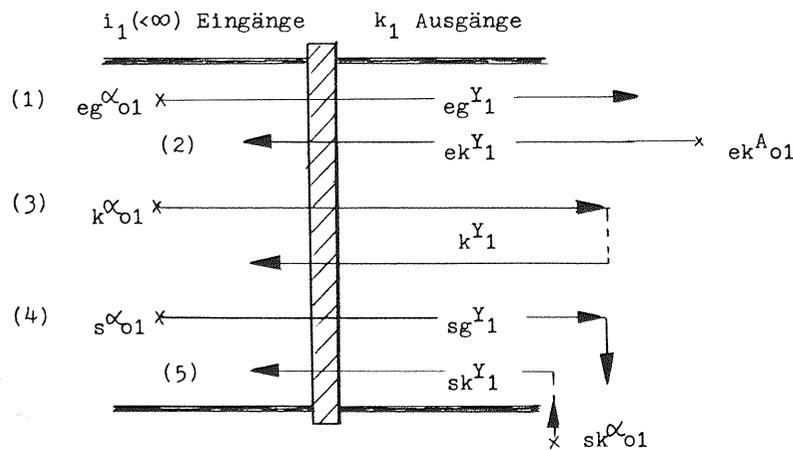


Bild 16: Ein Koppelvielfach der Stufe 1 mit den verschiedenen Verkehren (Kommentar siehe Seite 92ff).

In Bild 16 ist:

- (1): Abgehender Externverkehr mit der fiktiven Anrufrate  $eg^{\alpha_{01}}$  je freie Quelle und der Belastung  $eg^{Y_1}$ . Die Anrufrate im Zustand  $\{x+1\}$  ergibt sich zu  $eg^{\alpha_{01}}(i_1-(x+1))$ .
- (2): Ankommender Externverkehr mit dem fiktiven Angebot  $ek^{\alpha_{01}}$  und der Belastung  $ek^{Y_1}$ . Ein im Zustand  $\{x+1\}$  ankommender Externruf ist erfolgreich, wenn der gerufene Teilnehmer frei ist, die Wahrscheinlichkeit hierfür ist  $(i_1-(x+1))/i_1$ .
- (3): Kv- interner Verkehr mit der fiktiven Anrufrate  $k^{\alpha_{01}}$  und der Belastung  $k^{Y_1}$ . Beim kv-internen Verkehr ist das Zielkoppelvielfach gleich dem Ursprungskoppelvielfach, d.h. ein erfolgreicher kv-interner Ruf belegt gleichzeitig zwei von den  $k_1$  Leitungen. Im Zustand  $\{x\}$  ist die Anrufrate  $k^{\alpha_{01}}(i_1-x)$ . Die Wahrscheinlichkeit, daß der gerufene Teilnehmer frei ist, ist  $(i_1-(x+1))/i_1$  (abgehend wird die  $(x+1)$ -te Quelle belegt).
- (4): Abgehender systeminterner Verkehr mit der Belastung  $sg^{Y_1}$ ; die fiktive systeminterne Anrufrate je freie Quelle ist  $s^{\alpha_{01}}$ . Damit ist im Zustand  $\{x+1\}$  die gesamte Anrufrate  $s^{\alpha_{01}}(i_1-(x+1))$ . Für einen systeminternen Ruf ist das Zielkoppelvielfach ungleich dem Ursprungskoppelvielfach. Der systeminterne Ruf ist aber abgehend im Ursprungskoppelvielfach nur dann erfolgreich, wenn der gerufene Teilnehmer im Zielkoppelvielfach frei ist. Der Zustand  $\{x\}$  des Zielkoppelvielfachs ist unabhängig vom Zustand des Ursprungskoppelvielfachs. D.h. bei Einfall eines systeminternen Rufes im Zustand  $\{x+1\}$  im Ursprungskoppelvielfach herrscht im Zielkoppelvielfach ein beliebiger Zustand  $\{x\}$  mit  $x=0,1,\dots,k_1$ . Über den Zustand des Zielkoppelvielfachs ist also keine Aussage möglich. Deshalb wird für das Zielkoppelvielfach eine Mittelwertbetrachtung gemacht, d.h. ein systeminterner Ruf findet im Zielkoppelvielfach im Mittel  $Y_1$  Leitungen und damit  $Y_1$  Quellen (Teilnehmer) belegt vor. Die Wahrscheinlichkeit, daß der gerufene Teilnehmer frei ist, ist dann  $(i_1-Y_1)/i_1$ , unabhängig vom Zustand  $\{x\}$  des Ursprungskoppelvielfachs.

(5): Ankommender systeminterner Verkehr mit der Belastung  $sk_{01}^{Y_1}$ . Jede freie Quelle eines Koppelvielfachs der Stufe 1 hat die systeminterne Anrufrate  $s_{01}^{\alpha}$ . Das Ursprungskoppelvielfach dieses Verkehrs ist eines von den restlichen, nicht betrachteten  $(g_1-1)$  Koppelvielfachen der Stufe 1. D.h. jede freie Quelle, die an einem der nicht betrachteten Koppelvielfache angeschlossen ist, wirkt mit einer ankommenden systeminternen Anrufrate

$$sk_{01}^{\alpha} = \frac{s_{01}^{\alpha}}{g_1-1} \quad (IV.88)$$

auf das betrachtete Koppelvielfach. Hierbei wird wieder vorausgesetzt, daß sich der ankommende Verkehr gleichmäßig auf alle Koppelvielfache der Stufe 1 aufteilt. Für jeden Zustand  $\{x\}$  des betrachteten Koppelvielfachs ist bei einer Belastung  $Y_1$  je Koppelvielfach der Erwartungswert der Anzahl der freien Quellen  $q_f$  der restlichen  $(g_1-1)$  Koppelvielfache der Stufe 1:

$$q_f = (i_1 - Y_1)(g_1 - 1) \quad (IV.89)$$

Ein im Zustand  $\{x+1\}$  eintreffender systeminterner ankommender Ruf ist dann erfolgreich, wenn der gerufene Teilnehmer frei ist, die Wahrscheinlichkeit hierfür ist  $(i_1 - (x+1))/i_1$ .

Damit ergibt sich:

$$\begin{aligned} (x+2)w(x+2) &= e_{g_{01}}^{\alpha} (i_1 - (x+1))w(x+1) + e_{k_{01}}^A w(x+1) \frac{i_1 - (x+1)}{i_1} + \\ &+ k_{01}^{\alpha} (i_1 - x) \cdot 2 \cdot w(x) \frac{i_1 - (x+1)}{i_1} + \\ &+ s_{01}^{\alpha} (i_1 - (x+1))w(x+1) \frac{i_1 - Y_1}{i_1} + sk_{01}^{\alpha} \cdot q_f \cdot w(x+1) \frac{i_1 - (x+1)}{i_1} \end{aligned}$$

Mit  $ek_{01}^{\alpha} = ek_{01}^A/i_1$ ,  $e_{01}^{\alpha} = e_{g_{01}}^{\alpha} + ek_{01}^{\alpha}$ ,  $sk_{01}^{\alpha}$  nach Gl.(IV.88) und  $q_f$  nach Gl.(IV.89) ergibt sich:

$$\begin{aligned} w(x+2) &= e_{01}^{\alpha} \frac{i_1 - (x+1)}{x+2} w(x+1) + \\ &+ 2 \cdot s_{01}^{\alpha} \frac{i_1 - (x+1)}{x+2} w(x+1) \frac{i_1 - Y_1}{i_1} + \\ &+ k_{01}^{\alpha} \frac{i_1 - x}{x+2} \cdot 2 \cdot w(x) \frac{i_1 - (x+1)}{i_1} \end{aligned} \quad (IV.90)$$

mit der Randbedingung:  $\sum_{x=0}^a w(x) = 1$

wobei für  $i_1 \geq k_1$ :  $a = k_1$  und  
für  $i_1 < k_1$ :  $a = i_1$  (IV.91)

Gl.(IV.90) enthält 3 Verkehrsanteile:

- 1) Externverkehr mit der Belastung  $e_{Y_1} = e_{g_{Y_1}} + ek_{Y_1}$ ,
- 2) Systeminterner Verkehr mit der Belastung  $s_{Y_1}$ ,
- 3) Kv-interner Verkehr mit der Belastung  $k_{Y_1}$ .

Die iterative Berechnung von  $w(x)$  wird entsprechend zu Abschnitt 5.5.4 durchgeführt, wobei für die Verkehre folgende Beziehungen gelten:

Externverkehr:

$$\left. \begin{aligned} \text{Fiktives Angebot: } e_{01}^A &= e_{01}^{\alpha} (i_1 - Y_1) \\ \text{Verlust} &: e_{b_1} = \frac{i_1 - a}{i_1 - Y_1} w(a) \\ \text{Belastung} &: e_{Y_1} = e_{01}^A (1 - e_{b_1}) \end{aligned} \right\} \quad (IV.92)$$

Systeminterner Verkehr:

Für das fiktive systemintern abgehende Angebot  $sg_{01}^A$  gilt, unter der Bedingung, daß nur die Rufe zum Angebot beitragen, bei denen der gerufene Teilnehmer beim Zielkoppelvielfach frei ist (vgl. Definition des Angebots, Abschnitt 5.6.2):

$$sg_{01}^A = s_{01}^{\alpha} \sum_{x=0}^a (i_1 - x)w(x) \frac{i_1 - Y_1}{i_1} = s_{01}^{\alpha} (i_1 - Y_1) \frac{i_1 - Y_1}{i_1}$$

Hierbei ist  $(i_1 - Y_1)/i_1$  die vom momentanen Zustand  $\{x\}$  des betrachteten (Ursprungs-) Koppelvielfachs unabhängige Wahrscheinlichkeit, daß der gerufene Teilnehmer frei ist.

Für das systemintern ankommende Angebot  $sk^{A_{01}}$  gilt:

$$sk^{A_{01}} = sk^{\alpha_{01}} q_f \sum_{x=0}^a \frac{i_1^{-x}}{i_1} w(x)$$

Mit  $sk^{\alpha_{01}}$  nach Gl.(IV.88) und  $q_f$  nach Gl.(IV.89) ergibt sich:

$$sk^{A_{01}} = s^{\alpha_{01}} (i_1^{-Y_1}) \frac{i_1^{-Y_1}}{i_1} = sg^{A_{01}} = s^{A_{01}} \quad (IV.93)$$

Das systemintern abgehende Angebot ist also gleich dem systemintern ankommenden Angebot.

Für den systeminternen Verlust in abgehender Richtung des vollkommen erreichbaren Bündels gilt:

$$sg^{b_1} = \frac{s^{\alpha_{01}} (i_1^{-a}) w(a) \frac{i_1^{-Y_1}}{i_1}}{s^{\alpha_{01}} (i_1^{-Y_1}) \frac{i_1^{-Y_1}}{i_1}} = \frac{i_1^{-a}}{i_1^{-Y_1}} w(a)$$

Der Verlust in ankommender Richtung ist:

$$sk^{b_1} = \frac{sk^{\alpha_{01}} \cdot q_f \cdot w(a) \frac{i_1^{-a}}{i_1}}{sk^{\alpha_{01}} \cdot q_f \cdot \frac{i_1^{-Y_1}}{i_1}} = \frac{i_1^{-a}}{i_1^{-Y_1}} w(a) = sg^{b_1} \quad (IV.94)$$

mit  $a$  nach Gl.(IV.91).

Für die systeminternen Belastungen gilt:

$$sg^{Y_1} = sg^{A_{01}} (1 - sg^{b_1})$$

$$sk^{Y_1} = sk^{A_{01}} (1 - sk^{b_1})$$

und damit wird die gesamte systeminterne Belastung (mit Gl.(IV.93) und (IV.94)):

$$s^{Y_1} = sg^{Y_1} + sk^{Y_1} = 2 \cdot s^{A_{01}} (1 - sg^{b_1}) \quad (IV.95)$$

### Koppelvielfachinterner Verkehr:

Bei Einfall eines kv-internen Rufes im Zustand  $\{x\}$  des betrachteten (vollkommen erreichbaren) Bündels ist die Wahrscheinlichkeit, daß der gerufene Teilnehmer frei ist  $(i_1^{-(x+1)})/i_1$ . Damit ergibt sich das fiktive kv-interne Angebot:

$$k^{A_{01}} = k^{\alpha_{01}} \sum_{x=0}^a (i_1^{-x}) w(x) \frac{i_1^{-(x+1)}}{i_1} \quad (IV.96)$$

In abgehender Richtung tritt im Zustand  $\{a\}$  (a nach Gl.(IV.91)) kv-interner Verlust auf, aber wie für das Angebot werden auch für den Verlust nur die Rufe gewertet, bei denen der gerufene Teilnehmer frei ist. Es wird:

$$kg^{b_1} = \frac{k^{\alpha_{01}} (i_1^{-a}) w(a) \frac{i_1^{-(a+1)}}{i_1}}{k^{\alpha_{01}} \sum_{x=0}^a (i_1^{-x}) w(x) \frac{i_1^{-(x+1)}}{i_1}} = \frac{(i_1^{-a}) w(a) (i_1^{-(a+1)})}{\sum_{x=0}^a (i_1^{-x}) w(x) (i_1^{-(x+1)})} \quad (IV.97)$$

In ankommender Richtung tritt im Zustand  $\{a-1\}$  kv-interner Verlust auf, da ein Ruf, der im Zustand  $\{a-1\}$  einfällt, in abgehender Richtung die letzte freie Leitung belegt. Mit der Wahrscheinlichkeit  $(i_1^{-a})/i_1$ , daß der gerufene Teilnehmer frei ist, ergibt sich:

$$kk^{b_1} = \frac{k^{\alpha_{01}} (i_1^{-(a-1)}) w(a-1) \frac{i_1^{-a}}{i_1}}{k^{\alpha_{01}} \sum_{x=0}^a (i_1^{-x}) w(x) \frac{i_1^{-(x+1)}}{i_1}} = \frac{(i_1^{-(a-1)}) w(a-1) (i_1^{-a})}{\sum_{x=0}^a (i_1^{-x}) w(x) (i_1^{-(x+1)})} \quad (IV.98)$$

$$\text{Mit } k^{b_1} = kg^{b_1} + kk^{b_1} \quad (IV.99)$$

ergibt sich für die kv-interne Belastung:

$$k^{Y_1} = 2 \cdot k^{A_{01}} (1 - k^{b_1}) \quad (IV.100)$$

Damit können die Zustandswahrscheinlichkeiten  $w(x)$  ausgehend von der Rekursionsformel (IV.90) mit Hilfe der Beziehungen für die Belastungen iterativ berechnet werden (vgl. Abschnitt 5.5.2)

Die Anfangswerte für die Iteration sind (Verlustwahrscheinlichkeiten gleich Null):

$$\left. \begin{aligned} e^{\alpha}_{010} &= \frac{e^{Y_1}}{i_1 - Y_1} \quad (\text{nach Gl. (IV.92) mit } e^{b_1}=0) \\ s^{\alpha}_{010} &= \frac{s^{Y_1}}{2(i_1 - Y_1) \frac{i_1 - Y_1}{i_1}} \quad (\text{nach Gl. (IV.95) mit } s^{b_1}=0) \\ k^{\alpha}_{010} &= \frac{k^{Y_1}}{2(i_1 - Y_1) \frac{i_1 - Y_1}{i_1}} \quad (\text{nach Gl. (IV.100) mit } k^{b_1}=0) \end{aligned} \right\} \text{(IV.101)}$$

Zur Berechnung des Anfangswertes  $k^{\alpha}_{010}$  wurde

$$\sum_{x=0}^a (i_1 - x) w(x) \frac{i_1 - (x+1)}{i_1} \approx (i_1 - Y_1) \frac{i_1 - Y_1}{i_1} \quad \text{gesetzt (vgl. Gl. (IV.96)).}$$

### 5.6.7 Die Verlustwahrscheinlichkeiten infolge von Blockierung des Ursprungs- bzw. Zielkoppelvielfachs

#### 5.6.7.1 Wegesuchalgorithmus 1 (vgl. Seite 81ff)

Beim Wegesuchalgorithmus 1 wird beim Internverkehr bereits für das Angebot in abgehender Richtung berücksichtigt, ob der gerufene Teilnehmer frei ist. Dementsprechend werden bei der Verlustberechnung alle Verlustrufe (abgehend bzw. ankommend) auf diese reduzierte Zahl von Angebotsrufen bezogen (vgl. Abschnitt 5.6.3, Gl. (IV.73)). Die zur iterativen Berechnung von  $w(x)$  notwendigen Verlustwahrscheinlichkeiten  $sg^{b_1}$ ,  $sk^{b_1}$ ,  $kk^{b_1}$  und  $k^{b_1}$  werden ebenfalls entsprechend zu Gl. (IV.73) (vgl. Abschnitt 5.6.6) berechnet. Damit gelten für die Verlustwahrscheinlichkeiten infolge von Blockierung des Ursprungs- bzw. Zielkoppelvielfachs die Gleichungen von Abschnitt 5.6.6. Der Übersichtlichkeit halber werden diese Beziehungen hier noch einmal gezeigt und mit eigenen Gleichungsnummern versehen:

$$e^{b_1} = e^{k^{b_1}} = \frac{i_1 - a}{i_1 - Y_1} w(a) \quad (\text{IV.102}) \quad (\text{vgl. Gl. (IV.92)})$$

$$sg^{b_1} = sk^{b_1} = \frac{i_1 - a}{i_1 - Y_1} w(a) \quad (\text{IV.103}) \quad (\text{vgl. Gl. (IV.94)})$$

$$kg^{b_1} = \frac{(i_1 - a)w(a)(i_1 - (a+1))}{\sum_{x=0}^a (i_1 - x)w(x)(i_1 - (x+1))} \quad (\text{IV.104}) \quad (\text{vgl. Gl. (IV.97)})$$

$$kk^{b_1} = \frac{(i_1 - (a-1))w(a-1)(i_1 - a)}{\sum_{x=0}^a (i_1 - x)w(x)(i_1 - (x+1))} \quad (\text{IV.105}) \quad (\text{vgl. Gl. (IV.98)})$$

$$k^{b_1} = kg^{b_1} + kk^{b_1} \quad (\text{IV.106}) \quad (\text{vgl. Gl. (IV.99)})$$

wobei für  $a$  Gl. (IV.91) gilt.

Der relative Anteil  $kg^{c_{L1}}/k^{c_A}$ :

Es ist die Anzahl der kv-intern angebotenen Rufe  $k^{c_A}$  je Zeiteinheit (vgl. Gl. (IV.96)):

$$k^{c_A} = k^{\alpha} \sum_{x=0}^a (i_1 - x)w(x) \frac{i_1 - (x+1)}{i_1}$$

Die Anzahl der kv-internen Rufe  $kg^{c_{L1}}$  je Zeiteinheit, die nicht in abgehender Richtung infolge von Blockierung des Ursprungskoppelvielfachs verloren gehen, ergibt sich aus der Differenz der Anzahl der kv-intern angebotenen Rufe und der Anzahl der infolge von Blockierung des Ursprungskoppelvielfachs verloren gegangenen Rufe. Damit wird (vgl. Gl. (IV.97)):

$$kg^{c_{L1}} = k^{c_A} - k^{\alpha} (i_1 - a)w(a) \frac{i_1 - (a+1)}{i_1}$$

Damit ergibt sich:

$$\frac{kg^{c_{L1}}}{k^{c_A}} = 1 - \frac{(i_1 - a)w(a) \frac{i_1 - (a+1)}{i_1}}{\sum_{x=0}^a (i_1 - x)w(x) \frac{i_1 - (x+1)}{i_1}}$$

Mit Gl. (IV.104) ist:

$$\frac{kg^{c_{L1}}}{k^{c_A}} = 1 - kg^{b_1} \quad (\text{IV.107})$$

Entsprechend gilt für die restlichen Anteile:

$$\frac{k^{c_{L1}}}{k^{c_A}} = 1 - k^{b_1} \quad (\text{IV.108})$$

$$\frac{sg^c L1}{s^c A} = 1 - sg^{b_1} \quad (IV.109)$$

$$\frac{sk^c V1}{s^c A} = sk^{b_1}(1 - sg^{b_1}) \quad (IV.110)$$

$$\frac{s^c L1}{s^c A} = (1 - sg^{b_1})(1 - sk^{b_1}) \quad (IV.111)$$

#### 5.6.7.2 Wegesuchalgorithmus 2 (vgl. Seite 82ff)

Entsprechend der im Abschnitt 5.6.3 für den Wegesuchalgorithmus 2 eingeführten Verlustdefinition werden in diesem Abschnitt die Verlustwahrscheinlichkeiten (bzw. Verlustwahrscheinlichkeitsanteile (vgl. Abschnitt 5.6.3)) infolge von Blockierung des Ursprungs- bzw. Zielkoppelvielfachs in der Stufe 1 berechnet.

#### Externverkehr:

Für den Externverkehr ist der Wegesuchalgorithmus ohne Bedeutung, es gilt Gl.(IV.102):

$$eg^b_1 = ek^b_1 = \frac{i_1 - a}{i_1 - Y_1} w(a)$$

#### Internverkehr (kv-interner bzw. systeminterner Verkehr):

Beim Wegesuchalgorithmus 1 war das (kv-interne bzw. systeminterne) Angebot im Zustand  $\{x\}$  des Koppelvielfachs der Stufe 1 eine Funktion der momentan freien Quellen und der Wahrscheinlichkeit, mit der der gerufene Teilnehmer frei ist (vgl. Gl.(IV.105)).

Beim Wegesuchalgorithmus 2 ist das (kv-interne bzw. systeminterne) Angebot zusätzlich eine Funktion der Bündelblockierung und, sofern vorhanden, der Zwischenblockierungen, da sowohl die Zahl der Verlustrufe in abgehender Richtung als auch die Zahl der in ankommender Richtung angebotenen Rufe von der Bündelblockierung bzw. den Zwischenblockierungen abhängen (vgl. Gl.(IV.75), Zahl der wirksam angebotenen Rufe je Zeiteinheit).

Damit ergibt sich allgemein für die Verlustwahrscheinlichkeit infolge von Blockierung des Ursprungs- bzw. Zielkoppelvielfachs (die Gleichung gilt sowohl für den kv-internen als auch den systeminternen Verkehr):

$$b_1 = \frac{g^c V1 + k^c V1}{g^c Vges + k^c Ages} \quad (IV.112)$$

Hierbei ist (kv-intern bzw. systemintern):

$g^c V1$  : Die Zahl der Rufe je Zeiteinheit, die abgehend infolge von Blockierung des Ursprungskoppelvielfachs verloren gehen.

$k^c V1$  : Die Zahl der Rufe je Zeiteinheit, die in ankommender Richtung infolge von Blockierung des Zielkoppelvielfachs verloren gehen.

$g^c Vges$  : Die Zahl der Rufe je Zeiteinheit, die insgesamt in abgehender Richtung verloren gehen (durch Blockierung des Ursprungskoppelvielfachs oder durch Bündelblockierung oder eventuell durch Zwischenblockierung).

$k^c Ages$  : Die Zahl der Rufe je Zeiteinheit, die in abgehender Richtung nicht verloren gehen und bei denen der gerufene Teilnehmer frei ist. D.h. die Zahl der Rufe, die in ankommender Richtung angeboten werden.

Bei der Berechnung von  $b_1$  werden also die Verlustrufe infolge von Blockierung des Ursprungs- bzw. Zielkoppelvielfachs bezogen auf die insgesamt angebotenen Rufe, wobei diese Zahl gemäß Gl.(IV.75) definiert ist:

$$c_A = g^c Vges + k^c Ages \quad (IV.113)$$

Im folgenden werden die Verlustwahrscheinlichkeiten bzw. Verlustwahrscheinlichkeitsanteile infolge von Blockierung des Ursprungs- bzw. Zielkoppelvielfachs ausgehend von Gl.(IV.112) für den kv-internen und den systeminternen Verkehr sowohl unter Vernachlässigung als auch mit Berücksichtigung der Zwischenblockierung in dem betrachteten Linksystem berechnet.

#### Kv-interner Verkehr:

Nach Gl.(IV.112) gilt:

$$k^b_1 = \frac{kg^c V1 + kk^c V1}{kg^c Vges + kk^c Ages} \quad (IV.114)$$

Dementsprechend ergibt sich für die Verlustwahrscheinlichkeitsanteile:

$$kg^{b_1} = \frac{kg^c V_1}{kg^c V_{ges} + kk^c A_{ges}} \quad (IV.115)$$

$$kk^{b_1} = \frac{kk^c V_1}{kg^c V_{ges} + kk^c A_{ges}} \quad (IV.116)$$

Die Zahl der insgesamt in abgehender Richtung auftretenden Verlustrufe je Zeiteinheit ergibt sich zu (ohne Zwischenblockierung):

$$kg^c V_{ges} = k^\alpha \left[ (i_1 - a)w(a) + \left\{ (i_1 - Y_1) - (i_1 - a)w(a) \right\} [m]_{ig} \right] \quad (IV.117a)$$

mit

$k^\alpha$  : Kv-interne Anrufrate je freie Quelle.

$k^\alpha (i_1 - a)w(a)$  : Anzahl der Verlustrufe je Zeiteinheit in abgehender Richtung infolge von Blockierung des Ursprungskoppelvielfachs. Im Unterschied zum Wegesuchalgorithmus 1 (vgl. Gl.(IV.104)) wird hier beim Wegesuchalgorithmus 2 für den abgehenden Verkehr die Wahrscheinlichkeit, daß der gerufene Teilnehmer frei ist, nicht betrachtet, da der gerufene Teilnehmer erst nach erfolgreicher Wegesuche in abgehender Richtung ermittelt wird (vgl. Abschnitt 5.6.3).

$k^\alpha (i_1 - Y_1)$  : Anzahl der insgesamt angebotenen kv-internen Rufe je Zeiteinheit in abgehender Richtung.

$[m]_{ig}$  : Bündelblockierung in abgehender Richtung (intern).

$k^\alpha \left\{ (i_1 - Y_1) - (i_1 - a)w(a) \right\} [m]_{ig}$  : Anzahl der Verlustrufe je Zeiteinheit in abgehender Richtung, die nicht durch Blockierung des Ursprungskoppelvielfachs, sondern durch Bündelblockierung verloren gehen.

Mit Zwischenblockierung gilt (vgl. Gl.(IV.13b), Abschnitt 5.4.1.2):

$$kg^c V_{ges} = k^\alpha \left[ (i_1 - a)w(a) + \left\{ (i_1 - Y_1) - (i_1 - a)w(a) \right\} \left[ 1 - \prod_{\nu=2}^{s-1} (1 - [m_{1\nu}]_{bg}) (1 - [m]_{ig}) \right] \right] \quad (IV.117b)$$

Hierbei ist:

$[m_{1\nu}]_{bg}$ : Wsch., daß für blockinterne Rufe Zwischenblockierung zwischen Stufe  $\nu$  und Stufe  $\nu+1$  in abgehender Richtung existiert.

Für  $[m_{1\nu}]_{bg} = 0$  geht Gl.(IV.117b) in Gl.(IV.117a) über.

Die Zahl der insgesamt kv-intern angebotenen Rufe je Zeiteinheit in ankommender Richtung wird (ohne Zwischenblockierung):

$$kk^c A_{ges} = k^\alpha \sum_{x=0}^{a-1} (i_1 - x)w(x) \frac{i_1 - (x+1)}{i_1} (1 - [m]_{ig}) \quad (IV.118a)$$

mit:

$k^\alpha (i_1 - x)$  : Anrufrate im Zustand  $\{x\}$ .

$\frac{i_1 - (x+1)}{i_1}$  : Wsch., daß der gerufene Teilnehmer bei Einfall eines kv-internen Rufes im Zustand  $\{x\}$  frei ist (Zielkoppelvielfach = Ursprungskoppelvielfach).

$(1 - [m]_{ig})$ : Wsch., daß keine Bündelblockierung in abgehender Richtung auftritt (intern).

Damit ist

$$k^\alpha (i_1 - x)w(x) \frac{i_1 - (x+1)}{i_1} (1 - [m]_{ig})$$

die Anzahl der Rufe je Zeiteinheit, die im Zustand  $\{x\}$  einfallen, die nicht in abgehender Richtung durch Bündelblockierung verloren gehen und bei denen der gerufene Teilnehmer frei ist.

Da im Zustand  $\{a\}$  alle einfallenden Rufe in abgehender Richtung infolge von Blockierung des Ursprungskoppelvielfachs verloren gehen, erfolgt bei der Berechnung von  $kk^c A_{ges}$  in Gl.(IV.118a) die Summation von  $x=0$  bis  $x=a-1$ .

Mit Zwischenblockierung gilt (vgl. Abschnitt 5.4.1.2, Gl.(IV.14b)):

$$kk^c A_{ges} = k^\alpha \sum_{x=0}^{a-1} (i_1 - x)w(x) \frac{i_1 - (x+1)}{i_1} \prod_{\nu=2}^{s-1} (1 - [m_{1\nu}]_{bg}) (1 - [m]_{ig}) \quad (IV.118b)$$

Mit  $kg^c V_{ges}$  nach Gl.(IV.117) und  $kk^c A_{ges}$  nach Gl.(IV.118) kann die Zahl der wirksam angebotenen kv-internen Rufe  $k^c A$  je Zeiteinheit berechnet werden (vgl. Gl.(IV.113)):

$$k^c A = kg^c V_{ges} + kk^c A_{ges} \quad (IV.119)$$

Alle Rufe, die im Zustand  $\{a\}$  einfallen, erleiden in abgehender Richtung Verlust infolge von Blockierung des Ursprungskoppelvielfachs, damit ist:

$$kg^{cV1} = k^\alpha (i_1 - a)w(a) \quad (IV.120)$$

Die Rufe, die im Zustand  $\{a-1\}$  einfallen, erleiden in ankommender Richtung Verlust infolge von Blockierung des Zielkoppelvielfachs (= Ursprungskoppelvielfach). Es werden nur die Rufe gewertet, bei denen der gerufene Teilnehmer frei ist, die Wahrscheinlichkeit hierfür ist dann  $(i_1 - a)/i_1$ . Damit wird:

$$kk^{cV1} = k^\alpha (i_1 - (a-1))w(a-1) \frac{i_1 - a}{i_1} \quad (IV.121)$$

Mit den Gleichungen (IV.117) bis (IV.121) können

$$\begin{aligned} k^{b1} & \text{ nach Gl. (IV.114),} \\ kg^{b1} & \text{ nach Gl. (IV.115) und} \\ kk^{b1} & \text{ nach Gl. (IV.116) berechnet werden.} \end{aligned}$$

Der relative Anteil  $kg^{cL1}/k^{cA}$  der kv-internen Rufe, die in abgehender Richtung im Ursprungskoppelvielfach eine freie Zwischenleitung finden:

Die Zahl der Rufe  $kg^{cL1}$ , die im Ursprungskoppelvielfach eine freie Leitung finden, die also nicht in abgehender Richtung in der Stufe 1 verloren gehen, ergibt sich zu:

$$kg^{cL1} = k^\alpha (i_1 - Y_1) - k^\alpha (i_1 - a)w(a) \quad (IV.122)$$

D.h.  $kg^{cL1}$  ist "Zahl der in abgehender Richtung angebotenen kv-internen Rufe" minus "Zahl der in abgehender Richtung infolge von Blockierung des Ursprungskoppelvielfachs verloren gegangenen kv-internen Rufe".

Mit  $k^{cA}$  nach Gl. (IV.119) und  $kg^{cL1}$  nach Gl. (IV.122) kann damit  $kg^{cL1}/k^{cA}$  berechnet werden. Es gilt:

$$\frac{kg^{cL1}}{k^{cA}} = \frac{k^\alpha ((i_1 - Y_1) - (i_1 - a)w(a))}{kg^{cVges} + kk^{cAges}}$$

Der Vergleich mit  $kg^{b1}$  nach Gl. (IV.115) zeigt, daß hier beim Wegesuchalgorithmus 2 - anders als beim Algorithmus 1 -

$$\frac{kg^{cL1}}{k^{cA}} \neq 1 - kg^{b1} \quad \text{ist.}$$

Dies wird dadurch verursacht, daß beim Wegesuchalgorithmus 2 die Zahl der wirksam angebotenen Rufe  $k^{cA}$  ungleich der Zahl der insgesamt in abgehender Richtung angebotenen Rufe  $k^\alpha (i_1 - Y_1)$  ist.

Entsprechend erfolgt die Berechnung des Anteils  $k^{cL1}/k^{cA}$  (Anteil der kv-internen Rufe, die weder in abgehender noch in ankommender Richtung infolge von Blockierung des Ursprungs- (= Ziel-) Koppelvielfachs verloren gehen):

Beim kv-internen Verkehr sind rufender und gerufener Teilnehmer an demselben Koppelvielfach der Stufe 1 angeschlossen (Ursprungskoppelvielfach = Zielkoppelvielfach). D.h. Verlust infolge von Blockierung dieses Koppelvielfachs der Stufe 1 tritt in abgehender Richtung im Zustand  $\{a\}$  und in ankommender Richtung im Zustand  $\{a-1\}$  auf. Damit gehen alle Rufe, die weder im Zustand  $\{a\}$  noch im Zustand  $\{a-1\}$  einfallen nicht infolge von Blockierung in der Stufe 1 verloren. Da nur die Rufe gewertet werden, bei denen der gerufene Teilnehmer frei ist, ergibt sich:

$$k^{cL1} = k^\alpha \sum_{x=0}^{a-2} (i_1 - x)w(x) \frac{i_1 - (x+1)}{i_1} \quad (IV.123)$$

Mit  $k^{cA}$  nach Gl. (IV.119) und  $k^{cL1}$  nach (IV.123) kann  $k^{cL1}/k^{cA}$  berechnet werden.

Systeminterner Verkehr:

Entsprechend zu Gl.(IV.115) gilt:

$$sg^b_{1} = \frac{sg^c_{V1}}{s^c_A} \quad (IV.124)$$

und 
$$s^c_A = sg^c_{Vges} + sk^c_{Ages} \quad (IV.125)$$

Die Anzahl der insgesamt systemintern verloren gehenden Rufe je Zeiteinheit in abgehender Richtung ergibt sich zu (ohne Zwischenblockierung):

$$sg^c_{Vges} = s^{\alpha} \left[ (i_1 - a)w(a) + \{(i_1 - Y_1) - (i_1 - a)w(a)\} \cdot [m]_{ig} \right] \quad (IV.126a)$$

Gleichung (IV.126a) ist identisch mit Gl.(IV.117a), wobei  $s^{\alpha}$  durch die systeminterne Anrufrate je freie Quelle  $s^{\alpha}$  ersetzt ist, d.h. in abgehender Richtung unterscheiden sich beide Verkehre nur in der Anrufrate.

Mit Zwischenblockierung gilt (vgl. Gl.(IV.117b)):

$$sg^c_{Vges} = s^{\alpha} \left[ (i_1 - a)w(a) + \{(i_1 - Y_1) - (i_1 - a)w(a)\} \left[ 1 - \prod_{\nu=2}^{s-1} (1 - [m_{1\nu}]_{bg}) (1 - [m]_{ig}) \right] \right] \quad (IV.126b)$$

Gl.(IV.126b) gilt sowohl für den blockinternen als auch den nicht-blockinternen Verkehr, da in abgehender Richtung für beide Verkehrstypen die Zwischenblockierungen identisch sind (vgl. Abschnitt 5.5.7, Gl.(IV.69) und Gl.(IV.72)). Es gilt also:

$$[m_{1\nu}]_{bg} = [m_{1\nu}]_{bg} \quad (IV.127)$$

Die Zahl der insgesamt angebotenen systeminternen Rufe je Zeiteinheit in ankommender Richtung ist (ohne Zwischenblockierung):

$$sk^c_{Ages} = s^{\alpha} \{(i_1 - Y_1) - (i_1 - a)w(a)\} \cdot (1 - [m]_{ig}) \frac{i_1 - Y_1}{i_1} \quad (IV.128a)$$

mit:

$$s^{\alpha} \{(i_1 - Y_1) - (i_1 - a)w(a)\} :$$

Anzahl der Rufe je Zeiteinheit (systemintern), die nicht in abgehender Richtung durch Blockierung des Ursprungskoppelvielfachs verloren gehen.

$(1 - [m]_{ig})$  : Wsch., daß in abgehender Richtung für Internrufe keine Bündelblockierung existiert.

$\frac{i_1 - Y_1}{i_1}$  : Erwartungsgemäße Wsch., daß der gerufene Teilnehmer (im Mittel) frei ist (Ursprungskoppelvielfach  $\neq$  Zielkoppelvielfach, vgl. Abschnitt 5.6.6, Erklärung zu Verkehr (4)).

Mit Zwischenblockierung gilt (vgl. Gl.(IV.118b)):

$$sk^c_{Ages} = s^{\alpha} \{(i_1 - Y_1) - (i_1 - a)w(a)\} \frac{i_1 - Y_1}{i_1} \prod_{\nu=2}^{s-1} (1 - [m_{1\nu}]_{bg}) (1 - [m]_{ig}) \quad (IV.128b)$$

Auch bei der Berechnung von  $sk^c_{Ages}$  muß wegen Gl.(IV.127) nicht zwischen blockinternem und nicht-blockinternem Verkehr unterschieden werden. Damit muß aber auch bei der Berechnung der verschiedenen Verlustwahrscheinlichkeiten infolge von Blockierung des Ursprungs- bzw. Zielkoppelvielfachs nicht zwischen diesen beiden Verkehrstypen unterschieden werden.

Damit kann mit Gl.(IV.126) und (IV.128) die Anzahl der insgesamt angebotenen systeminternen Rufe  $s^c_A$  je Zeiteinheit nach Gl.(IV.125) berechnet werden.

Alle Rufe, die im Zustand {a} einfallen, gehen in abgehender Richtung infolge von Blockierung des Ursprungskoppelvielfachs verloren. Es wird (a nach Gl.(IV.91)):

$$sg^c_{V1} = s^{\alpha} (i_1 - a)w(a) \quad (IV.129)$$

Mit  $s^c_A$  nach Gl.(IV.125) und  $sg^c_{V1}$  nach Gl.(IV.129) kann  $sg^b_{1}$  nach Gl.(IV.124) berechnet werden.

Zur Berechnung der internen Verlustwahrscheinlichkeiten sind noch folgende relativen Anteile zu bestimmen:

- Der relative Anteil  $sg^c_{L1} / s^c_A$  der systeminternen Rufe, die in abgehender Richtung nicht infolge von Blockierung des Ursprungskoppelvielfachs verloren gehen;

Die Anzahl der systeminternen Rufe  $sg^c_{L1}$ , die nicht in abgehender Richtung infolge von Blockierung des Ursprungskoppelvielfachs

verloren gehen, ergibt sich zu (vgl. Gl.(IV.122)):

$$sg^{c_{L1}} = s^{\alpha} \left\{ (i_1 - Y_1) - (i_1 - a)w(a) \right\} \quad (IV.130)$$

Mit  $s^{c_A}$  nach Gl.(IV.125) und  $sg^{c_{L1}}$  nach Gl.(IV.130) kann  $sg^{c_{L1}}/s^{c_A}$  berechnet werden.

- Der relative Anteil  $sk^{c_{V1}}/s^{c_A}$  der systeminternen Rufe, die nicht in abgehender, aber in ankommender Richtung Verlust infolge von Blockierung des Zielkoppelvielfachs erleiden (keine Blockierung des Ursprungskoppelvielfachs):

Die Wahrscheinlichkeit, daß das Zielkoppelvielfach blockiert ist, ist  $w(a)$ . Die Wahrscheinlichkeit, daß der gerufene Teilnehmer im blockierten Zustand  $\{a\}$  frei ist, ist  $(i_1 - a)/i_1$ . Damit wird die Anzahl der Rufe je Zeiteinheit, die nicht in abgehender aber in ankommender Richtung Verlust infolge von Blockierung des Zielkoppelvielfachs erleiden:

$$sk^{c_{V1}} = sg^{c_{L1}} \cdot w(a) \cdot \frac{i_1 - a}{i_1}$$

Damit ergibt sich (mit  $s^{c_A}$  nach Gl.(IV.125)):

$$\frac{sk^{c_{V1}}}{s^{c_A}} = \frac{sg^{c_{L1}} \cdot w(a) \cdot \frac{i_1 - a}{i_1}}{s^{c_A}} \quad (IV.131)$$

- Der relative Anteil  $s^{c_{L1}}/s^{c_A}$  der systeminternen Rufe, die weder in abgehender noch in ankommender Richtung Verlust infolge von Blockierung des Ursprungs- bzw. Zielkoppelvielfachs erleiden.

Die Anzahl der Rufe je Zeiteinheit, die in abgehender Richtung nicht infolge von Blockierung des Ursprungskoppelvielfachs verloren gehen und bei denen der gerufene Teilnehmer im Zustand  $\{x\}$  des Zielkoppelvielfachs frei ist, ergibt sich zu:

$$sg^{c_{L1}} \cdot w(x) \cdot \frac{i_1 - x}{i_1}$$

Da nur im Zustand  $\{a\}$  des Zielkoppelvielfachs Verlust in ankommender Richtung infolge von Blockierung dieses Koppelvielfachs der Stufe 1 auftritt, ergibt sich die Anzahl der Rufe je Zeiteinheit, die weder in abgehender noch in ankommender Richtung durch Blockierung in der Stufe 1 verloren gehen, zu:

$$\sum_{x=0}^{a-1} sg^{c_{L1}} \cdot w(x) \cdot \frac{i_1 - x}{i_1} = sg^{c_{L1}} \left\{ \frac{i_1 - Y_1}{i_1} - \frac{i_1 - a}{i_1} w(a) \right\}$$

Damit wird (mit  $s^{c_A}$  nach Gl.(IV.125)):

$$\frac{sg^{c_{L1}}}{s^{c_A}} = \frac{sg^{c_{L1}} \left\{ \frac{i_1 - Y_1}{i_1} - \frac{i_1 - a}{i_1} w(a) \right\}}{s^{c_A}} \quad (IV.132)$$

### 5.6.8 Die Wahrscheinlichkeitsverteilung $p_{\nu}(x)$ auf dem Zwischenleitungs-bündel zwischen der Stufe $\nu$ und der Stufe $\nu+1$

Entsprechend zur Wahrscheinlichkeitsverteilung  $w(x)$  auf den  $k_1$  Zwischenleitungen zwischen der Stufe 1 und der Stufe 2 gilt für das Zwischenleitungs-bündel zwischen der Stufe  $\nu$  und der Stufe  $\nu+1$  (vgl. Gl. (IV.90)):

$$p_{\nu}(x+2) = e^{\alpha_{O\nu}} \frac{q - (x+1)}{x+2} p_{\nu}(x+1) + 2 \bar{b}^{\alpha_{O\nu}} \frac{q - (x+1)}{x+2} p_{\nu}(x+1) \frac{Y_1 \varepsilon_1}{q} + b^{\alpha_{O\nu}} \frac{q - x}{x+2} \cdot 2 \cdot p_{\nu}(x) \frac{q - (x+1)}{q} \quad (IV.133)$$

mit der Randbedingung:  $\sum_{x=0}^{n_{\nu}} p_{\nu}(x) = 1$

Hierbei ist (vgl. Abschnitt 5.5.6, Bild 15):

$n_{\nu} = \frac{\varepsilon_{\nu} k_{\nu}}{G}$  : die Zahl der Zwischenleitungen des betrachteten Zwischenleitungs-bündels (wo  $G$  die Zahl der "Linkblöcke" ist)

$q = \frac{i_1 \varepsilon_1}{G}$  : die Zahl der Quellen, die an dem "Linkblock" eines bestimmten Zwischenleitungs-bündels angeschlossen sind.

$Y_{n_{\nu}} = \frac{Y_1 \varepsilon_1}{G}$  : die Belastung eines Zwischenleitungs-bündels.

$e^{\alpha_{O\nu}}$  : die fiktive externe Anrufrate je freie Quelle.

$\bar{b}^{\alpha_{O\nu}}$  : die fiktive Anrufrate je freie Quelle des nicht-block-internen Verkehrs.

$b^{\alpha_{O\nu}}$  : die fiktive Anrufrate je freie Quelle des block-internen Verkehrs.

Die iterative Berechnung von  $p_v(x)$  wird entsprechend zu Abschnitt 5.5.4 durchgeführt, wobei für die Verkehre folgende Beziehungen gelten (vgl. Abschnitt 5.6.6):

Externverkehr (vgl. Gl.(IV.92)):

$$\text{Fiktives Angebot: } e_{Ov}^A = e_{Ov}^{\alpha} \left( q - \frac{Y_1 g_1}{G} \right) = e_{Ov}^{\alpha} \frac{g_1}{G} (i_1 - Y_1) \quad (\text{IV.134})$$

$$\text{Verlust: } e_{v}^b = \frac{q - n_v}{q - Y_{n_v}} p_v(n_v) = \frac{i_1 g_1 - g_v k_v}{(i_1 - Y_1) g_1} p_v(n_v) \quad (\text{IV.135})$$

$$\text{Belastung: } e_{v}^Y = e_{g}^Y + e_{k}^Y = \frac{1}{G} (Y_{eg} + Y_{ek}) = e_{Ov}^A (1 - e_{v}^b) \quad (\text{IV.136})$$

Nicht-blockinterner Verkehr (vgl. Abschnitt 5.6.6, systeminterner Verkehr):

$$\text{Es gilt: } \bar{b}_{Ov}^A = \bar{b}_{Ov}^{\alpha} \sum_{x=0}^{n_v} (q-x) p_v(x) \frac{i_1 - Y_1}{i_1}$$

Es werden nur die Rufe als wirksame Angebotsrufe gezählt, die auf einen freien Teilnehmer treffen. Die Wahrscheinlichkeit hierfür ist  $(i_1 - Y_1)/i_1$  (Mittelwertbetrachtung!).

Damit wird (vgl. Gl.(IV.93)):

$$\bar{b}_{Ov}^A = \bar{b}_{Ov}^{\alpha} (q - Y_{n_v}) \frac{i_1 - Y_1}{i_1} = \bar{b}_{Ov}^{\alpha} \frac{g_1}{G} (i_1 - Y_1) \frac{i_1 - Y_1}{i_1} \quad (\text{IV.137})$$

Für den nicht-blockinternen Verlust gilt (vollkommen erreichbares Bündel; vgl. Gl.(IV.94)):

$$\bar{b}_{v}^b = \frac{\bar{b}_{Ov}^{\alpha} (q - n_v) p_v(n_v) \frac{i_1 - Y_1}{i_1}}{\bar{b}_{Ov}^{\alpha} (q - Y_{n_v}) \frac{i_1 - Y_1}{i_1}} = \frac{i_1 g_1 - g_v k_v}{(i_1 - Y_1) g_1} p_v(n_v) \quad (\text{IV.138})$$

Die nicht-blockinterne Belastung zwischen der Stufe  $v$  und der Stufe  $v+1$  wird (vgl. Gl.(IV.95)):

$$\bar{b}_{v}^Y = \left( 1 - \frac{1}{G} \right) \cdot \frac{Y_1}{G} = 2 \cdot \bar{b}_{Ov}^A \cdot (1 - \bar{b}_{v}^b) \quad (\text{IV.139})$$

Blockinterner Verkehr (vgl. Abschnitt 5.6.6, kv-interner Verkehr):

Für das fiktive Angebot des blockinternen Verkehrs gilt (vgl. Gl.(IV.96)):

$$b_{Ov}^A = b_{Ov}^{\alpha} \sum_{x=0}^{n_v} (q-x) p_v(x) \frac{q-(x+1)}{q} \quad (\text{IV.140})$$

Der Verlust des blockinternen Verkehrs ist (vollkommen erreichbares Bündel; vgl. Gl.(IV.97)):

- in abgehender Richtung (vgl. Gl.(IV.97)):

$$b_{g}^b = \frac{(q - n_v) p_v(n_v) \frac{q - (n_v + 1)}{q}}{\sum_{x=0}^{n_v} (q-x) p_v(x) \frac{q - (x+1)}{q}} \quad (\text{IV.141})$$

- in ankommender Richtung (vgl. Gl.(IV.98)):

$$b_{k}^b = \frac{(q - (n_v - 1)) p_v(n_v - 1) \frac{q - n_v}{q}}{\sum_{x=0}^{n_v} (q-x) p_v(x) \frac{q - (x+1)}{q}} \quad (\text{IV.142})$$

- insgesamt:

$$b_{v}^b = b_{g}^b + b_{k}^b \quad (\text{IV.143})$$

Damit ergibt sich die Belastung des blockinternen Verkehrs (vgl. Gl.(IV.100)):

$$b_{v}^Y = \frac{Y_1}{G \cdot G} = 2 \cdot b_{Ov}^A \cdot (1 - b_{v}^b) \quad (\text{IV.144})$$

Damit können die Zustandswahrscheinlichkeiten  $p_v(x)$  ausgehend von der Rekursionsformel (IV.133) iterativ berechnet werden (Anfangswerte für die Iteration entsprechend zu Gl.(IV.101)).

5.6.9 Die Zwischenblockierungen

Mit den Zustandswahrscheinlichkeiten  $p_y(x)$  nach Abschnitt 5.6.8 werden die Zwischenblockierungen nach Abschnitt 5.5.7 berechnet (bei gegebenem  $p_y(x)$  ist die Berechnung der Zwischenblockierung bei ZV 2 und ZV 1 identisch).

$$\begin{aligned}
 [m_{1y}]_{eg} &= [m_{1y}]_{ek} && \text{nach Gl.(IV.68), Seite 77,} \\
 [m_{1y}]_{bg} &&& \text{nach Gl.(IV.69), Seite 77,} \\
 [m_{1y}]_{bk} &&& \text{nach Gl.(IV.70), Seite 78,} \\
 [m_{1y}]_b &&& \text{nach Gl.(IV.71), Seite 78 und} \\
 [m_{1y}]_{bg} &= [m_{1y}]_{bk} && \text{nach Gl.(IV.72), Seite 78.}
 \end{aligned}$$

5.7 Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die mit dem vorgestellten Näherungsverfahren ermittelten Ergebnisse Simulationsergebnissen gegenübergestellt (Diagramm 1 bis 5).

In den Diagrammen sind die Ergebnisse des Näherungsverfahrens mit einer durchgezogenen Linie gekennzeichnet. Die Simulationsergebnisse sind mit ihrem Vertrauensintervall und einer statistischen Ausagesicherheit von 95% durch  $\bar{I}$  dargestellt.

Die Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit des abgehenden bzw. ankommenden Externverkehrs hat ergeben, daß beide Verlustwahrscheinlichkeiten - unter den Voraussetzungen, die dem Näherungsverfahren zugrunde liegen, d.h. "Punkt-Bündel-Wahl" vom Ursprungs- bzw. Zielkoppelvielfach zum Leitungsbündel hinter der Stufe s des Linksystems - identisch sind. Diese Identität ergibt sich natürlich auch für die Simulation, da auch dort für den ankommenden Externverkehr "Punkt-Bündel-Wahl" vom Zielkoppelvielfach zum Leitungsbündel hinter der Stufe s des Linksystems zugrunde liegt, d.h. es ist  $b_{eg} = b_{ek}$ . (Im Anhang wird diese Identität nochmals ausführlich gezeigt.)

In den Diagrammen 1 bis 5 werden für die Betriebsart 1 Ergebnisse für 2- und 4-stufige Linksysteme und Zufallsverkehr 1. Art bzw. 2. Art gezeigt.

Es zeigt sich eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse des Näherungsverfahrens mit den Simulationsergebnissen.

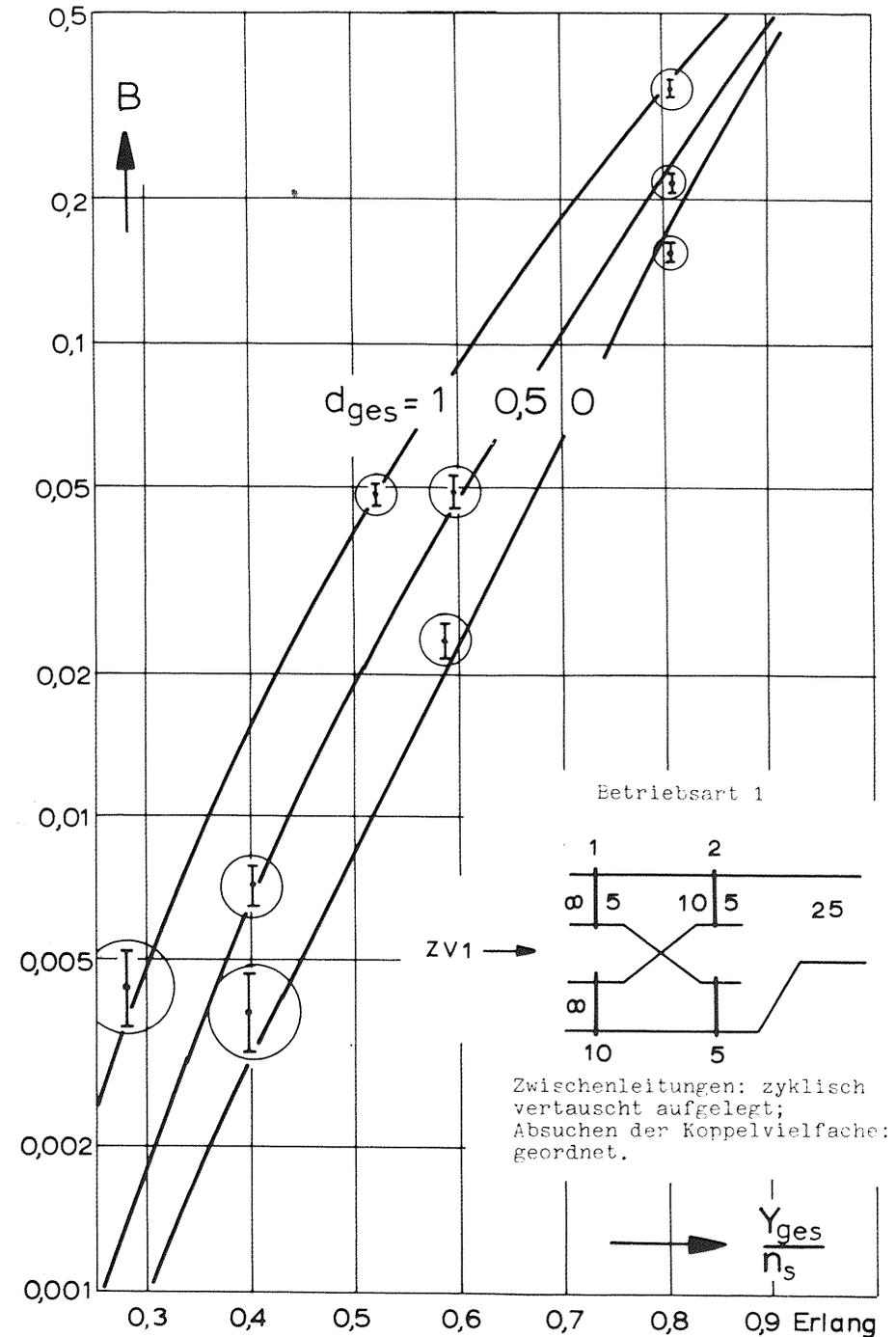


Diagramm 1:  $B = f(Y_{ges}/n_s, d_{ges})$  für Zufallsverkehr 1. Art (für einen Internverkehrsanteil  $d_{ges} = 0; 0,5; 1$ ).

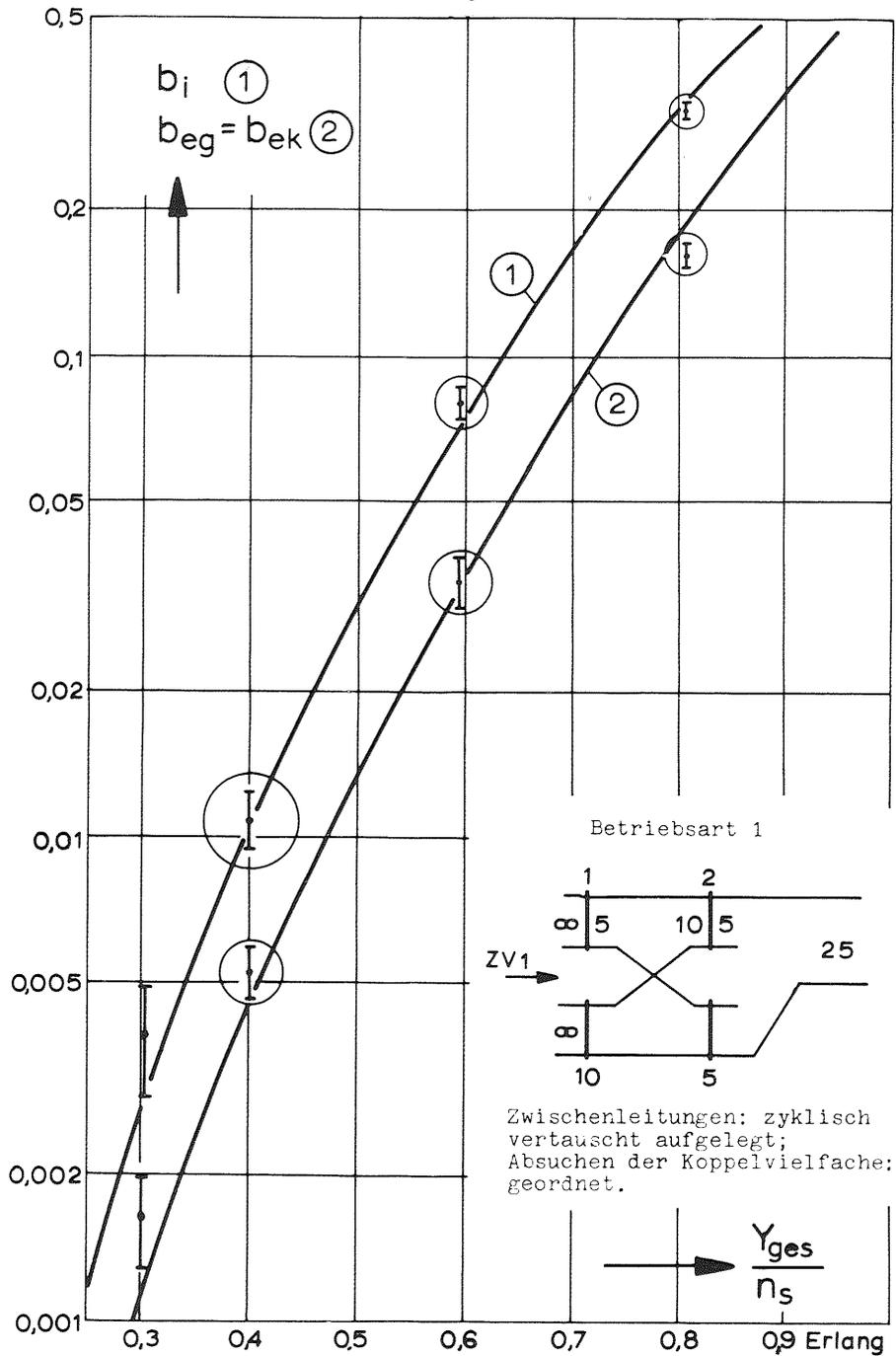


Diagramm 2: Kurve (1):  $b_i = f(Y_{ges}/n_s, d_{ges} = 0,5)$   
 Kurve (2):  $b_{eg} = b_{ek} = f(Y_{ges}/n_s, d_{ges} = 0,5)$  } für ZV 1

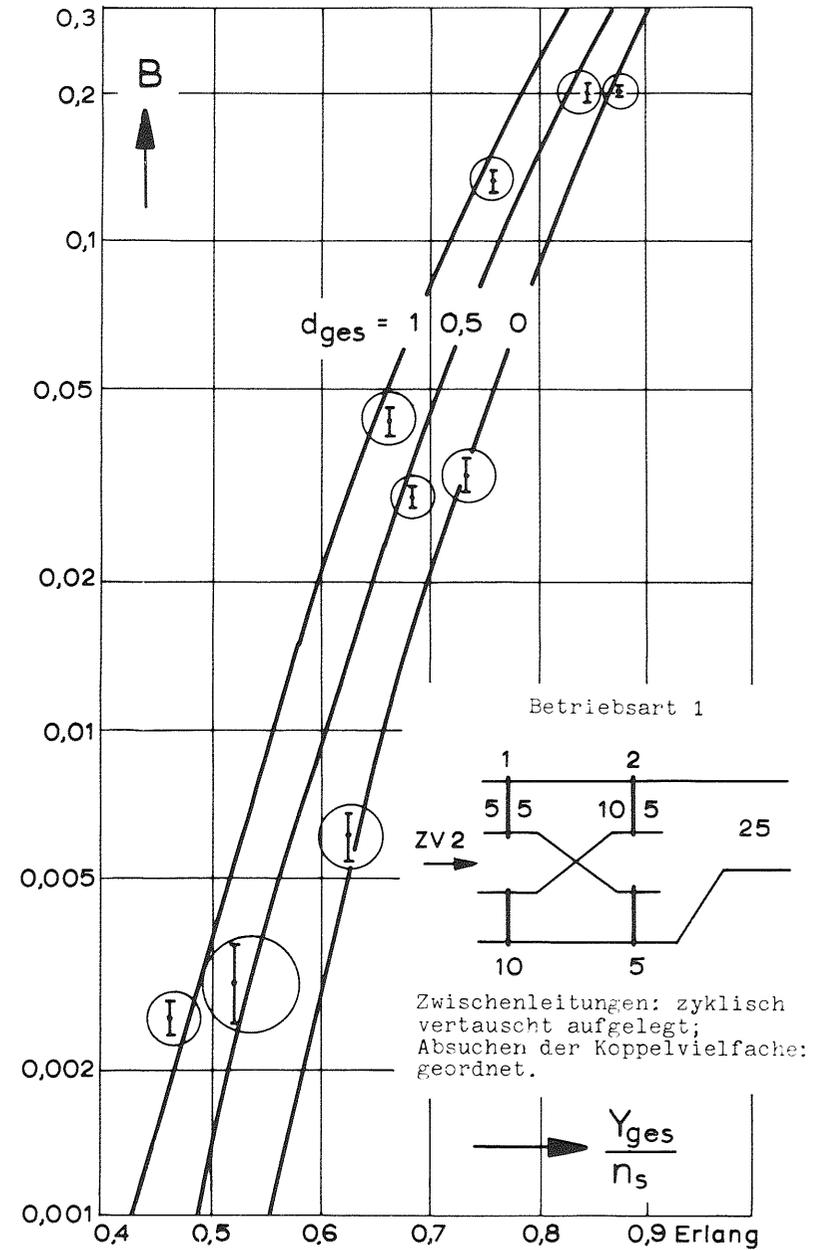


Diagramm 3:  $B = f(Y_{ges}/n_s, d_{ges})$  für ZV 2 und Wegesuchalgorithmus 1,  
 (für einen Internverkehrsanteil  $d_{ges} = 0; 0,5; 1$ ).

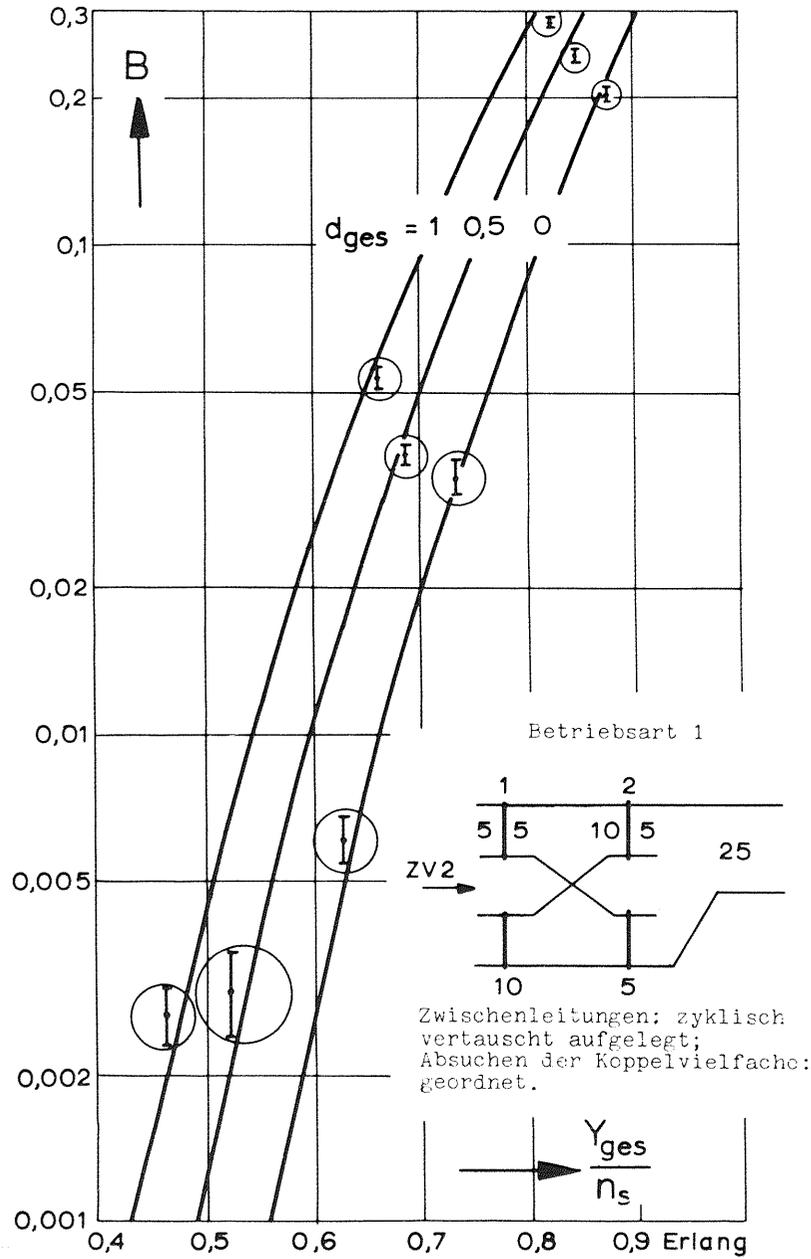


Diagramm 4:  $B = f(Y_{ges}/n_s, d_{ges})$  für ZV 2 und Wegesuchalgorithmus 2, (für einen Internverkehrsanteil  $d_{ges} = 0; 0,5; 1$ ).

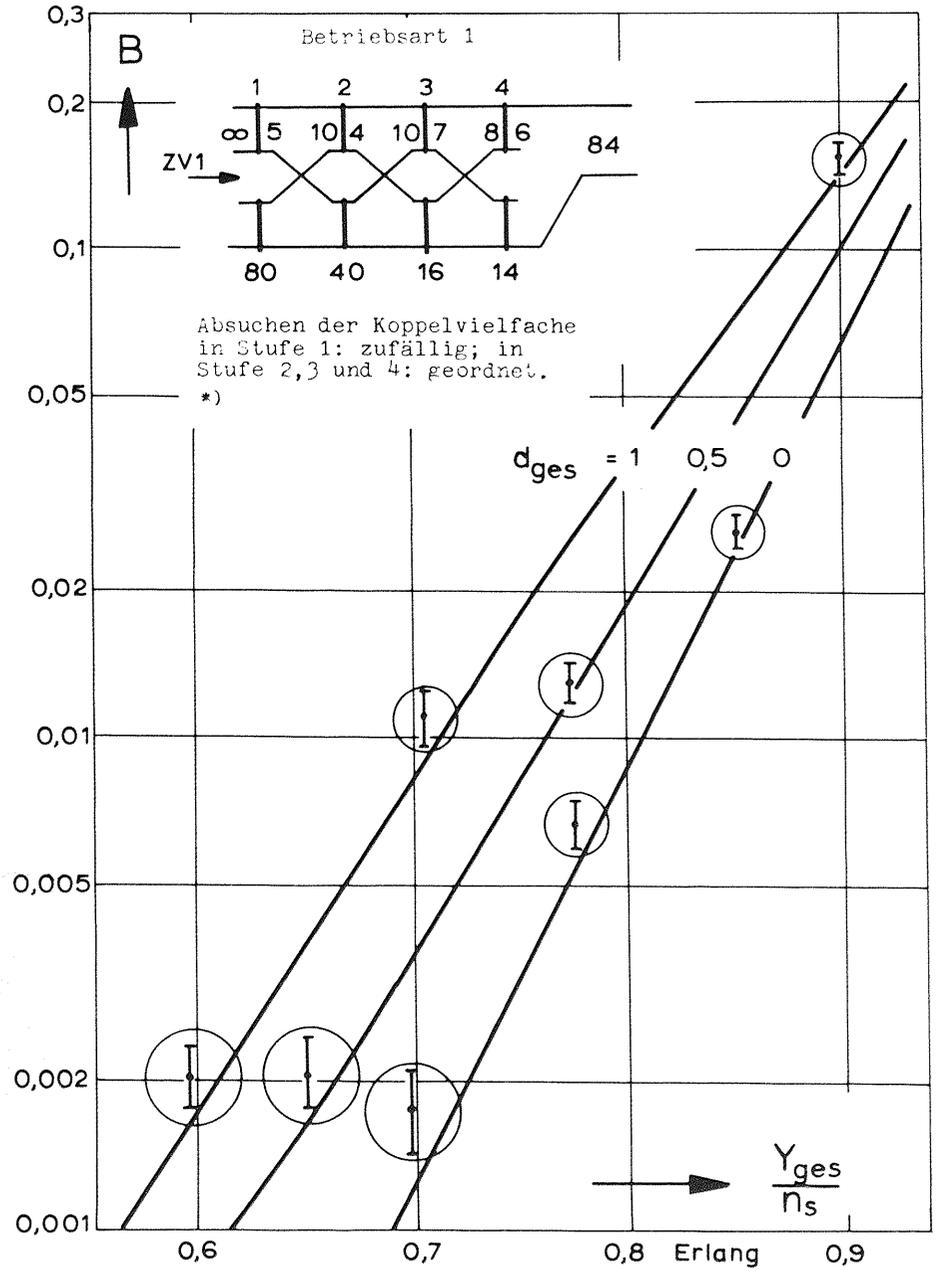


Diagramm 5:  $B = f(Y_{ges}/n_s, d_{ges})$  für ZV 1 ( $d_{ges} = 0; 0,5; 1$ )

\*) Zwischenleitungen: Von Stufe 1 nach 2 geordnet aufgelegt, von Stufe 2 nach 3 zyklisch vertauscht aufgelegt und von Stufe 3 nach 4 zyklisch vertauscht aufgelegt.



6.4 Die gesuchten charakteristischen Verkehrsgrößen

Es gelten die Gleichungen von Betriebsart 1 nach Abschnitt 5.4, wobei die Bündelblockierungen  $[m]_{ig}$ ,  $[m]_{ik}$ ,  $[m]_{eg}$  und  $[m]_{ek}$  entsprechend dem Leitungsbündel, auf dem der jeweilige Verkehr geführt wird, berechnet werden. D.h.  $[m]_{ig}$  und  $[m]_{ik}$  bei Betriebsart 1 werden ersetzt durch  $[m_1]_{ig}$  und  $[m_2]_{ik}$  bei Betriebsart 2. Der Index der mittleren Prüfbarkeit gibt das Leitungsbündel an, auf das sich die Berechnung der mittleren Prüfbarkeit bezieht (vgl. Kapitel III.2.2.2).

Entsprechend wird  $[m]_{eg}$  ersetzt durch  $[m_1]_{eg}$  (der abgehende Externverkehr wird auf dem Leitungsbündel 1 geführt) und  $[m]_{ek}$  wird ersetzt durch  $[m_2]_{ek}$  (der ankommende Externverkehr wird auf dem Leitungsbündel 2 geführt).

Damit können die charakteristischen Größen analog wie bei Betriebsart 1 berechnet werden (vgl. Abschnitt 5.4).

Die Berechnung der externen Verlustwahrscheinlichkeiten erfolgt nach Abschnitt 5.4 (Betriebsart 1) Gl.(IV.11) und Gl.(IV.12), wobei  $[m]_{eg}$  durch  $[m_1]_{eg}$  und  $[m]_{ek}$  durch  $[m_2]_{ek}$  ersetzt wird.

Die kv-interne Verlustwahrscheinlichkeit  $b_k$

Für  $b_{kg}$  (in abgehender Richtung) gilt Gl.(IV.13) von Betriebsart 1, wobei  $[m]_{ig}$  durch  $[m_1]_{ig}$  ersetzt wird. Diese Beziehung wird hier noch einmal angegeben, jedoch wird hier der Einfachheit halber nicht zwischen den beiden Fällen "ohne Zwischenblockierung" bzw. "mit Zwischenblockierung" unterschieden, sondern es wird direkt die allgemeinere Beziehung mit Zwischenblockierung angegeben:

$$b_{kg} = k_g b_1 + \frac{k_g^c L_1}{k^c A} \cdot \left[ 1 - \prod_{\nu=2}^{s-1} (1 - [m_{1\nu}]_{bg}) (1 - [m_1]_{ig}) \right] \quad (IV.146)$$

Für die ankommende Verkehrsrichtung werden der Übersichtlichkeit halber die Verlustformeln für die Fälle ohne bzw. mit Zwischenblockierung getrennt angegeben (vgl. Gl.(IV.14)):

- ohne Zwischenblockierung:

$$b_{kk} = k_k b_1 (1 - [m_1]_{ig}) + \frac{k^c L_1}{k^c A} \cdot (1 - [m_1]_{ig}) \cdot [m_2]_{ik} \quad (IV.147a)$$

- mit Zwischenblockierung:

$$b_{kk} = k_k b_1 \prod_{\nu=2}^{s-1} (1 - [m_{1\nu}]_{bg}) (1 - [m_1]_{ig}) + \frac{k^c L_1}{k^c A} \cdot \sum_{\nu=2}^{s-1} [m_{1\nu}]_{bk} \prod_{j=2}^{\nu-1} (1 - [m_{1j}]_b) \prod_{k=\nu+1}^{s-1} (1 - [m_{1k}]_{bg}) (1 - [m_1]_{ig}) + \frac{k^c L_1}{k^c A} \cdot \prod_{\nu=2}^{s-1} (1 - [m_{1\nu}]_b) (1 - [m_1]_{ig}) [m_2]_{ik} \quad (IV.147b)$$

Im Unterschied zu Gl.(IV.14) (in Abschnitt 5.4) wird hier in Gl.(IV.147)  $[m]_{ik}$  ersetzt durch  $[m_2]_{ik} (1 - [m_1]_{ig})$ .

Die Bündelblockierung  $[m]_{ik}$  in ankommender Richtung in Gl.(IV.14) wird für den Fall berechnet, daß abgehender und ankommender Teil des Internverkehrs auf demselben Leitungsbündel geführt wird (Betriebsart 1). Hierbei ist in der Berechnung von  $[m]_{ik}$  implizit enthalten, daß in abgehender Richtung keine Bündelblockierung auftritt (vgl. Gl.(IV.47)). Da bei Betriebsart 2 die Bündelblockierung  $[m_2]_{ik}$  in ankommender Richtung unabhängig von der Bündelblockierung  $[m_1]_{ig}$  in abgehender Richtung ist (beide Blockierungen beziehen sich auf zwei verschiedene Leitungsbündel), ergibt sich in Gl.(IV.147) die Wahrscheinlichkeit, daß sowohl in abgehender Richtung keine Bündelblockierung als auch in ankommender Richtung Bündelblockierung auftritt zu  $(1 - [m_1]_{ig}) [m_2]_{ik}$ .

Die gesamte kv-interne Verlustwahrscheinlichkeit  $b_k$  ergibt sich nach Gl.(IV.15) zu:

$$b_k = b_{kg} + b_{kk}$$

Die systeminternen Verlustwahrscheinlichkeiten  $b_{sg}$  und  $b_{sk}$

Die systeminternen Verlustwahrscheinlichkeiten in abgehender Richtung berechnen sich entsprechend zu Gl.(IV.16), wobei  $[m]_{ig}$  durch  $[m_1]_{ig}$  ersetzt wird (die Beziehungen werden nur für den allgemeineren Fall "mit Zwischenblockierung" angegeben):

- System- und blockintern:

$$b_{sg}^{(b)} = s_g b_1 + \frac{s_g^c L_1}{s^c A} \cdot \left[ 1 - \prod_{\nu=2}^{s-1} (1 - [m_{1\nu}]_{bg}) (1 - [m_1]_{ig}) \right] \quad (IV.148a)$$

- Systemintern aber nicht blockintern:

$$b_{sg}^{(\bar{b})} = s_g b_1 + \frac{s_g^c L1}{s^c A} \cdot \left[ 1 - \prod_{\nu=2}^{s-1} (1 - [m_{1\nu}]_{bg}) (1 - [m_1]_{ig}) \right] \quad (IV.148b)$$

Die systeminterne Verlustwahrscheinlichkeit in ankommender Richtung berechnet sich ohne Zwischenblockierung entsprechend zu Gl.(IV.17a), wobei wieder  $[m]_{ik}$  durch  $(1 - [m_1]_{ig}) [m_2]_{ik}$  ersetzt wird (wie in Gl.(IV.147b)). Damit ergibt sich:

$$b_{sk} = \frac{s_k^c V1}{s^c A} \cdot (1 - [m_1]_{ig}) + \frac{s^c L1}{s^c A} \cdot (1 - [m_1]_{ig}) \cdot [m_2]_{ik} \quad (IV.149a)$$

(Gl.(IV.149a) gilt sowohl für den blockinternen als auch den nicht-blockinternen Verkehr.)

Mit Zwischenblockierung muß wieder zwischen blockinternem und nicht-blockinternem Verlustanteil unterschieden werden, es gilt:

- blockintern:

$$b_{sk}^{(b)} = \frac{s_k^c V1}{s^c A} \cdot \prod_{\nu=2}^{s-1} (1 - [m_{1\nu}]_{bg}) (1 - [m_1]_{ig}) + \frac{s^c L1}{s^c A} \cdot \sum_{\nu=2}^{s-1} [m_{1\nu}]_{bk} \prod_{j=2}^{\nu-1} (1 - [m_{1j}]_b) \prod_{k=\nu+1}^{s-1} (1 - [m_{1k}]_{bg}) (1 - [m_1]_{ig}) + \frac{s^c L1}{s^c A} \cdot \prod_{\nu=2}^{s-1} (1 - [m_{1\nu}]_b) (1 - [m_1]_{ig}) [m_2]_{ik} \quad (IV.149b)$$

- nicht-blockintern:

$b_{sk}^{(\bar{b})}$  entsprechend zu Gl.(IV.149b), wobei  $[m_{1\nu}]_{bg}$ ,  $[m_{1\nu}]_{bk}$  und  $[m_{1\nu}]_b$  ersetzt wird durch  $[m_{1\nu}]_{\bar{bg}}$ ,  $[m_{1\nu}]_{\bar{bk}}$  und  $[m_{1\nu}]_{\bar{b}}$ .

Alle weiteren charakteristischen Größen werden entsprechend zu Abschnitt 5.4 (Betriebsart 1) berechnet.

## 6.5 Zufallsverkehr 1. Art

### 6.5.1 Allgemeines

Der Unterschied zwischen Betriebsart 1 und Betriebsart 2 wirkt sich im Rechenverfahren auf die Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverteilungen  $p_j(x)$  und auf die Berechnung der Bündelblockierungen aus. In Abschnitt 6.5.2 werden die Wahrscheinlichkeitsverteilungen  $p_j(x)$  und in Abschnitt 6.5.3 werden die Bündelblockierungen für Betriebsart 2 berechnet.

Die Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverteilung  $w(x)$  auf den  $k_1$  Zwischenleitungen und die Verlustwahrscheinlichkeiten infolge von Blockierung des Ursprungs- bzw. Zielkoppelvielfachs erfolgt nach Abschnitt 5.5.4 und 5.5.5.

Ebenso erfolgt die Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverteilung  $p_\nu(x)$  und der Zwischenblockierungen nach Abschnitt 5.5.6 und 5.5.7 (Betriebsart 1).

### 6.5.2 Die Wahrscheinlichkeitsverteilungen $p_j(x)$ auf den Leitungsbündeln 1 und 2 hinter der Stufe $s$ des Linksystems

Bei der Betriebsart 2 belegt eine Internverbindung auf jedem der beiden Leitungsbündel hinter der Stufe  $s$  jeweils nur eine Leitung, d.h. der Internverkehr verhält sich bezogen auf ein einzelnes Leitungsbündel wie der Externverkehr.

Damit ergibt sich für das Leitungsbündel  $j$  ( $j=1,2$ ):

$$p_j(x+2) = \frac{e^A_{osj}}{x+2} p_j(x+1) + \frac{i^A_{osj}}{x+2} p_j(x+1)$$

hierbei ist für  $j = 1$ :  $e^A_{os1} = e^A_{os}$

und für  $j = 2$ :  $e^A_{os2} = e^A_{os}$ .

Mit  $A_{osj} = e^A_{osj} + i^A_{osj}$  ergibt sich:

$$p_j(x+2) = \frac{A_{osj}}{x+2} p_j(x+1) \quad (IV.150)$$

mit der Randbedingung:  $\sum_{x=0}^{n_{sj}} p_j(x) = 1$

Für die Belastung  $Y_{sj}$  des Leitungsbündels  $j$  gilt:

$$Y_{sj} = A_{osj} (1 - p_j(n_{sj})) \quad (IV.151)$$

$Y_{sj}$  ergibt sich für  $j = 1$  bzw.  $j = 2$  nach Gl.(IV.145).

Der Anfangswert für das fiktive Angebot wird:

$$A_{osjo} = Y_{sj} \quad (IV.152)$$

Mit den Beziehungen nach Gl.(IV.150) bis (IV.152) werden iterativ die Zustandswahrscheinlichkeiten  $p_j(x)$  ( $j=1,2$ ) berechnet (vgl. Abschnitt 5.5.2).

### 6.5.3 Die Bündelblockierungen

#### 6.5.3.1 Extern abgehend

Für den abgehenden Externverkehr gilt (vgl. Gl.(IV.44)):

$$[m_1]_{eg} = \sum_{x=0}^{n_{s1}} p_1(x) \cdot G_1(x) \quad (IV.153)$$

#### 6.5.3.2 Extern ankommend

Der ankommende Externverkehr wird auf dem Leitungsbündel 2 geführt, damit gilt (vgl. Gl.(IV.45)):

$$[m_2]_{ek} = \sum_{x=0}^{n_{s2}} p_2(x) \cdot G_2(x) \quad (IV.154)$$

#### 6.5.3.3 Intern

Für den abgehenden Teil des Internverkehrs gilt (vgl. Gl.(IV.46)):

$$[m_1]_{ig} = \sum_{x=0}^{n_{s1}} p_1(x) \cdot G_1(x) \quad (IV.155)$$

Der ankommende Teil des Internverkehrs wird auf dem Leitungsbündel 2 geführt, d.h. bei der Berechnung der Bündelblockierung des Internverkehrs in ankommender Richtung muß von der mittleren Prüfbarkeit  $m_2$  des Leitungsbündels 2 ausgegangen werden.

Die Berechnung der Bündelblockierung des ankommender Internverkehrs erfolgt unter der Näherungsannahme, daß die Bündelblockierungen des Internverkehrs in abgehender und in ankommender Richtung voneinander unabhängig sind. Damit wird:

$$[m_2]_{ik} = \sum_{x=0}^{n_{s2}} p_2(x) \cdot G_2(x) \quad (IV.156)$$

Die hier betrachteten Linksysteme mit Betriebsart 2 und mit den in Abschnitt 3.1 gemachten Voraussetzungen werden in der Praxis niemals mit reinem Internverkehr sondern immer mit gemischtem Intern- und Externverkehr betrieben. Aus diesem Grund ist die in Gl.(IV.156) implizierte Unabhängigkeit der Wahrscheinlichkeitsverteilungen  $p_1(x)$  und  $p_2(x)$  gerechtfertigt.

## 6.6 Zufallsverkehr 2. Art

### 6.6.1 Allgemeines

Bei Zufallsverkehr 2. Art wirkt sich der Unterschied zwischen Betriebsart 1 und 2 ebenfalls auf die Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverteilung  $p_j(x)$  (siehe Abschnitt 6.6.2) aus. Die Berechnung der Bündelblockierungen erfolgt gemäß Abschnitt 6.5.3.

Die Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverteilung  $w(x)$  auf den  $k_1$  Zwischenleitungen und die Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeiten infolge von Blockierung des Ursprungs- bzw. Zielkoppelvielfachs erfolgt nach Abschnitt 5.6.6 und 5.6.7.

Die Berechnung von  $p_j(x)$  und die Berechnung der Zwischenblockierungen erfolgt für ZV 2 nach Abschnitt 5.6.8 und 5.6.9.

6.6.2 Die Wahrscheinlichkeitsverteilungen  $p_j(x)$  auf den Leitungsbündeln 1 und 2

Zur Bestimmung der Zustandswahrscheinlichkeiten  $p_j(x)$  muß zunächst die Quellenzahl für das Leitungsbündel  $j$  berechnet werden.

Als  $Q_j$  wird die mittlere Anzahl freier Quellen bezeichnet, welche Anrufe für das Leitungsbündel  $j$  erzeugen. Allgemein gilt:

$$Q_j = Q - \sum_{\substack{v=1 \\ v \neq j}}^R Y_{sv} \quad (IV.157)$$

hierbei ist:

$Q = g_1 \cdot i_1$ : die Gesamtzahl aller Quellen des betrachteten Links-systems.

$R$  : Die Anzahl der Leitungsbündel (hier bei Betriebsart 2 ist  $R = 2$ ).

$Y_{sv}$  : die Belastung des Leitungsbündels  $v$ .

Bei der Betriebsart 2 ist die Anzahl der Leitungsbündel  $R = 2$ .

Damit wird:

$$Q_1 = Q - Y_{s2}$$

$$\text{und } Q_2 = Q - Y_{s1}$$

mit  $Y_{s1}$  und  $Y_{s2}$  nach Gl.(IV.145).

Damit ergibt sich die Rekursionsformel zur Berechnung von  $p_j(x)$ :

$$p_j(x+2) = i_{osj}^{\alpha} \frac{Q_j - (x+1)}{x+2} p_j(x+1) \frac{Q_j - (x+2)}{Q} + e_{osj}^{\alpha} \frac{Q_j - (x+1)}{x+2} p_j(x+1) \quad (IV.158)$$

hierbei ist:

$\frac{Q_j - (x+2)}{Q}$ : Wsch., daß der gerufene Teilnehmer (einer von  $Q$ ) bei Einfall eines Internrufes im Zustand  $\{x+1\}$  frei ist.

Für die externe Anrufrate gilt:

$$j = 1 : e_{os1}^{\alpha} = e_{g_{os}}^{\alpha}$$

$$j = 2 : e_{os2}^{\alpha} = e_{k_{os}}^{\alpha} = e_{k_{os}}^A / Q \quad (\text{vgl. Abschnitt 5.6.4}).$$

Die externe Belastung des Leitungsbündels  $j$  ergibt sich zu:

$$e_{ysj}^Y = e_{osj}^{\alpha} (Q - Y_{ges})(1 - e_{bsj}^b) \quad (IV.159)$$

Hierbei gilt für die externe Verlustwahrscheinlichkeit  $e_{bsj}^b$  des vollkommen erreichbaren Leitungsbündels  $j$  (die Verlustwahrscheinlichkeit für den abgehenden Externverkehr ist gleich der Verlustwahrscheinlichkeit des ankommenden Externverkehrs):

$$e_{bsj}^b = \frac{Q_j - n_{sj}}{Q_j - e_{ysj}^Y} p_j(n_{sj}) \quad (IV.160)$$

$$\text{mit } e_{ys1}^Y = Y_{eg} \quad \text{und} \quad e_{ys2}^Y = Y_{ek}.$$

Für die Belastung des Internverkehrs gilt:

$$\left. \begin{aligned} i_{ysj}^Y &= \frac{Y_i}{2} = i_{osj}^A (1 - i_{bsj}^b) \\ \text{mit } i_{osj}^A &= i_{osj}^{\alpha} \sum_{x=0}^{n_{sj}} (Q_j - x) p_j(x) \frac{Q_j - (x+1)}{Q} \end{aligned} \right\} \quad (IV.161)$$

Die interne Verlustwahrscheinlichkeit  $i_{bsj}^b$  des vollkommen erreichbaren Leitungsbündels  $j$  ist (jeder Internruf belegt wie ein Externruf je Leitungsbündel nur eine Leitung):

$$i_{bsj}^b = \frac{(Q_j - n_{sj}) p_j(n_{sj}) (Q_j - (n_{sj} + 1))}{\sum_{x=0}^{n_{sj}} (Q_j - x) p_j(x) (Q_j - (x+1))} \quad (IV.162)$$

Damit kann mit Gl.(IV.158) bis (IV.162)  $p_j(x)$  für  $j = 1, 2$  iterativ berechnet werden.

Mit diesen  $p_j(x)$  werden die Bündelblockierungen nach Abschnitt 6.5.3 berechnet.

6.7 Ergebnisse

In Diagramm 6 bis 12 werden für Betriebsart 2 die mit dem Näherungsverfahren ermittelten Ergebnisse Simulationsergebnissen gegenübergestellt.

Die Ergebnisse des Näherungsverfahrens sind mit einer durchgezogenen Linie gezeichnet. Die Simulationsergebnisse sind mit ihrem Vertrauensintervall und einer statistischen Aussagesicherheit von 95% durch  $\bar{I}$  dargestellt.

Es werden Ergebnisse für 2-, 3- und 4-stufige Linkssysteme und Zufallsverkehr 1. Art bzw. 2. Art gezeigt.

Die Ergebnisse des Näherungsverfahrens stimmen sehr gut mit den Simulationsergebnisse überein.

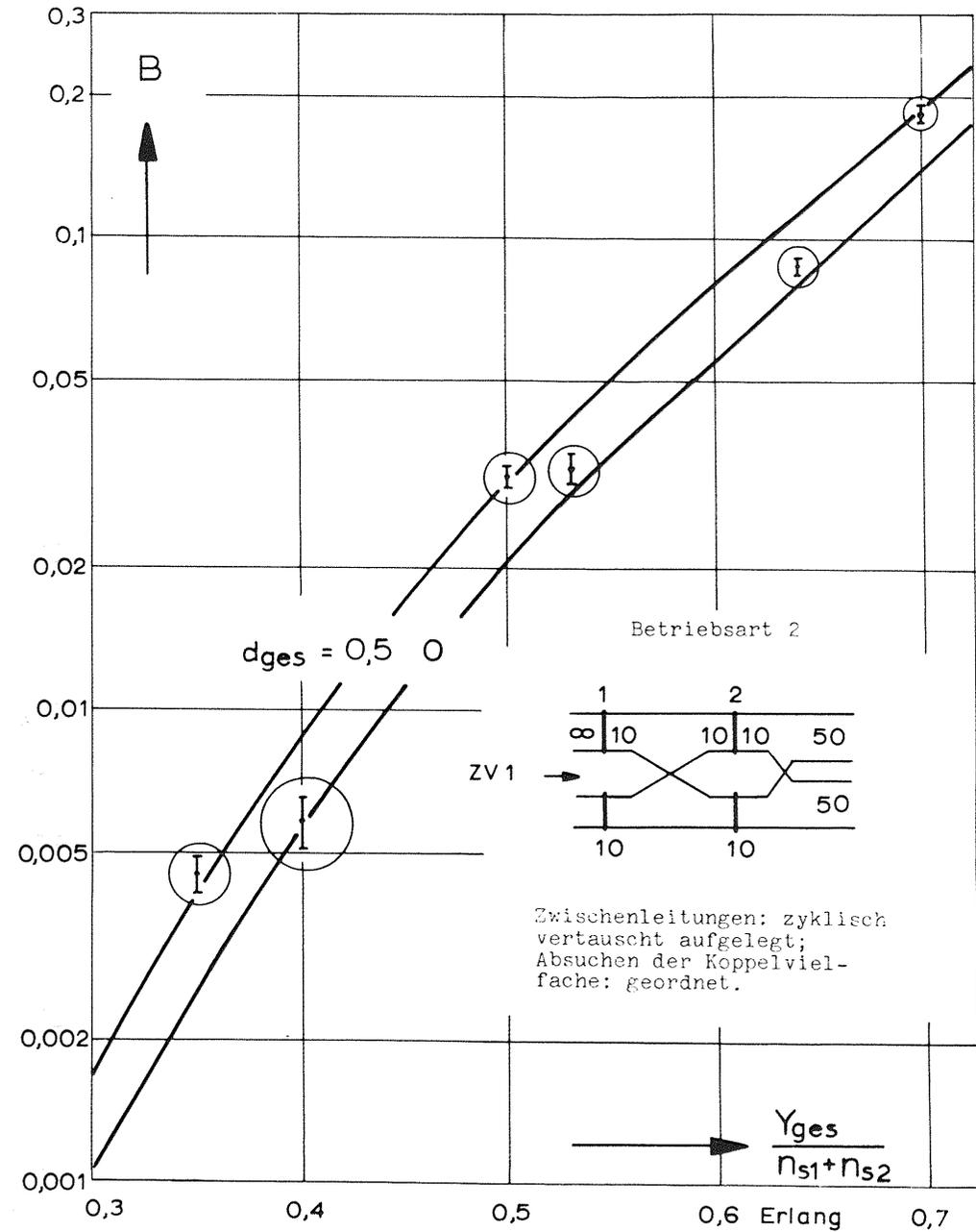


Diagramm 6:  $B = f\left(\frac{Y_{ges}}{n_{s1} + n_{s2}}, d_{ges}\right)$  für ZV 1 ( $d_{ges} = 0; 0,5$ )  
 $\left(\frac{Y_{s1}}{n_{s1}} = \frac{Y_{s2}}{n_{s2}} = \frac{Y_{ges}}{n_{s1} + n_{s2}}\right)$ .

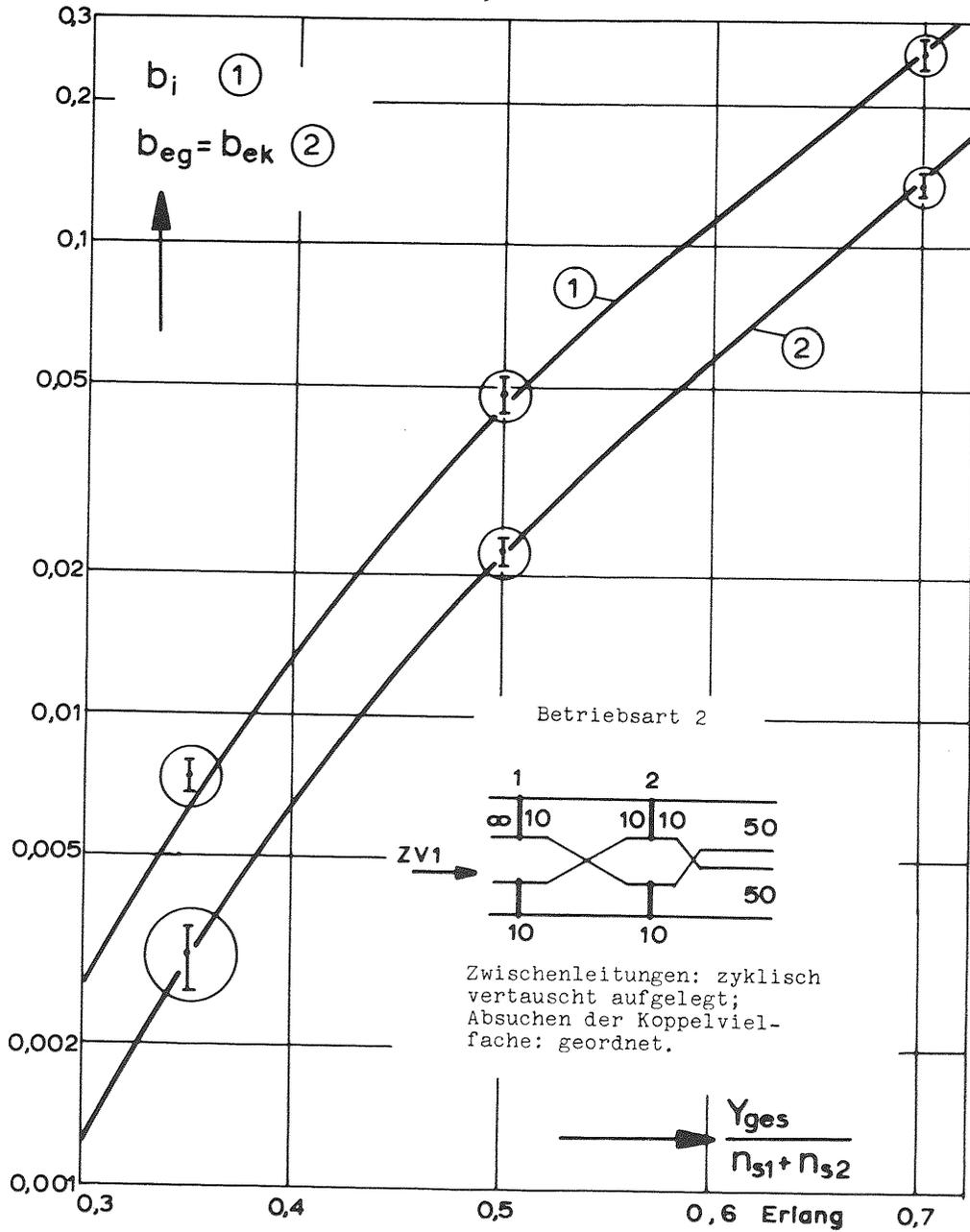


Diagramm 7: (1):  $b_i = f(Y_{ges}/(n_{s1} + n_{s2}), d_{ges} = 0,5)$   
 (2):  $b_{eg} = b_{ek} = f(Y_{ges}/(n_{s1} + n_{s2}), d_{ges} = 0,5)$  } für ZV 1  
 ( $Y_{s1}/n_{s1} = Y_{s2}/n_{s2} = Y_{ges}/(n_{s1} + n_{s2})$ ).

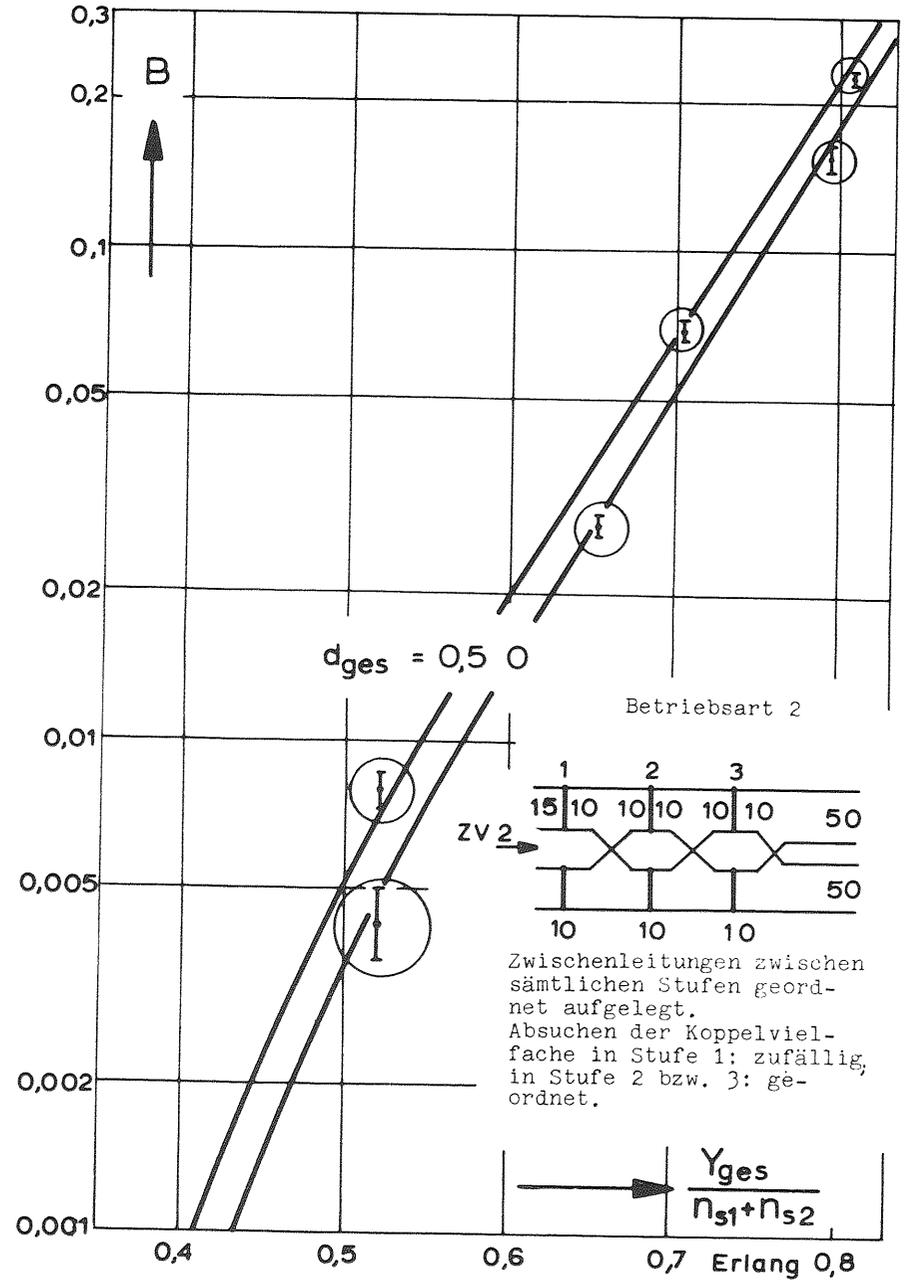


Diagramm 8:  $B = f(Y_{ges}/(n_{s1} + n_{s2}), d_{ges} = 0; 0,5)$  für ZV 2 und Wegesuchalgorithmus 1 ( $Y_{s1}/n_{s1} = Y_{s2}/n_{s2} = Y_{ges}/(n_{s1} + n_{s2})$ ).

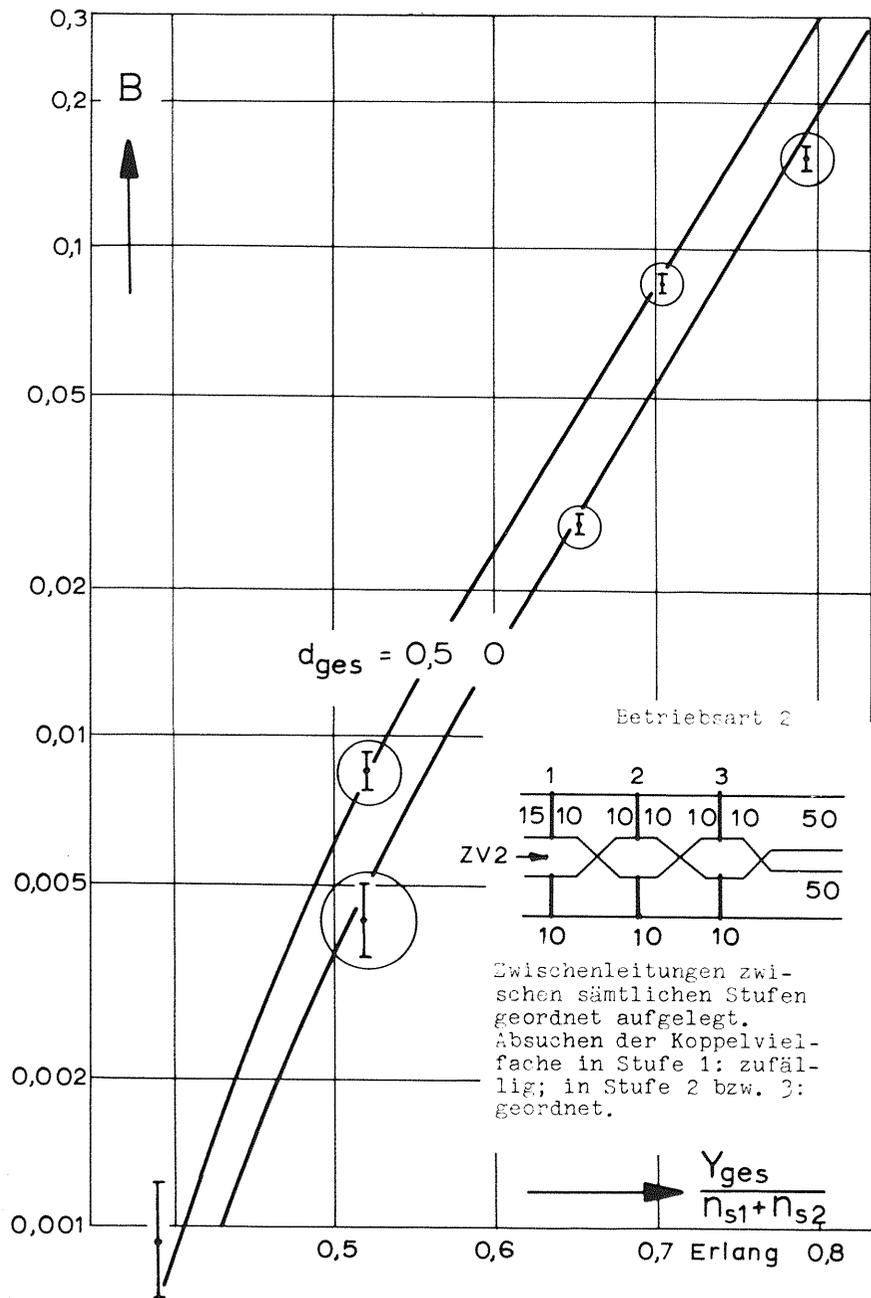


Diagramm 9:  $B = f(Y_{ges}/(n_{s1}+n_{s2}), d_{ges} = 0; 0,5)$  für ZV 2 und Wegesuchalgorithmus 2 ( $Y_{s1}/n_{s1} = Y_{s2}/n_{s2} = Y_{ges}/(n_{s1}+n_{s2})$ ).

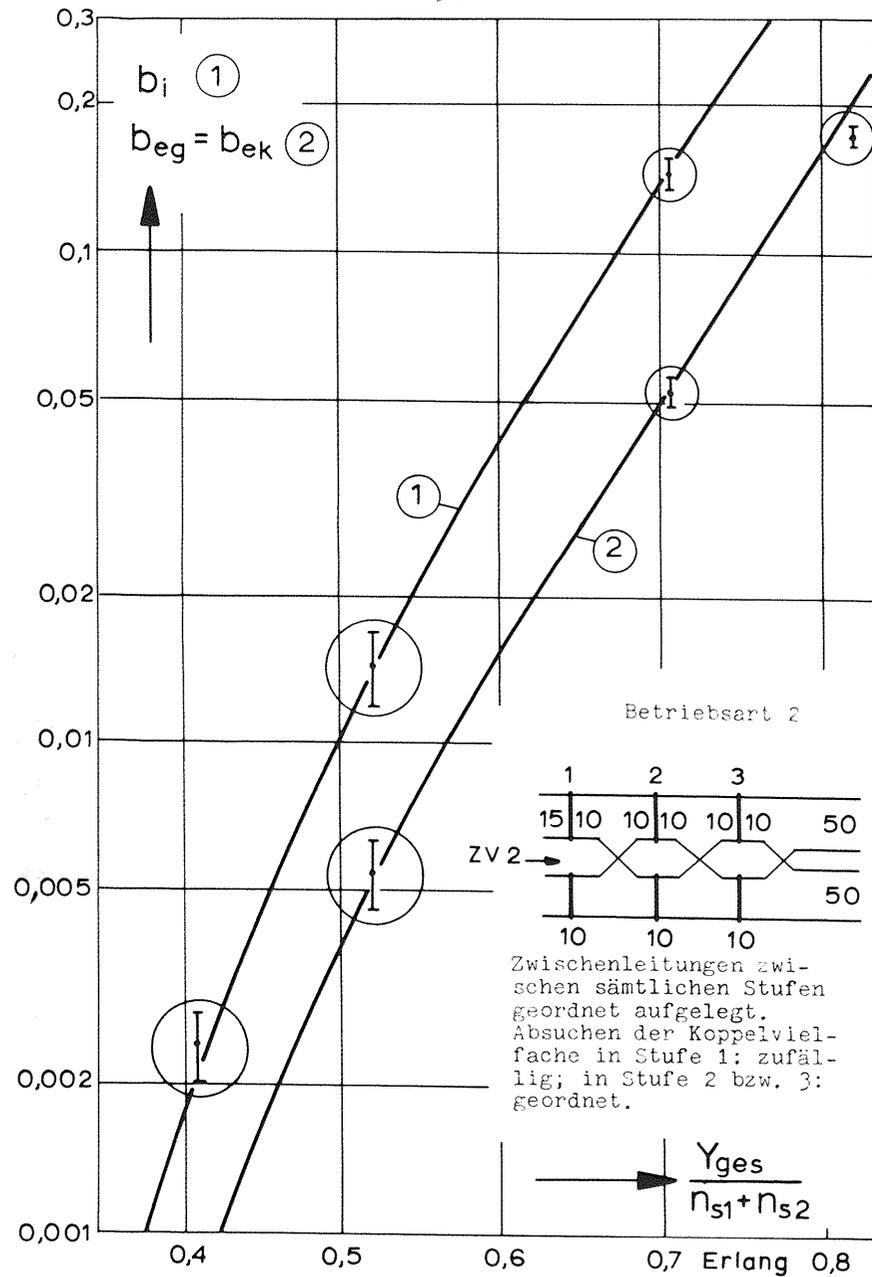


Diagramm 10: (1):  $b_i = f(Y_{ges}/(n_{s1}+n_{s2}), d_{ges}=0,5)$  } für ZV 2 und  
 (2):  $b_{eg}=b_{ek}=f(Y_{ges}/(n_{s1}+n_{s2}), d_{ges}=0,5)$  } Wegesuchalgorith-  
 ( $Y_{s1}/n_{s1} = Y_{s2}/n_{s2} = Y_{ges}/(n_{s1}+n_{s2})$ ) } rithmus 2.

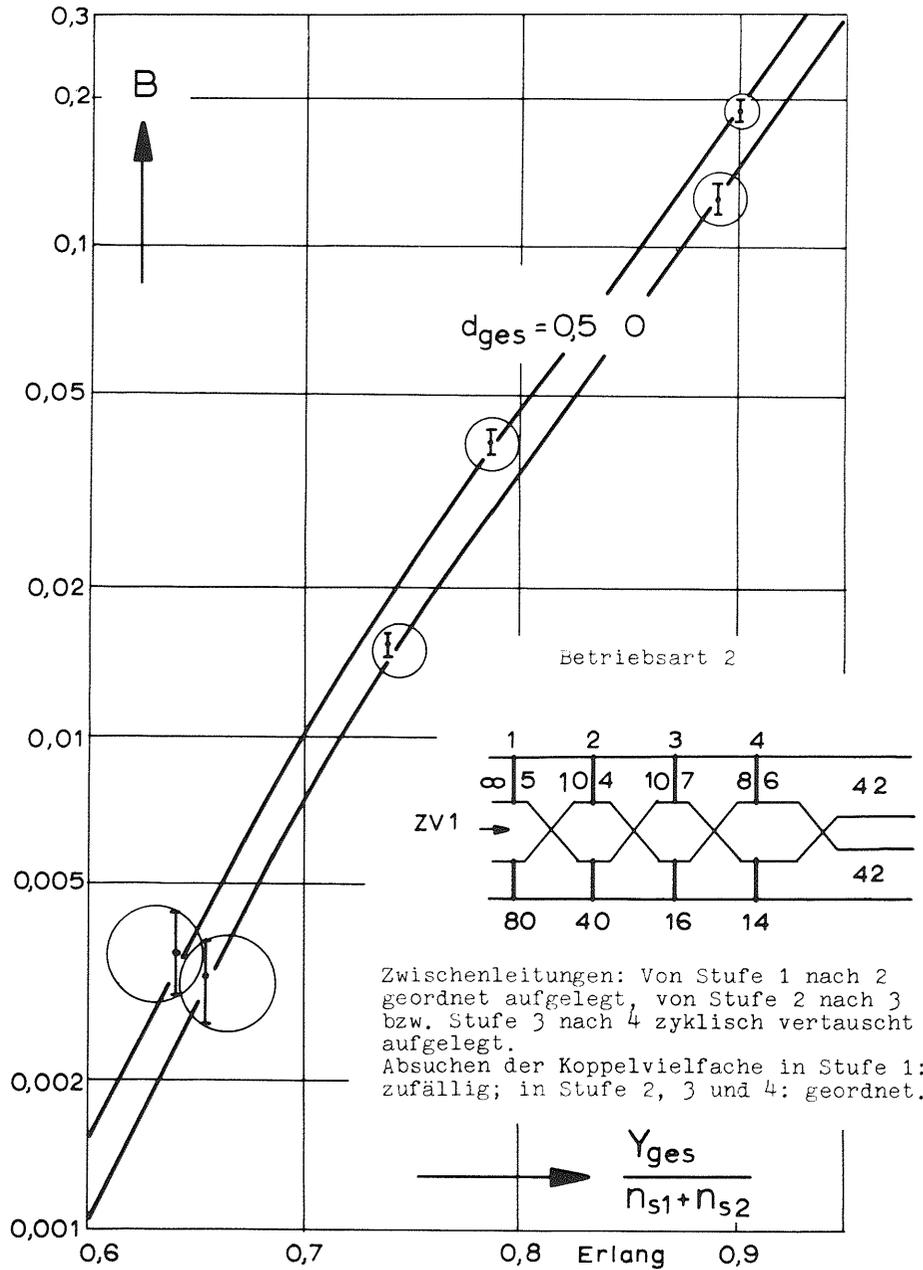


Diagramm 11:  $B = f(Y_{ges}/(n_{s1} + n_{s2}), d_{ges} = 0; 0,5)$  für ZV 1

$$(Y_{s1}/n_{s1} = Y_{s2}/n_{s2} = Y_{ges}/(n_{s1} + n_{s2}))$$

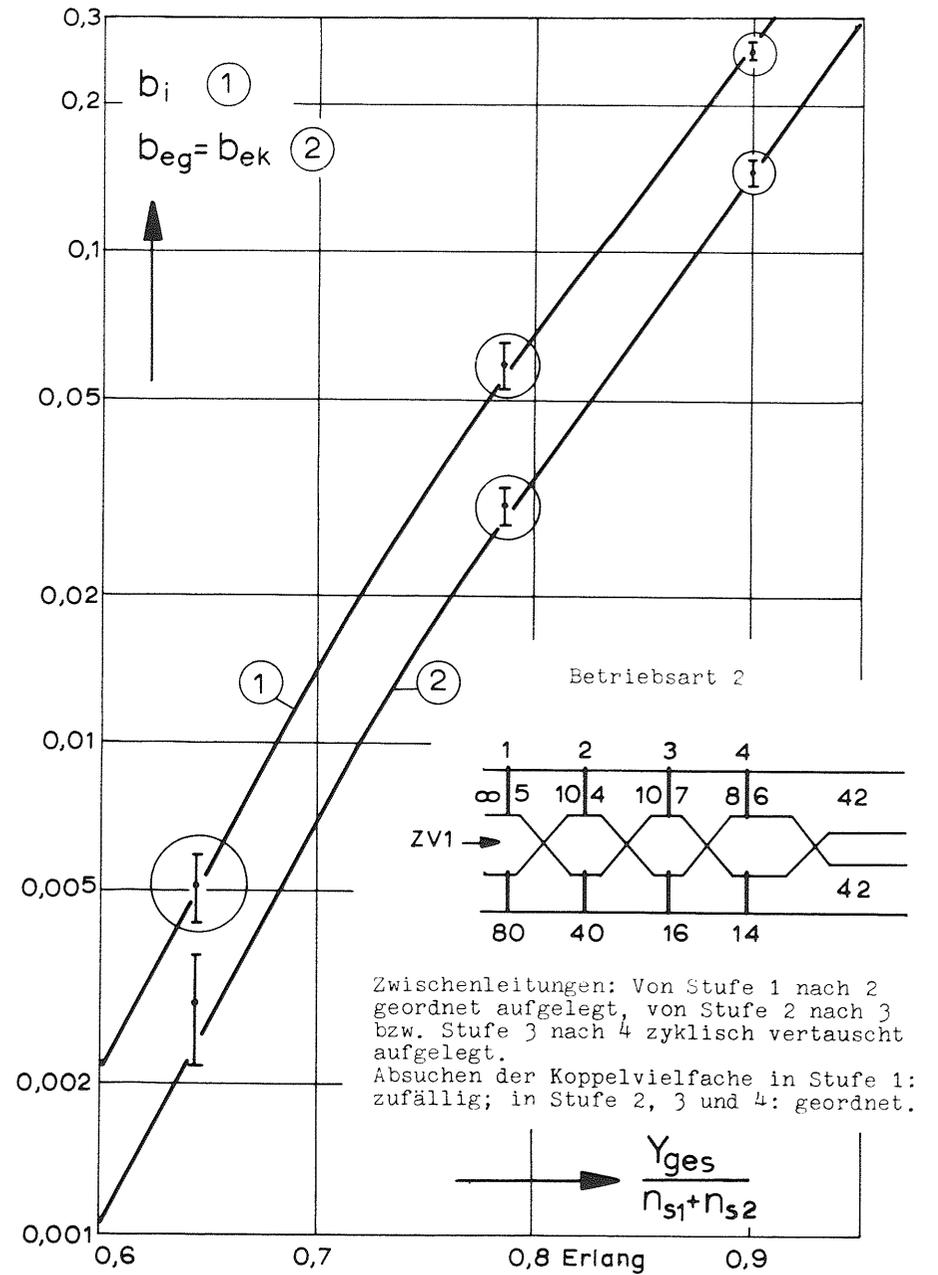


Diagramm 12: (1):  $b_i = f(Y_{ges}/(n_{s1} + n_{s2}), d_{ges} = 0,5)$   
(2):  $b_{eg} = b_{ek} = f(Y_{ges}/(n_{s1} + n_{s2}), d_{ges} = 0,5)$  } für ZV 1  
 $(Y_{s1}/n_{s1} = Y_{s2}/n_{s2} = Y_{ges}/(n_{s1} + n_{s2}))$

## 7. Betriebsart 3 und 4

### 7.1 Allgemeines

In diesem Abschnitt 7 werden zwei weitere Betriebsarten behandelt. Diese beiden Betriebsarten sind bezüglich ihrer Berechnung sehr ähnlich, da bei beiden der Internverkehr in derselben Weise geführt wird. Deshalb werden diese Betriebsarten zusammen in einem Abschnitt behandelt.

Diese Betriebsarten 3 und 4 werden in Abschnitt 7.2 beschrieben.

Die weiteren Abschnitte sind im wesentlichen wie bei der Beschreibung von Betriebsart 2 gegliedert. Da sehr viele Beziehungen gleich wie bei der Betriebsart 1 bzw. 2 sind, wird in den einzelnen Abschnitten nur das Wesentliche wiederholt und es werden nur die Beziehungen hergeleitet, die sich von den entsprechenden Beziehungen der Betriebsart 1 bzw. 2 unterscheiden.

In Abschnitt 7.3 werden die gegebenen Größen vorgestellt.

In Abschnitt 7.4 wird kurz auf die gesuchten charakteristischen Verkehrsgrößen eingegangen.

Die zur Betriebsart 1 bzw. 2 unterschiedlichen Beziehungen für Zufallsverkehr 1. Art bzw. Zufallsverkehr 2. Art werden in Abschnitt 7.5 bzw. 7.6 hergeleitet. Der Unterschied besteht hierbei wieder in der Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverteilungen  $p_j(x)$  bzw. in der Berechnung der Bündelblockierungen.

In Abschnitt 7.7 werden einige Ergebnisse gezeigt.

## 7.2 Die Beschreibung der Betriebsart 3 und 4

### 7.2.1 Betriebsart 3 (eine Externrichtung)

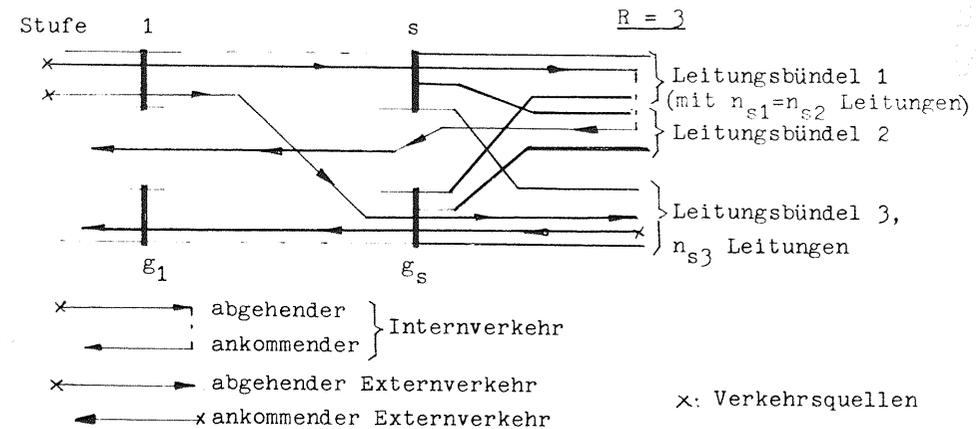


Bild 18: s-stufiges Linksystem mit Betriebsart 3

Das Linksystem hat drei Leitungsbündel hinter der Stufe s (vgl. Bild 18, rechtsseitige Ausgänge).

Der Internverkehr wird auf den Leitungsbündeln 1 und 2 geführt. Hierbei führt das Leitungsbündel 1 nur den abgehenden Teil des Internverkehrs, das Leitungsbündel 2 führt nur den ankommenden Teil des Internverkehrs. Wie bei der Betriebsart 2 belegt also jede Internverbindung auf den Leitungsbündeln 1 und 2 jeweils eine Leitung. Die Anzahl der Leitungen dieser beiden Bündel ist immer gleich groß ( $n_{s1} = n_{s2}$ ), da die Zahl der intern abgehend belegten Leitungen immer gleich der Zahl der intern ankommend belegten Leitungen ist.

Der abgehende und ankommende Externverkehr wird auf dem Leitungsbündel 3 geführt. Hierbei kann bei der Wegesuche von jedem abgehenden bzw. ankommenden Externruf jede der  $n_{s3}$  Leitungen auf frei oder belegt geprüft werden.

Linksysteme mit Betriebsart 3 können z.B. in modernen Nebenstellenanlagen eingesetzt werden (siehe Bild 19).

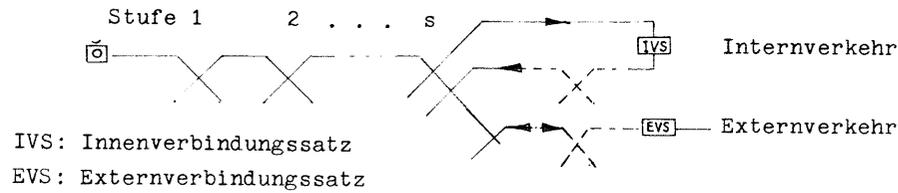


Bild 19: s-stufiges Linksystm in einer Nebenstellenanlage.

In einer solchen Nebenstellenanlage nach Bild 19 werden - voraussetzungsgemäß - der abgehende und ankommende Teil der Internverbindung bzw. der Externverkehr über eine zusätzliche (in Bild 19 gestrichelt gezeichnete) einstufige, vollkommen erreichbare Koppelanordnung miteinander verbunden (bzw. eine mehrstufige Koppelanordnung mit vernachlässigbar kleinem Verlust; vgl. Abschnitt IV.3). Die Durchschaltung des ankommenden Weges der Internverbindung bzw. der ankommenden Externverbindung erfolgt dann konjugiert vom gerufenen Teilnehmer zu einem bestimmten - vom abgehenden Teil der Internverbindung bzw. vom ankommenden Externverkehr bereits markierten - Innenverbindungssatz IVS bzw. Externverbindungssatz EVS. Da aber die zusätzliche Koppelanordnung praktisch vollkommene Erreichbarkeit hat, entspricht diese "Punkt-Punkt-Wahl" über  $s+1$  Koppelstufen der im vorliegenden Näherungsverfahren zugrunde gelegten Bündelwahl über  $s$  Koppelstufen.

(Die rechnerische Behandlung wird in den Abschnitten 7.3 bis 7.6 durchgeführt.)

7.2.2 Betriebsart 4 (zwei Externrichtungen)

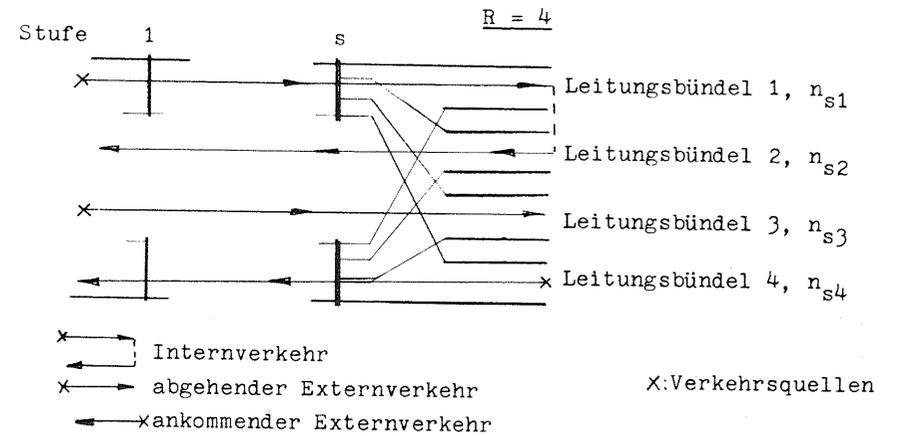


Bild 20: s-stufiges Linksystm mit Betriebsart 4.

Das Linksystm hat 4 Leitungsbündel hinter der Stufe  $s$  (vgl. Bild 20, rechtsseitige Ausgänge).

Leitungsbündel 1 und 2 führen wie bei der Betriebsart 3 den Internverkehr. Das Leitungsbündel 3 führt ausschließlich abgehenden Externverkehr und das Leitungsbündel 4 führt ausschließlich ankommenden Externverkehr.

Im Gegensatz zu Betriebsart 3 wird hier also abgehender und ankommender Externverkehr auf zwei getrennten Bündeln geführt.

(Die rechnerische Behandlung wird in den Abschnitten 7.3 bis 7.6 durchgeführt.)

### 7.2.3 Linksysteme mit drei Externrichtungen

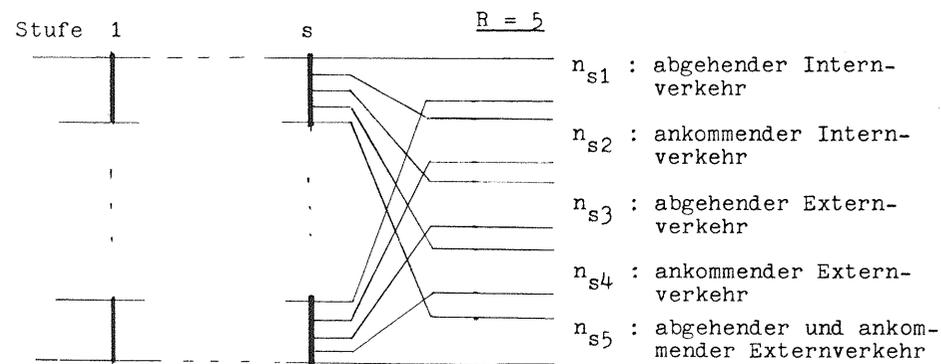


Bild 21: Linksystem mit drei Externrichtungen.

Der Vollständigkeit halber wird hier noch eine Betriebsart erwähnt, bei der das Linksystem drei Externrichtungen besitzt.

In diesem Fall hat das Linksystem 5 Leitungsgruppen hinter der Stufe s (vgl. Bild 21, rechtsseitige Ausgänge).

Die Leitungsgruppen 1 und 2 führen wieder den Internverkehr.

Das Leitungsgruppen 3 bzw. 4 führt wie in Abschnitt 7.2.2 (Betriebsart 4) abgehenden bzw. ankommenden Externverkehr.

Zusätzlich ist hier noch ein 5. Leitungsgruppen vorhanden, das wie das Leitungsgruppen 3 bei der Betriebsart 3 (nur eine Externrichtung) sowohl abgehenden als auch ankommenden Externverkehr führt.

Diese Betriebsart soll aber nicht weiter behandelt werden, da im allgemeinen die 3. Externrichtung mit gemischtem abgehenden und ankommenden Externverkehr als Überlaufgruppen für den abgehenden Externverkehr betrieben wird. Systeme mit Überlauf werden aber in dieser Arbeit nicht untersucht, für diese Betriebsart müßte ein Rechenverfahren entsprechend zu /15,17/ entwickelt werden.

### 7.2.4 Gegenüberstellung der Betriebsarten mit 1, 2 bzw. 3 Externrichtungen

In den vorhergehenden Abschnitten 7.2.1 bis 7.2.3 wurden 3 Möglichkeiten gezeigt, den abgehenden und ankommenden Externverkehr zu führen.

Vom verkehrstheoretischen Standpunkt aus ist natürlich Betriebsart 3 mit nur einer Externrichtung (Abschnitt 7.2.1) die beste Lösung, da die Zusammenfassung des Verkehrs auf nur ein Leitungsgruppen, bezüglich der Belastbarkeit bei vorgeschriebener Verlustwahrscheinlichkeit, immer günstiger ist als die Aufteilung des Verkehrs auf mehrere Gruppen (Gruppengewinn!).

Werden solche Linksysteme jedoch in Nebenstellenanlagen eingesetzt, dann ist an jede Externleitung eine sogenannte Amtsübertragung (AUE) angeschlossen (entspricht dem Externverbindingssatz EVS in Bild 19). Diese AUE stellt die Anpassung, d.h. Schnittstelle, zwischen Nebenstellenanlage und öffentlichem Netz dar.

Wird auf einem Leitungsgruppen sowohl abgehender als auch ankommender Externverkehr geführt, so wird für jede Leitung hinter der Stufe s des Linksystems (vgl. Bild 18, rechtsseitige Ausgänge des Leitungsgruppen 3) eine doppelgerichtete Amtübertragung AUE(g-k) benötigt. Diese AUE(g-k) muß sowohl für den abgehenden als auch den ankommenden Externverkehr zur Verfügung stehen.

Die Leitungen eines Gruppen, das ausschließlich abgehenden Externverkehr führt (vgl. Bild 20, Leitungsgruppen 3), benötigen Amtübertragungen für den abgehenden Verkehr AUE(g); entsprechend benötigen die Leitungen, die nur ankommenden Externverkehr führen (vgl. Bild 20, Leitungsgruppen 4), Amtübertragungen für den ankommenden Verkehr AUE(k).

Die Anforderungen an die AUE's sind je nach ihrer Betriebsweise, abgehend und ankommend, nur abgehend oder nur ankommend, verschieden.

Allen Amtübertragungen gemeinsam ist die Aufgabe der galvanischen Trennung der Nebenstellenanlage und des Amtes, sowie der Übertragung von Schaltkennzeichen.

Die AUE(g) für den abgehenden Verkehr ist am einfachsten, sie hat im wesentlichen nur die Aufgabe der Umsetzung und Übermittlung der Wählpulse von der Nebenstellenanlage zum Amt.

Die AUE(k) für den ankommenden Verkehr ist wesentlich komplizierter, da sie eine Vielzahl von Aufgaben zu bewältigen hat.

Einige dieser Aufgaben sollen hier stichwortartig genannt werden /31/:

- Rückfrageumsteuerung,
  - Durchschaltung auf Vermittlungsplatz bzw. direkte Durchwahl,
  - besondere Schutzmaßnahmen gegen Doppelbelegungen und Fehlverbindungen
- u.s.w..

Die doppeltgerichtete Amtsübertragung A<sub>Ue</sub>(g-k) muß sowohl die Aufgaben der A<sub>Ue</sub>(g) als auch die Aufgaben der A<sub>Ue</sub>(k) bewältigen können, die A<sub>Ue</sub>(g-k) ist also schaltungstechnisch am kompliziertesten. D.h. die Kosten für eine A<sub>Ue</sub>(g-k) sind größer als die Kosten für eine A<sub>Ue</sub>(k) bzw. A<sub>Ue</sub>(g).

Deshalb kann es z.B. günstiger sein, trotz der verkehrstheoretischen Nachteile, die Betriebsart 4 mit zwei Externrichtungen zu realisieren. Es muß hierbei zwischen den Leitungskosten und den Kosten für die A<sub>Ue</sub>'s abgewogen werden.

Im folgenden wird Betriebsart 3 (ein Externbündel mit doppeltgerichtetem Betrieb) und Betriebsart 4 (zwei Externbündel, kommend bzw. gehend) rechnerisch behandelt.

7.3 Die gegebenen Größen (Betriebsart 3 und 4)

Gegeben sind die Strukturparameter des Linksystems und die verschiedenen Verkehrsbelastungen:

- Internbelastung  $Y_1$  :  $Y_1$  ist die Belastung der beiden Leitungsbündel 1 und 2, d.h. jedes dieser Leitungsbündel hat die Belastung  $Y_1/2$ .
  - abgehende Externbelastung  $Y_{eg}$
  - ankommende Externbelastung  $Y_{ek}$
- Betriebsart 3 (eine Externrichtung):  $Y_{eg} + Y_{ek}$  ist die Belastung des Leitungsbündels 3 (vgl. Abschnitt 7.2.1).
- Betriebsart 4 (zwei Externrichtungen):  $Y_{eg}$  ist die Belastung des Leitungsbündels 3;  $Y_{ek}$  ist die Belastung des Leitungsbündels 4 (vgl. Abschnitt 7.2.2).
- Gesamtbelastung :  $Y_{ges} = Y_1 + Y_{eg} + Y_{ek}$

Ausgehend von diesen Belastungen können entsprechend zu Abschnitt 5.3 (Betriebsart 1) alle interessierenden Belastungen berechnet werden (vgl. Gl.(IV.1) bis (IV.10)).

7.4 Die gesuchten charakteristischen Verkehrsgrößen

Es gelten die Beziehungen von Betriebsart 1 nach Abschnitt 5.4 (Gl.(IV.11) bis (IV.38)), hierbei wird:

- $[m]_{ig}$  ersetzt durch  $[m_1]_{ig}$
  - $[m]_{ik}$  ersetzt durch  $[m_2]_{ik}$
  - $[m]_{eg}$  ersetzt durch  $[m_3]_{eg}$
- (vgl. Abschnitt IV.6, Betriebsart 2)
- (Der abgehende Externverkehr wird sowohl bei Betriebsart 3 als auch bei Betriebsart 4 auf dem Leitungsbündel 3 geführt (vgl. Abschnitt 7.2.1 und 7.2.2).)
- $[m]_{ek}$  ersetzt durch  $[m_3]_{ek}$  bei Betriebsart 3  
bzw.  $[m_4]_{ek}$  bei Betriebsart 4.

7.5 Zufallsverkehr 1. Art

7.5.1 Allgemeines

Der Unterschied zwischen Betriebsart 1 bzw. 2 und Betriebsart 3 und 4 wirkt sich im Rechenverfahren nur auf die Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverteilungen  $p_j(x)$  auf den Leitungsbündeln hinter der Stufe s des Linksystems und auf die Berechnung der Bündelblockierungen aus. Die Beziehungen hierfür werden in den Abschnitten 7.5.2 und 7.5.3 hergeleitet.

Die Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverteilung  $w(x)$  auf den  $k_1$  Zwischenleitungen und die daraus resultierenden Verlustwahrscheinlichkeiten infolge von Blockierung des Ursprungs- bzw. Zielkoppelvielfachs erfolgt nach Abschnitt 5.5.4 und 5.5.5.

Ebenso erfolgt die Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverteilung  $p_r(x)$  und die Berechnung der Zwischenblockierungen nach Abschnitt 5.5.6 und 5.5.7.

7.5.2 Die Wahrscheinlichkeitsverteilungen  $p_j(x)$  auf den Leitungsbündeln hinter der Stufe  $s$  des Linksystems

7.5.2.1 Leitungsbündel 1 und 2

Wie bereits in Abschnitt 7.2 dargestellt, wird bei den beiden Betriebsarten 3 und 4 der abgehende Teil des Internverkehrs auf dem Leitungsbündel 1 und der ankommende Teil auf dem Leitungsbündel 2 geführt. Jede Belegung auf dem Bündel 1 bewirkt also auch eine Belegung auf dem Bündel 2. D.h. die Wahrscheinlichkeitsverteilungen  $p_1(x)$  und  $p_2(x)$  müssen gleich sein ( $n_{s1} = n_{s2}$ ); es gilt:

$$p_1(x) = p_2(x) = p_{1,2}(x).$$

Damit ergibt sich:

$$p_{1,2}(x+2) = \frac{i^{A_{OS}}}{x+2} p_{1,2}(x+1) \quad (IV.163)$$

mit der Randbedingung ( $n_{s1} = n_{s2}$ ):  $\sum_{x=0}^{n_{s1}} p_{1,2}(x) = 1$

Die Belastung auf den beiden Leitungsbündeln 1 und 2 ist jeweils  $Y_i/2$ , damit gilt die Beziehung (vgl. Gl.(IV.151)):

$$\frac{Y_i}{2} = i^{A_{OS}} (1 - p_{1,2}(n_{s1})) \quad (IV.164)$$

Der Anfangswert  $i^{A_{OSO}}$  ist:  $i^{A_{OSO}} = \frac{Y_i}{2} \quad (IV.165)$

Mit den Beziehungen nach Gl.(IV.163) bis (IV.165) werden iterativ die  $p_{1,2}(x)$  berechnet (vgl. Abschnitt 5.5.2).

7.5.2.2 Leitungsbündel 3; Betriebsart 3 (eine Externrichtung)

Bei Betriebsart 3 mit einer Externrichtung wird auf dem Leitungsbündel 3 sowohl abgehender als auch ankommender Externverkehr geführt (vgl. Abschnitt 7.2.1).

Die Rekursionsformel zur Berechnung von  $p_3(x)$  wird mit  $e^{A_{OS}} = e_g^{A_{OS}} + e_k^{A_{OS}}$  :

$$p_3(x+2) = \frac{e^{A_{OS}}}{x+2} p_3(x+1) \quad (IV.166)$$

mit der Randbedingung:  $\sum_{x=0}^{n_{s3}} p_3(x) = 1$

Die Belastung auf dem Leitungsbündel 3 ist  $Y_e = Y_{eg} + Y_{ek}$ . Es gilt:

$$Y_e = e^{A_{OS}} (1 - p_3(n_{s3})) \quad (IV.167)$$

Der Anfangswert  $e^{A_{OSO}}$  ist:  $e^{A_{OSO}} = Y_e \quad (IV.168)$

Mit Gleichung (IV.166) bis (IV.168) kann  $p_3(x)$  iterativ bestimmt werden, die Wahrscheinlichkeitsverteilung  $p_3(x)$  ist eine Erlang-Verteilung.

7.5.2.3 Leitungsbündel 3 und 4; Betriebsart 4 (zwei Externrichtungen)

Bei der Betriebsart 4 führt das Leitungsbündel 3 nur abgehenden Externverkehr und das Leitungsbündel 4 nur ankommenden Externverkehr (vgl. Abschnitt 7.2.2).

Der Rechenalgorithmus entspricht dem von Abschnitt 7.5.2.2, jedoch wird bei der Berechnung von  $p_3(x)$ :

$Y_e$  ersetzt durch  $Y_{eg}$   
und  $e^{A_{OS}}$  ersetzt durch  $e_g^{A_{OS}}$ .

Bei der Berechnung von  $p_4(x)$  wird:

$Y_e$  ersetzt durch  $Y_{ek}$ ,  
 $e^{A_{OS}}$  ersetzt durch  $e_k^{A_{OS}}$   
und  $n_{s3}$  ersetzt durch  $n_{s4}$ .

### 7.5.3 Die Bündelblockierungen

#### 7.5.3.1 Extern abgehend

Der abgehende Externverkehr wird sowohl bei Betriebsart 3 (eine Externrichtung) als auch bei Betriebsart 4 (zwei Externrichtungen) auf dem Leitungsbündel 3 geführt, deshalb gilt (vgl. Gl. (IV.44)):

$$[m_3]_{eg} = \sum_{x=m_3}^{n_{s3}} p_3(x) \cdot G_3(x) \quad (IV.169)$$

#### 7.5.3.2 Extern ankommend

Es gilt:

$$[m_j]_{ek} = \sum_{x=m_j}^{n_{sj}} p_j(x) \cdot G_j(x) \quad (IV.170)$$

Für den Index j in Gl. (IV.170) gilt:

- j = 3 für Betriebsart 3 mit einer Externrichtung,
- j = 4 für Betriebsart 4 mit zwei Externrichtungen.

#### 7.5.3.3 Intern

Entsprechend zu Gl. (IV.46) gilt für die interne Bündelblockierung in abgehender Richtung:

$$[m_1]_{ig} = \sum_{x=m_1}^{n_{s1}} p_1(x) \cdot G_1(x) \quad (IV.171)$$

Für die interne Bündelblockierung in ankommender Richtung gilt:

$$\begin{aligned} [m_2]_{ik} &= \sum_{x=m_2}^{n_{s2}-1} p_2(x) \mu_1(x) \cdot G_2(x) = \\ &= \sum_{x=m_2}^{n_{s2}-1} p_2(x) (1 - G_1(x)) \cdot G_2(x) \end{aligned} \quad (IV.172)$$

Interne Bündelblockierung in ankommender Richtung kann im Zustand  $\{x\}$  des Bündels 2 und damit auch des Bündels 1 ( $p_1(x) = p_2(x)$ ) nur auftreten, wenn in abgehender Richtung keine Bündelblockierung ( $\mu_1(x) = 1 - G_1(x)$ ) aufgetreten ist. Im Zustand  $\{n_{s1} = n_{s2}\}$  tritt in ankommender Richtung keine Bündelblockierung auf, da sich in

diesem Zustand immer Bündelblockierung in abgehender Richtung ereignet.

Für die beiden Leitungsbündel 1 und 2 gilt:  $m_1 = m_2$ ,  $G_1(x) = G_2(x)$ .

Die internen Verlustwahrscheinlichkeiten werden mit den Gleichungen von Betriebsart 1 nach Abschnitt 5.4 berechnet, da hier in  $[m_2]_{ik}$  implizit enthalten ist, daß in abgehender Richtung keine Bündelblockierung auftritt (vgl.  $[m]_{ik}$  bei Betriebsart 1).

### 7.6 Zufallsverkehr 2. Art

#### 7.6.1 Allgemeines

Auch bei Zufallsverkehr 2. Art wirkt sich der Unterschied zwischen Betriebsart 1 bzw. 2 und den Betriebsarten 3 und 4 nur in der Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverteilungen  $p_j(x)$  aus. Die Berechnung der Bündelblockierungen erfolgt nach Abschnitt 7.5.3.

Die Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverteilung  $w(x)$  auf den  $k_1$  Zwischenleitungen, der Verlustwahrscheinlichkeiten infolge von Blockierung des Ursprungs- bzw. Zielkoppelvielfachs, der Wahrscheinlichkeitsverteilung  $p_v(x)$  und der Zwischenblockierungen erfolgt nach Abschnitt 5.6.6 bis 5.6.9, deren Berechnung wird also nicht von der Betriebsart beeinflusst.

#### 7.6.2 Die Wahrscheinlichkeitsverteilungen $p_j(x)$ auf den Leitungsbündeln hinter der Stufe s des Linksystems

##### 7.6.2.1 Leitungsbündel 1 und 2

Wie bereits in Abschnitt 7.5.2.1 ausgeführt, ist bei Betriebsart 3 und 4  $p_1(x) = p_2(x) = p_{1,2}(x)$ . Die Berechnung dieser Wahrscheinlichkeitsverteilung wird im folgenden für das Leitungsbündel 1 hergeleitet. Da in jedem Zustand  $\{x\}$  des Leitungsbündels 1 sich auch das Leitungsbündel 2 im Zustand  $\{x\}$  befindet, wird für die Berechnung von  $p_{1,2}(x)$  der Erwartungswert  $Q_{1,2}$  der Quellenzahl für beide Leitungsbündel 1 und 2 benützt:

$$Q_{1,2} = Q - \sum_{v=3}^R Y_{sv} \quad (IV.173)$$

- mit  $R = 3$  bei Betriebsart 3
- und  $R = 4$  bei Betriebsart 4.

In diesem Fall wird also von der Gesamtquellenzahl  $Q$  nur die Belastung der Externbündel abgezogen.

Von den  $Q_{1,2}$  im Mittel auf das Leitungsbündel 1 und 2 wirkenden Quellen sind im Zustand  $\{x\}$  jedes der beiden Bündel  $(Q_{1,2} - 2x)$  Quellen frei. Damit ist für das Leitungsbündel 1 im Zustand  $\{x\}$  die fiktive Anrufrate:  $i_{os}^{\alpha} (Q_{1,2} - 2x)$ .

Ein Übergang vom Zustand  $\{x\}$  in den Zustand  $\{x+1\}$  findet im Leitungsbündel 1 (bzw. 2) nur dann statt, wenn der gerufene Teilnehmer frei ist. Die Wahrscheinlichkeit hierfür ist bei Einfall eines Internrufes im Zustand  $\{x\}$  der beiden Leitungsbündel:

$$\frac{Q_{1,2} - (2x+1)}{Q}$$

Damit gilt für  $p_{1,2}(x)$ :

$$p_{1,2}(x+1) = i_{os}^{\alpha} \frac{Q_{1,2} - 2x}{x+1} p_{1,2}(x) \frac{Q_{1,2} - (2x+1)}{Q} \quad (\text{IV.174})$$

mit der Randbedingung: 
$$\sum_{x=0}^{n_{s1}} p_{1,2}(x) = 1$$

Für die Belastung des Leitungsbündels 1 (bzw. 2) gilt:

$$\frac{Y_i}{2} = i_{os}^A (1 - i_{s}^b) \quad (\text{IV.175})$$

mit 
$$i_{os}^A = i_{os}^{\alpha} \sum_{x=0}^{n_{s1}} (Q_{1,2} - 2x) p_{1,2}(x) \frac{Q_{1,2} - (2x+1)}{Q}$$

Die interne Verlustwahrscheinlichkeit  $i_{s}^b$  des vollkommen erreichbaren Bündels ergibt sich zu (vgl. Gl.(IV.162)):

$$i_{s}^b = \frac{(Q_{1,2} - 2n_{s1}) \cdot p_{1,2}(n_{s1}) \cdot (Q_{1,2} - (2n_{s1}+1))}{\sum_{x=0}^{n_{s1}} (Q_{1,2} - 2x) p_{1,2}(x) (Q_{1,2} - (2x+1))} \quad (\text{IV.176})$$

Damit kann mit Gl.(IV.174) bis (IV.176)  $p_{1,2}(x)$  iterativ bestimmt werden.

### 7.6.2.2 Leitungsbündel 3; Betriebsart 3 (eine Externrichtung)

Das Leitungsbündel 3 führt in diesem Fall sowohl den abgehenden als auch den ankommenden Externverkehr. Die Quellenzahl  $Q_3$  berechnet sich nach Gl.(IV.157), wobei  $Y_{s1} = Y_{s2} = Y_i/2$  ist. Damit gilt:

$$(x+2)p_3(x+2) = e_{g_{os}}^{\alpha} (Q_3 - (x+1)) p_3(x+1) + e_{k_{os}}^A p_3(x+1) \frac{Q_3 - (x+1)}{Q}$$

Mit  $e_{k_{os}}^{\alpha} = e_{k_{os}}^A/Q$  und  $e_{os}^{\alpha} = e_{g_{os}}^{\alpha} + e_{k_{os}}^{\alpha}$  ergibt sich (vgl. Gl.(IV.82)):

$$p_3(x+2) = e_{os}^{\alpha} \frac{Q_3 - (x+1)}{x+2} p_3(x+1) \quad (\text{IV.177})$$

mit der Randbedingung: 
$$\sum_{x=0}^{n_{s3}} p_3(x) = 1$$

Die Belastung des Leitungsbündels 3 ist (Betriebsart 3):

$$Y_e = Y_{eg} + Y_{ek} = e_{os}^{\alpha} (Q - Y_{ges}) (1 - e_{s}^b) \quad (\text{IV.178})$$

Die externe Verlustwahrscheinlichkeit  $e_{s}^b$  ist (vgl. Gl.(IV.85)):

$$e_{s}^b = \frac{Q_3 - n_{s3}}{Q_3 - Y_e} p_3(n_{s3})$$

oder mit  $Q_3 - Y_e = Q - Y_i - Y_e = Q - Y_{ges}$ :

$$e_{s}^b = \frac{Q_3 - n_{s3}}{Q - Y_{ges}} p_3(n_{s3}) \quad (\text{IV.179})$$

Damit kann mit Gl.(IV.177) bis (IV.179)  $p_3(x)$  iterativ bestimmt werden, es ergibt sich hier eine Erlang-Bernoulli-Verteilung (vgl. Kapitel III.2.3).

7.6.2.3 Leitungsbündel 3 und 4; Betriebsart 4 (zwei Externrichtungen)

Bei der Betriebsart 4 führt das Leitungsbündel 3 den abgehenden Externverkehr und das Leitungsbündel 4 den ankommenden Externverkehr. Der Rechenalgorithmus entspricht dem von Abschnitt 7.6.2.2. Jedoch wird bei der Berechnung von  $p_3(x)$ :

$e^{\alpha_{os}}$  ersetzt durch  $eg^{\alpha_{os}}$ ,

$Y_e$  ersetzt durch  $Y_{eg}$

und  $e^{b_s}$  ersetzt durch  $eg^{b_s}$ .

Bei der Berechnung von  $p_4(x)$  wird:

$e^{\alpha_{os}}$  ersetzt durch  $ek^{\alpha_{os}}$ ,

$Y_e$  ersetzt durch  $Y_{ek}$ ,

$Q_3$  ersetzt durch  $Q_4$  (nach Gl.(IV.157)),

$n_{s3}$  ersetzt durch  $n_{s4}$

und  $e^{b_s}$  ersetzt durch  $ek^{b_s}$ .

7.7 Ergebnisse

In Diagramm 13 bis 18 werden für Betriebsart 3 die mit dem Näherungsverfahren ermittelten Ergebnisse Simulationsergebnissen gegenübergestellt. (Betriebsart 3 und 4 sind in ihrem prinzipiellen Rechengang identisch, es werden deshalb hier nur für die verkehrstheoretisch günstigere Betriebsart 3 Ergebnisse gezeigt.)

Die Ergebnisse des Näherungsverfahrens sind mit einer durchgezogenen Linie gezeichnet. Die Simulationsergebnisse sind mit ihrem Vertrauensintervall und einer statistischen Aussagesicherheit von 95% durch  $\bar{I}$  dargestellt.

Es werden Ergebnisse für 3- und 4-stufige Linkssysteme und Zufallsverkehr 1. Art bzw. 2.Art gezeigt.

Die Ergebnisse des Näherungsverfahrens stimmen sehr gut mit den Simulationsergebnissen überein.

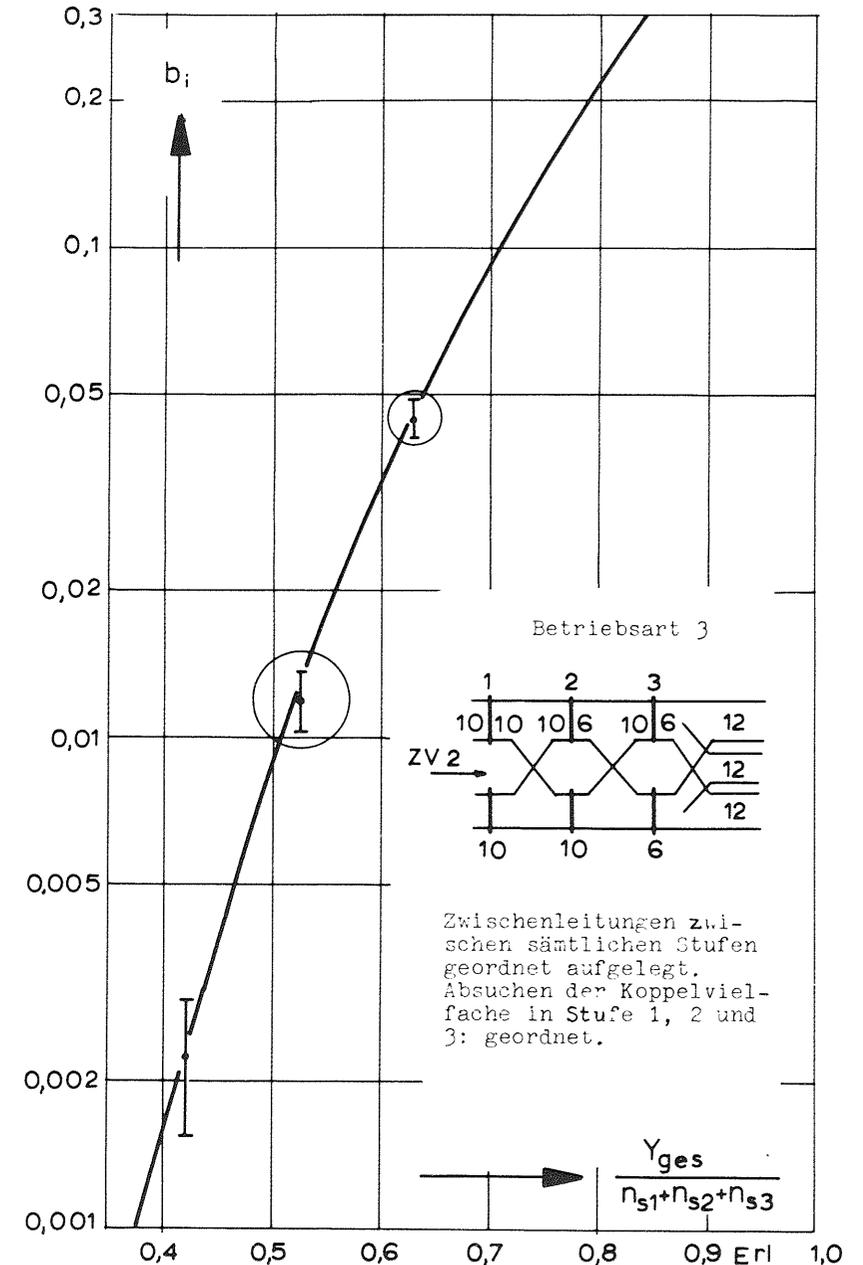


Diagramm 13:  $b_i = f(Y_{ges}/(n_{s1}+n_{s2}+n_{s3}))$ ,  $d_{ges} = 0,666$  für ZV 2 und Wegesuchalgorithmus 2.

$$(Y_{s1}/n_{s1} = Y_{s2}/n_{s2} = Y_{s3}/n_{s3} = Y_{ges}/(n_{s1}+n_{s2}+n_{s3}))$$

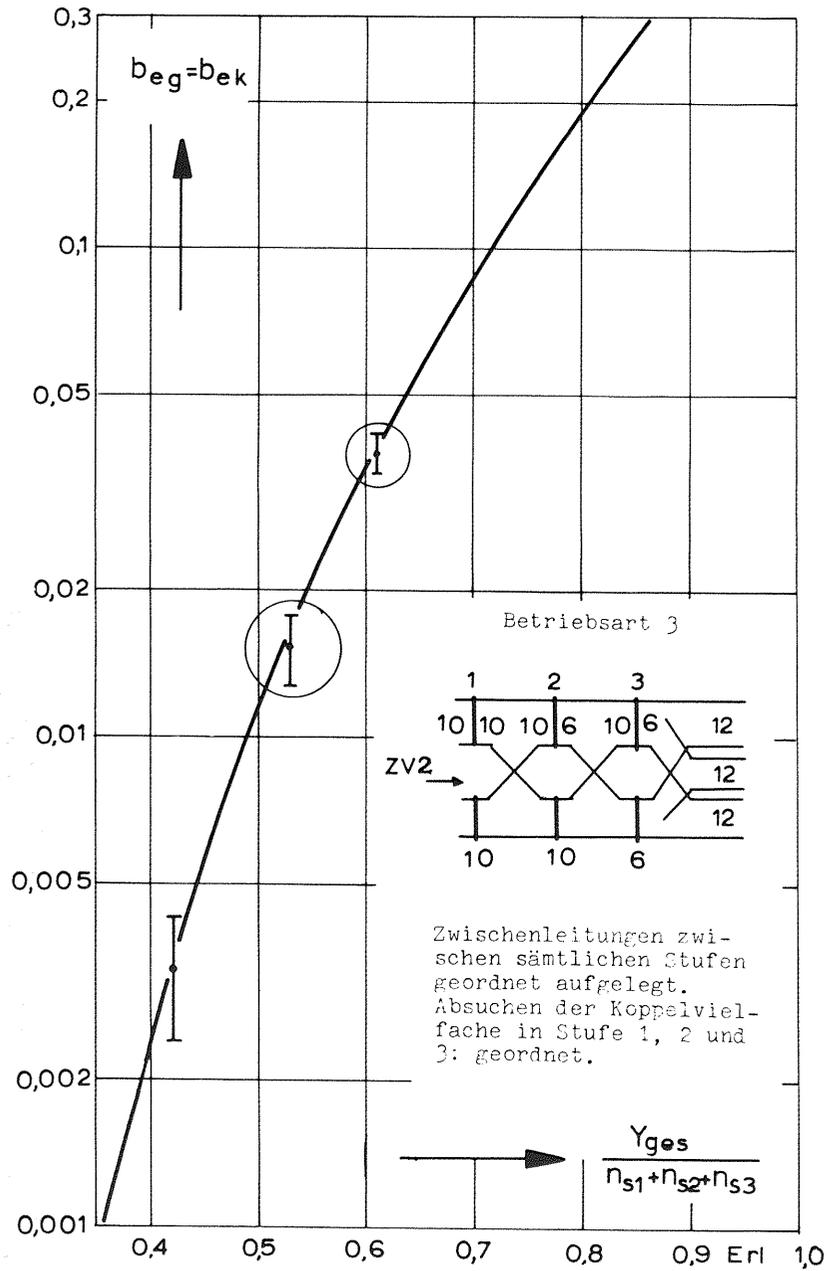


Diagramm 14:  $b_{eg} = b_{ek} = f(Y_{ges}/(n_{s1} + n_{s2} + n_{s3}), d_{ges} = 0,666)$  für ZV 2 und Wegesuchalgorithmus 2.

$$(Y_{s1}/n_{s1} = Y_{s2}/n_{s2} = Y_{s3}/n_{s3} = Y_{ges}/(n_{s1} + n_{s2} + n_{s3}))$$

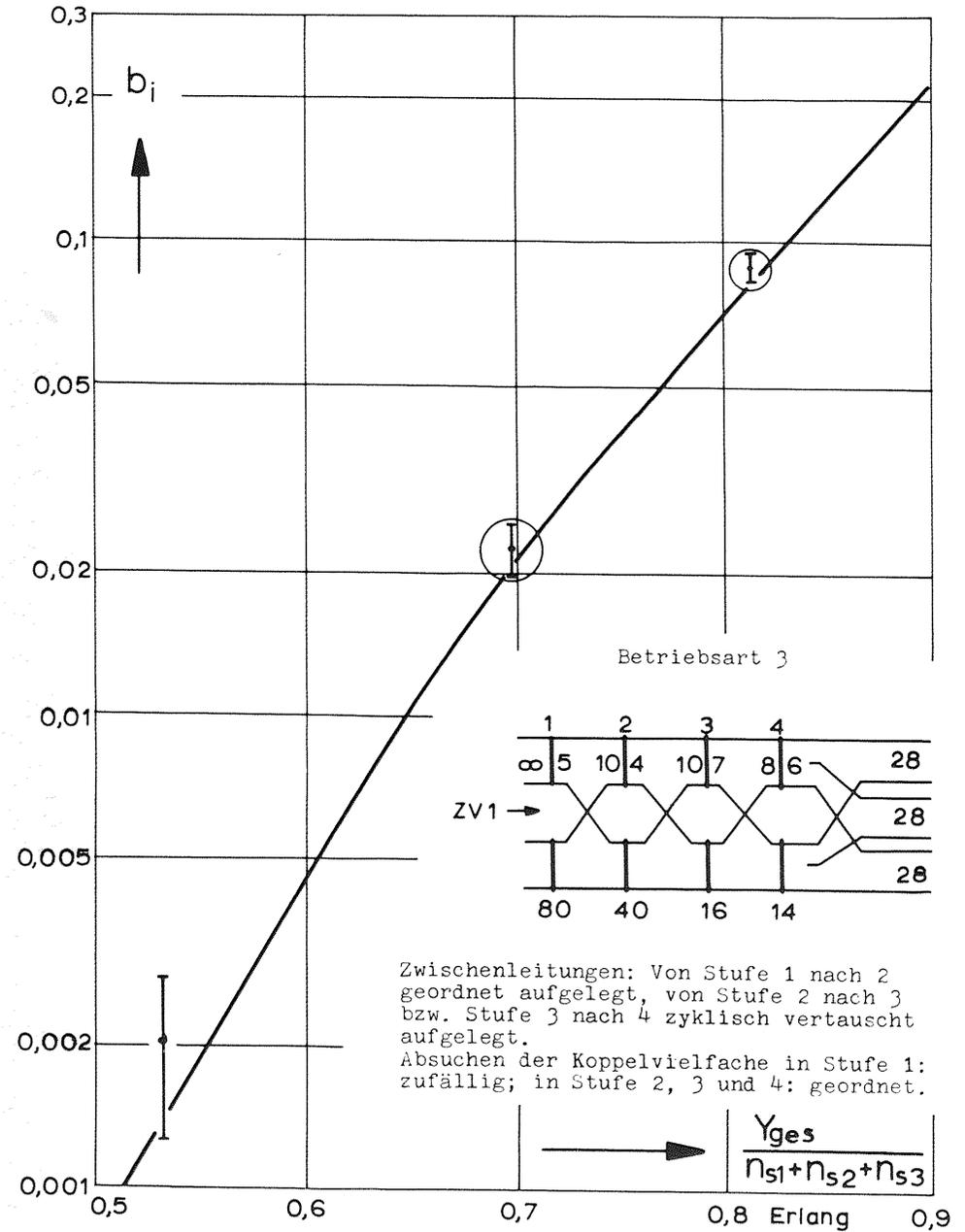


Diagramm 15:  $b_i = f(Y_{ges}/(n_{s1} + n_{s2} + n_{s3}), d_{ges} = 0,666)$  für ZV 1

$$(Y_{s1}/n_{s1} = Y_{s2}/n_{s2} = Y_{s3}/n_{s3} = Y_{ges}/(n_{s1} + n_{s2} + n_{s3}))$$



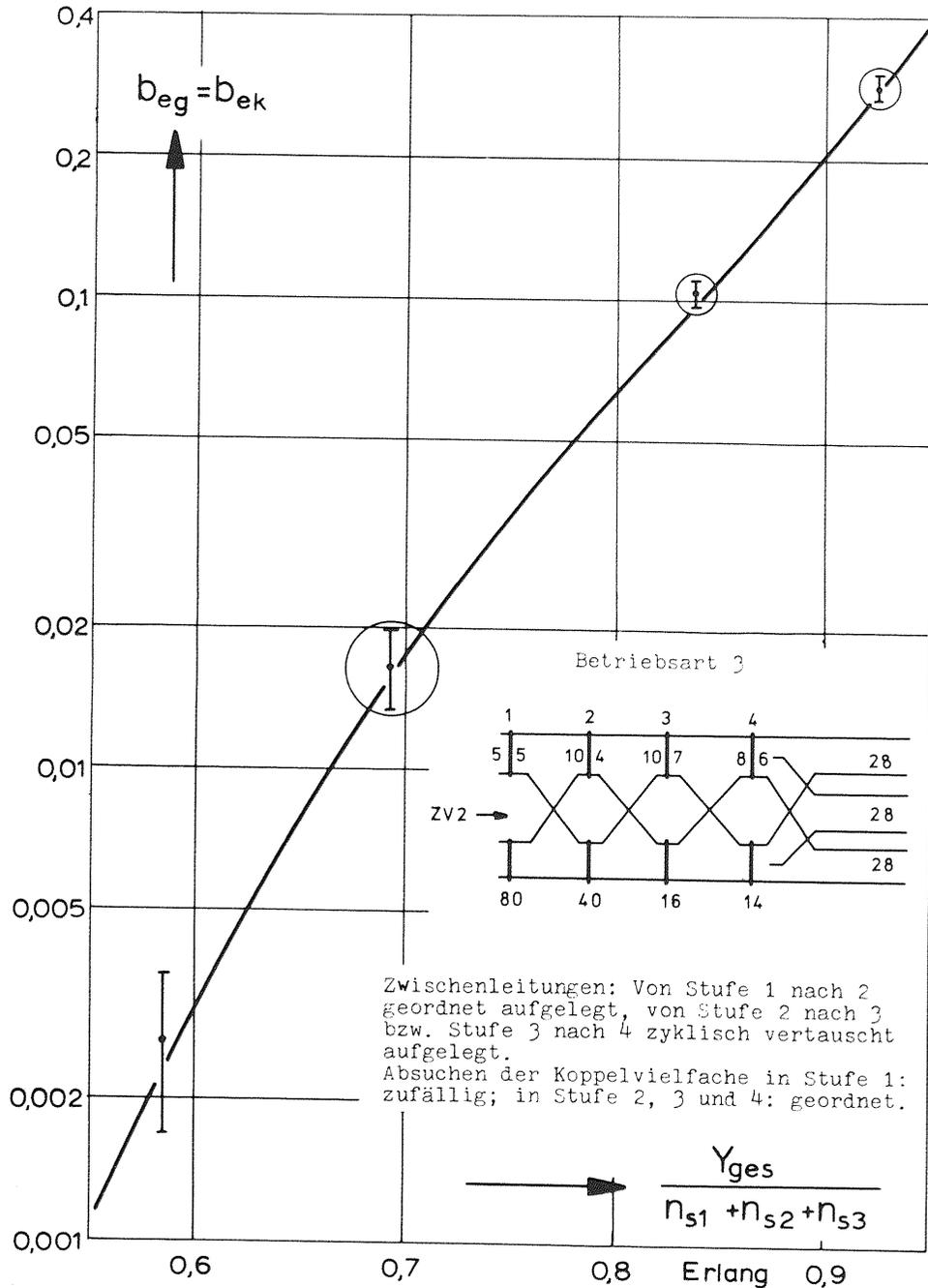


Diagramm 18:  $b_{eg} = b_{ek} = f(Y_{ges}/(n_{s1}+n_{s2}+n_{s3}), d_{ges} = 0,666)$   
für ZV 2 und Wegesuchalgorithmus 2.  
 $(Y_{s1}/n_{s1} = Y_{s2}/n_{s2} = Y_{s3}/n_{s3} = Y_{ges}/(n_{s1}+n_{s2}+n_{s3}))$

8. Betriebsart 5

8.1 Allgemeines

Die Beschreibung der Betriebsart 5 erfolgt in Abschnitt 8.2. Die weiteren Abschnitte sind im wesentlichen wie bei der Behandlung der anderen Betriebsarten gegliedert. Da sehr viele Beziehungen gleich wie bei Betriebsart 1,2,3 oder 4 sind, wird in den einzelnen Abschnitten nur das Wesentliche wiederholt und es werden nur die Beziehungen hergeleitet, die sich von den entsprechenden Beziehungen der Betriebsarten 1 bis 4 unterscheiden.

In Abschnitt 8.3 werden die gegebenen Größen vorgestellt, in Abschnitt 8.4 wird kurz auf die gesuchten charakteristischen Verkehrsgrößen eingegangen.

In Abschnitt 8.5 bzw. 8.6 werden die zu den anderen Betriebsarten unterschiedlichen Beziehungen für Zufallsverkehr 1. Art bzw. 2. Art hergeleitet. Der Unterschied besteht hierbei in der Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverteilung  $p_j(x)$  und in der Berechnung der Bündelblockierungen für den Internverkehr.

In Abschnitt 8.7 werden einige Ergebnisse gezeigt.

8.2 Die Beschreibung der Betriebsart 5

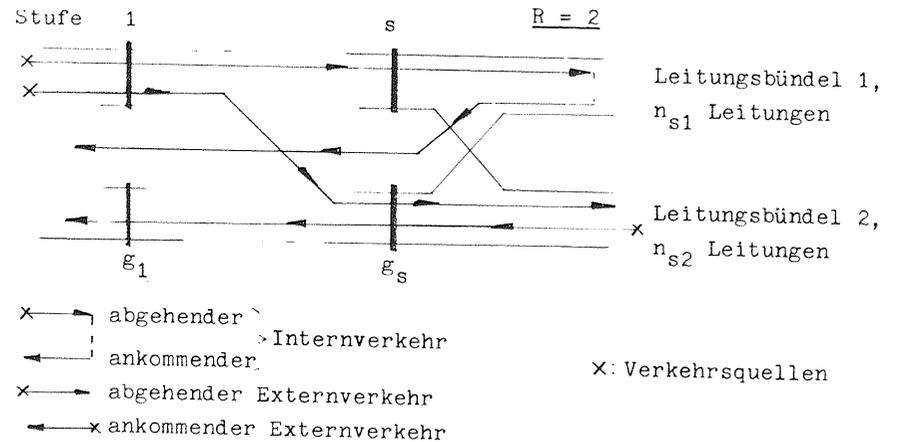


Bild 22: s-stufiges Linksystm mit Betriebsart 5.

Das Linksystem hat zwei Leitungsbündel.

Der Internverkehr wird auf dem Leitungsbündel 1 geführt, d.h. jede Internverbindung belegt auf diesem Leitungsbündel gleichzeitig zwei beliebige freie Leitungen (kommend und gehend).

Der abgehende und ankommende Externverkehr wird auf dem Leitungsbündel 2 geführt. Hierbei kann bei der Wegesuche von jedem abgehenden bzw. ankommenden Externruf jede der  $n_{s2}$  Leitungen des Bündels 2 auf frei oder belegt geprüft werden.

Linksysteme mit Betriebsart 5 können entsprechend wie Linksysteme mit Betriebsart 3 oder 4 z.B. in modernen Nebenstellenanlagen eingesetzt werden.

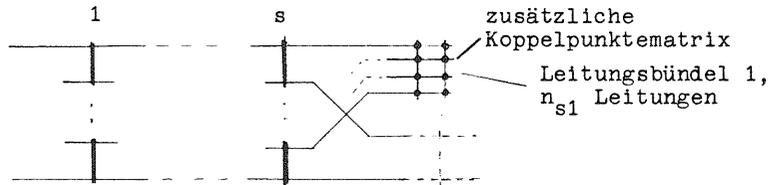


Bild 23: s-stufiges Linksystem mit Betriebsart 5 in einer Nebenstellenanlage.

Der abgehende und ankommende Teil einer Internverbindung kann bei Betriebsart 5, wo eine Internverbindung zwei beliebige Leitungen desselben Leitungsbündels 1 belegen kann, über eine zusätzliche Koppelstufematrix mit vollkommener Erreichbarkeit, entsprechend zu Bild 23, verbunden werden. Diese Matrix hat dann  $n_{s1}n_{s1}/2$  Koppelstufen. (Im Gegensatz hierzu hat eine zusätzliche vollkommen erreichbare Koppelstufe bei Betriebsart 3 bzw. 4 und bei gleicher Leitungszahl (vgl. Bild 19, Abschnitt 7.2.1) nur  $n_{s1}n_{s1}/4$  Koppelstufen.)

Mit Hilfe dieser Koppelstufematrix kann im Leitungsbündel 1 jede der  $n_{s1}$  Leitungen mit jeder anderen dieser Leitungen verlustlos verbunden werden. Damit ist die im Näherungsverfahren enthaltene Voraussetzung der Bündelwahl sowohl für den abgehenden als auch den ankommenden Teil des Internverkehrs erfüllt.

Entsprechend wird auch der Externverkehr über eine zusätzliche verlustlose Koppelstufe geführt (vgl. Betriebsart 3 und 4, Abschnitt 7.2).

Ein solches Linksystem mit Betriebsart 5 könnte z.B. in kleinen Nebenstellenanlagen eingesetzt werden, da dort der Mehraufwand an Koppelstufen durch die zusätzliche Koppelstufematrix - gegenüber dem Koppelstufenaufwand bei Betriebsart 3 bzw. 4 - keine so große Rolle spielt, Betriebsart 5 aber vom verkehrstheoretischen Standpunkt aus, wegen des Bündelungsgewinns und der größeren Leitungsauswahl, vorteilhafter als Betriebsart 3 bzw. 4 ist.

Entsprechend wie bei Betriebsart 3 und 4 kann auch hier das eine Externbündel in zwei getrennte Bündel für den abgehenden und den ankommenden Externverkehr aufgeteilt werden. Da diese Aufteilung rechnerisch aber genauso behandelt wird wie bei Betriebsart 4, wird dieser Fall hier der Übersichtlichkeit halber weggelassen.

### 8.3 Die gegebenen Größen

Gegeben sind die Strukturparameter des Linksystems und die Belastungen der verschiedenen Verkehre:

- Internbelastung  $Y_i$  :  $Y_i$  ist die Belastung des Leitungsbündels 1.
- abgehende Externbelastung  $Y_{eg}$  :  $\left. \begin{array}{l} Y_{eg} \\ Y_{ek} \end{array} \right\} Y_{eg} + Y_{ek}$  ist die Belastung des Leitungsbündels 2.
- ankommende Externbelastung  $Y_{ek}$  :  $\left. \begin{array}{l} Y_{eg} \\ Y_{ek} \end{array} \right\} Y_{eg} + Y_{ek}$  ist die Belastung des Leitungsbündels 2.
- Gesamtbelastung :  $Y_{ges} = Y_i + Y_{eg} + Y_{ek}$

Ausgehend von diesen Belastungen können entsprechend zu Abschnitt 5.3 (Betriebsart 1) alle interessierenden Belastungen berechnet werden (vgl. Gl. (IV.1) bis (IV.10)).

### 8.4 Die gesuchten charakteristischen Verkehrsgrößen

Es gelten die Gleichungen von Betriebsart 1 nach Abschnitt 5.4, wobei die Bündelblockierungen  $[m]_{ig}$ ,  $[m]_{ik}$ ,  $[m]_{eg}$  und  $[m]_{ek}$  entsprechend dem Leitungsbündel, auf dem der jeweilige Verkehr geführt wird, berechnet werden. D.h.  $[m]_{ig}$  und  $[m]_{ik}$  bei Betriebsart 1 werden bei der Betriebsart 5 ersetzt durch  $[m_1]_{ig}$  und  $[m_1]_{ik}$ . Der Index der mittleren Prüfbarkeit gibt wieder das Leitungsbündel an, auf das sich die Berechnung der mittleren Prüfbarkeit bezieht (vgl. Kapitel III.2.2.2).

Entsprechend wird  $[m]_{eg}$  und  $[m]_{ek}$  ersetzt durch  $[m_2]_{eg}$  und  $[m_2]_{ek}$ , da der abgehende und ankommende Externverkehr auf dem Leitungsbündel 2 geführt wird.

Damit können die charakteristischen Größen entsprechend zu Betriebsart 1 berechnet werden (Abschnitt 5.4, Gl.(IV.11) bis (IV.38)).

### 8.5 Zufallsverkehr 1. Art

#### 8.5.1 Allgemeines

Der Unterschied zwischen Betriebsart 3 bzw. 4 und Betriebsart 5 wirkt sich im Rechenverfahren nur auf die Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverteilung auf dem Leitungsbündel 1 und damit auf die Berechnung der internen Bündelblockierungen aus. Es wird deshalb hier nur die Berechnung dieser Wahrscheinlichkeitsverteilung auf dem Leitungsbündel 1 und die Berechnung der internen Bündelblockierungen hergeleitet.

Die Berechnung der externen Bündelblockierungen erfolgt nach Abschnitt 7.5, wobei hier bei der Betriebsart 5 das Leitungsbündel 2 dem Leitungsbündel 3 bei der Betriebsart 3 entspricht.

Die Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverteilung  $w(x)$  auf den  $k_1$  Zwischenleitungen und die daraus resultierenden Verlustwahrscheinlichkeiten infolge von Blockierung des Ursprungs- bzw. Zielkoppelvielfachs erfolgt nach Abschnitt 5.5.4 und 5.5.5.

Ebenso erfolgt die Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverteilung  $p_y(x)$  und die Berechnung der Zwischenblockierungen nach Abschnitt 5.5.6 und 5.5.7.

### 8.5.2 Die Wahrscheinlichkeitsverteilung $p_1(x)$ auf dem Leitungsbündel 1

Wie bereits in Abschnitt 8.2 dargestellt wird auf dem Leitungsbündel 1 nur Internverkehr geführt. Damit ergibt sich die Rekursionsformel zur Berechnung von  $p_1(x)$ :

$$p_1(x+2) = \frac{2 \cdot i^A_{os}}{x+2} p_1(x) \quad (IV.180)$$

mit der Randbedingung:  $\sum_{x=0}^{n_{s1}} p_1(x) = 1$

Die Belastung auf dem Leitungsbündel 1 ist  $Y_1$ , es gilt die Beziehung (vgl. Gl.(IV.41)):

$$Y_1 = 2 \cdot i^A_{os} \cdot (1 - p_1(n_{s1}) - p_1(n_{s1}-1)) \quad (IV.181)$$

Der Anfangswert  $i^A_{oso}$  ist:  $i^A_{oso} = \frac{Y_1}{2} \quad (IV.182)$

Mit den Beziehungen nach Gl.(IV.180) bis (IV.182) werden iterativ die  $p_1(x)$  berechnet (vgl. Abschnitt 5.5.2).

#### 8.5.3 Die internen Bündelblockierungen

Entsprechend zu Gl.(IV.46) gilt für die Bündelblockierung intern abgehend:

$$[m_1]_{ig} = \sum_{x=m_1}^{n_{s1}} p_1(x) \cdot \sigma_1(x) \quad (IV.183)$$

und entsprechend zu Gl.(IV.47) gilt für die Bündelblockierung intern ankommend:

$$[m_1]_{ik} = \sum_{x=m_1-1}^{n_{s1}-1} p_1(x) \mu_1(x) \cdot \sigma_1(x+1) \quad (IV.184)$$

## 8.6 Zufallsverkehr 2. Art

### 8.6.1 Allgemeines

Auch bei Zufallsverkehr 2. Art wirkt sich der Unterschied zwischen Betriebsart 3 bzw. 4 und Betriebsart 5 nur in der Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverteilung  $p_1(x)$  aus. Die Berechnung der internen Bündelblockierungen erfolgt nach Abschnitt 8.5.3.

Die externen Bündelblockierungen werden entsprechend zu Abschnitt 7.6 berechnet.

Auf die Darstellung der Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverteilung  $w(x)$  auf den  $k_1$  Zwischenleitungen, der Verlustwahrscheinlichkeiten infolge von Blockierung des Ursprungs- bzw. Zielkopplervielfachs, der Wahrscheinlichkeitsverteilung  $p_y(x)$  und der Zwischenblockierungen wird verzichtet; diese Berechnung wurde in den Abschnitten 5.6.5 bis 5.6.9 gezeigt.

### 8.6.2 Die Wahrscheinlichkeitsverteilung $p_1(x)$ auf dem Leitungsbündel 1

Der Erwartungswert  $Q_1$  der Quellenzahl, die auf das Leitungsbündel 1 wirkt, berechnet sich nach Gl.(IV.157) es gilt:

$$Q_1 = Q - (Y_{eg} + Y_{ek}) = Q - Y_e$$

Das Leitungsbündel 1 führt nur Internverkehr, es gilt (vgl. Gl. (IV.82)):

$$p_1(x+2) = i_{os}^{\alpha} \frac{Q_1-x}{x+2} \cdot 2 \cdot p_1(x) \frac{Q_1-(x+1)}{Q} \quad (IV.185)$$

mit der Randbedingung: 
$$\sum_{x=0}^{n_{s1}} p_1(x) = 1$$

Hierbei ist:

$i_{os}^{\alpha}(Q_1-x)$  : die fiktive Anrufrate im Zustand  $\{x\}$ ,

$\frac{Q_1-(x+1)}{Q}$  : die Wahrscheinlichkeit, daß der gerufene Teilnehmer (einer aus  $Q$  Teilnehmern), bei Einfall eines Internrufes im Zustand  $\{x\}$  frei ist.

Für die Belastung des Leitungsbündels 1 gilt:

$$\left. \begin{aligned} Y_i &= 2 \cdot i_{os}^{\alpha} \cdot (1 - i_b^s) \\ \text{mit } i_{os}^{\alpha} &= i_{os}^{\alpha} \sum_{x=0}^{n_{s1}} (Q_1-x) p_1(x) \frac{Q_1-(x+1)}{Q} \end{aligned} \right\} \quad (IV.186)$$

Die interne Verlustwahrscheinlichkeit  $i_b^s$  des vollkommen erreichbaren Bündels ergibt sich zu (vgl. Gl.(IV.86)):

$$i_b^s = \frac{(Q_1-n_{s1})p_1(n_{s1})(Q_1-(n_{s1}+1)) + (Q_1-(n_{s1}-1))p_1(n_{s1}-1)(Q_1-n_{s1})}{\sum_{x=0}^{n_{s1}} (Q_1-x)p_1(x)(Q_1-(x+1))} \quad (IV.187)$$

Damit kann mit Gl.(IV.185) bis (IV.187)  $p_1(x)$  iterativ bestimmt werden.

## 8.7 Ergebnisse

In Diagramm 19 bis 22 werden für Betriebsart 5 die mit dem Näherungsverfahren ermittelten Ergebnisse Simulationsergebnissen gegenübergestellt.

Die Ergebnisse des Näherungsverfahrens sind mit einer durchgezogenen Linie gezeichnet. Die Simulationsergebnisse sind mit ihrem Vertrauensintervall und einer statistischen Aussagesicherheit von 95% durch  $\bar{I}$  dargestellt.

Es werden Ergebnisse für 2-, 3- und 4-stufige Linksysteme und Zufallsverkehr 1.Art bzw. 2.Art gezeigt.

Auch hier zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung der Ergebnisse des Näherungsverfahrens mit den Simulationsergebnissen.

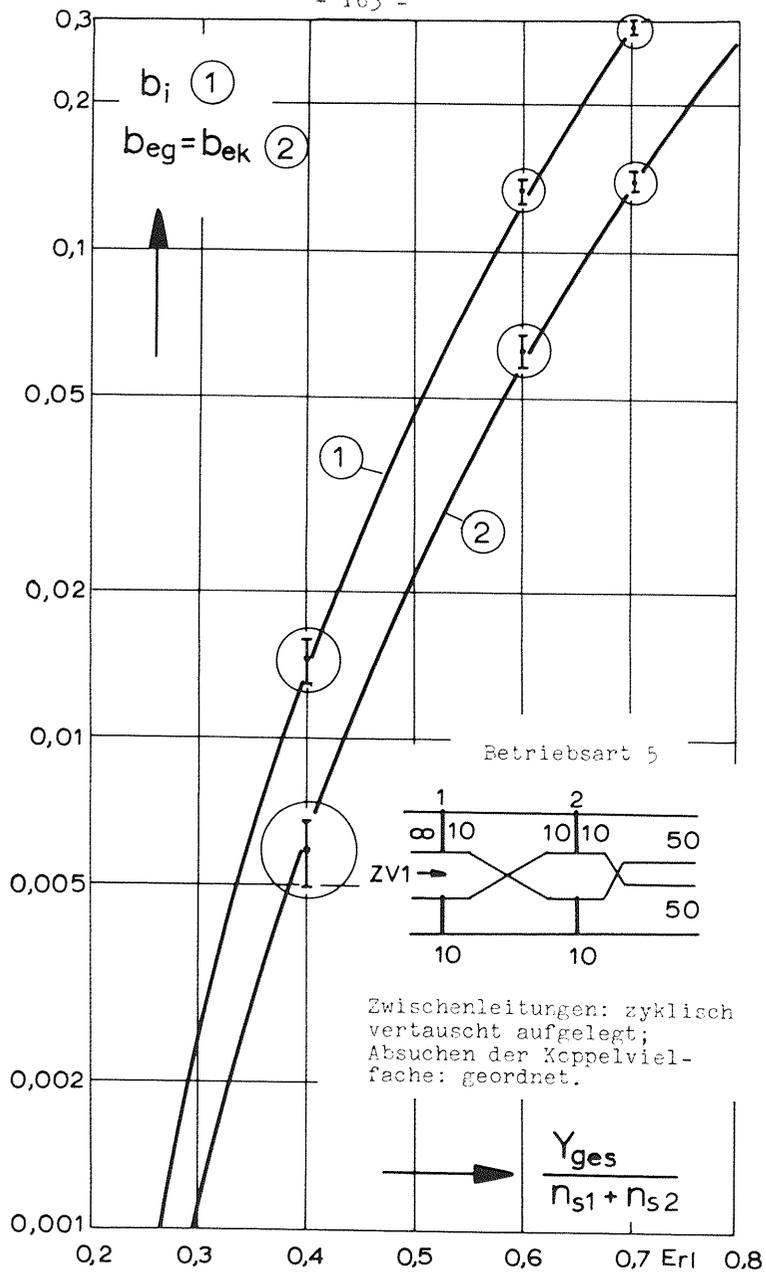


Diagramm 19: (1):  $b_i = f(Y_{ges}/(n_{s1}+n_{s2}), d_{ges} = 0,5)$   
 (2):  $b_{eg}=b_{ek}=f(Y_{ges}/(n_{s1}+n_{s2}), d_{ges}=0,5)$  } für ZV 1  
 ( $Y_i/n_{s1} = Y_e/n_{s2} = Y_{ges}/(n_{s1}+n_{s2})$ )

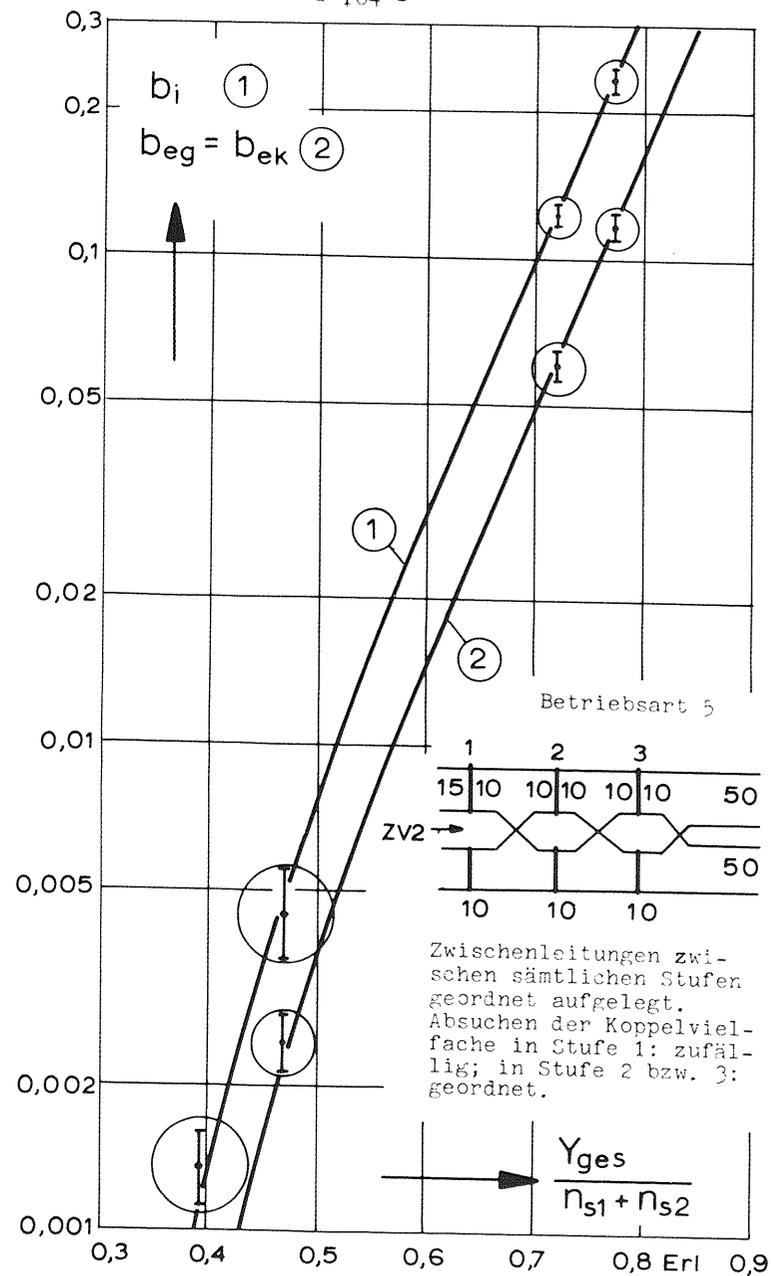


Diagramm 20: (1):  $b_i = f(Y_{ges}/(n_{s1}+n_{s2}), d_{ges} = 0,5)$   
 (2):  $b_{eg}=b_{ek}=f(Y_{ges}/(n_{s1}+n_{s2}), d_{ges}=0,5)$  } für ZV 2 und  
 Wegesuchalgorithmus 1  
 ( $Y_i/n_{s1} = Y_e/n_{s2} = Y_{ges}/(n_{s1}+n_{s2})$ )

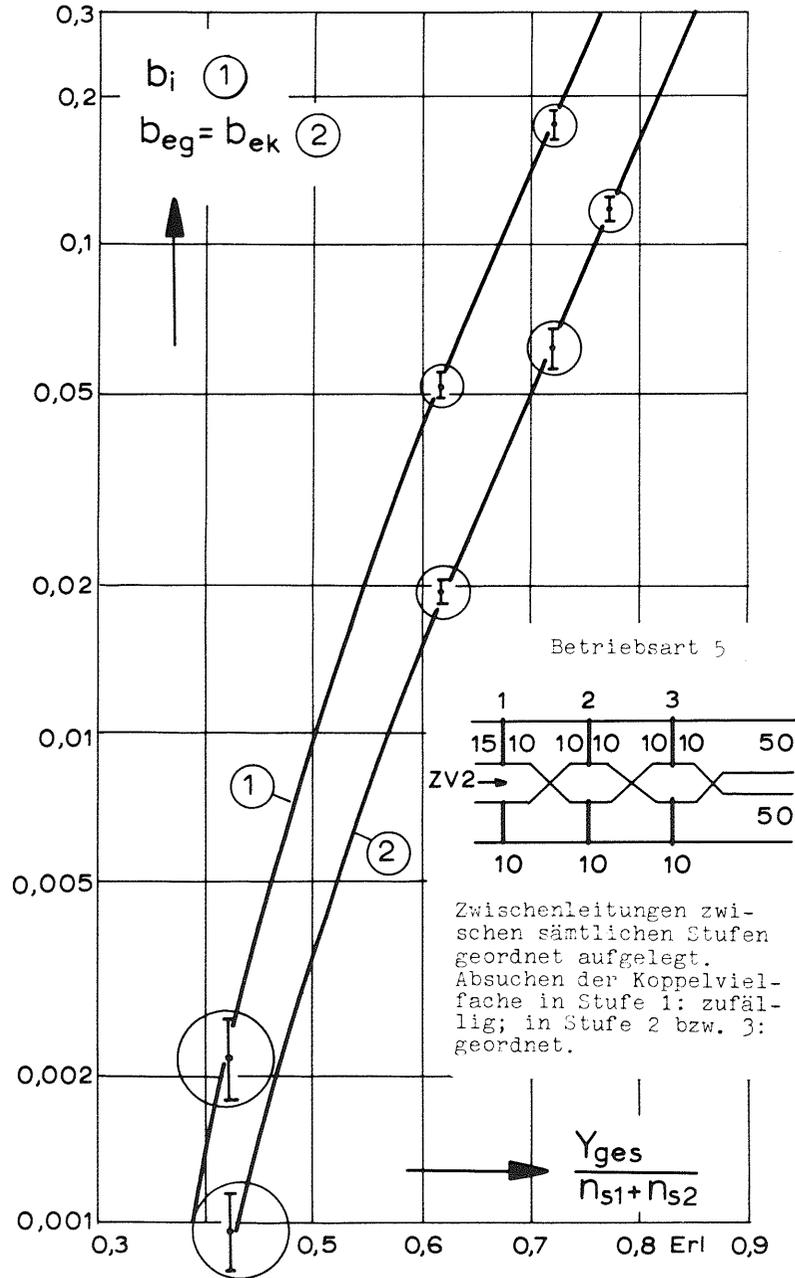


Diagramm 21: (1):  $b_i = f(Y_{ges}/(n_{s1}+n_{s2}), d_{ges} = 0,5)$  } für ZV 2 und  
 (2):  $b_{eg}=b_{ek}=f(Y_{ges}/(n_{s1}+n_{s2}), d_{ges}=0,5)$  } Wegesuchalgor-  
 rithmus 2  
 $(Y_i/n_{s1} = Y_e/n_{s2} = Y_{ges}/(n_{s1}+n_{s2}))$

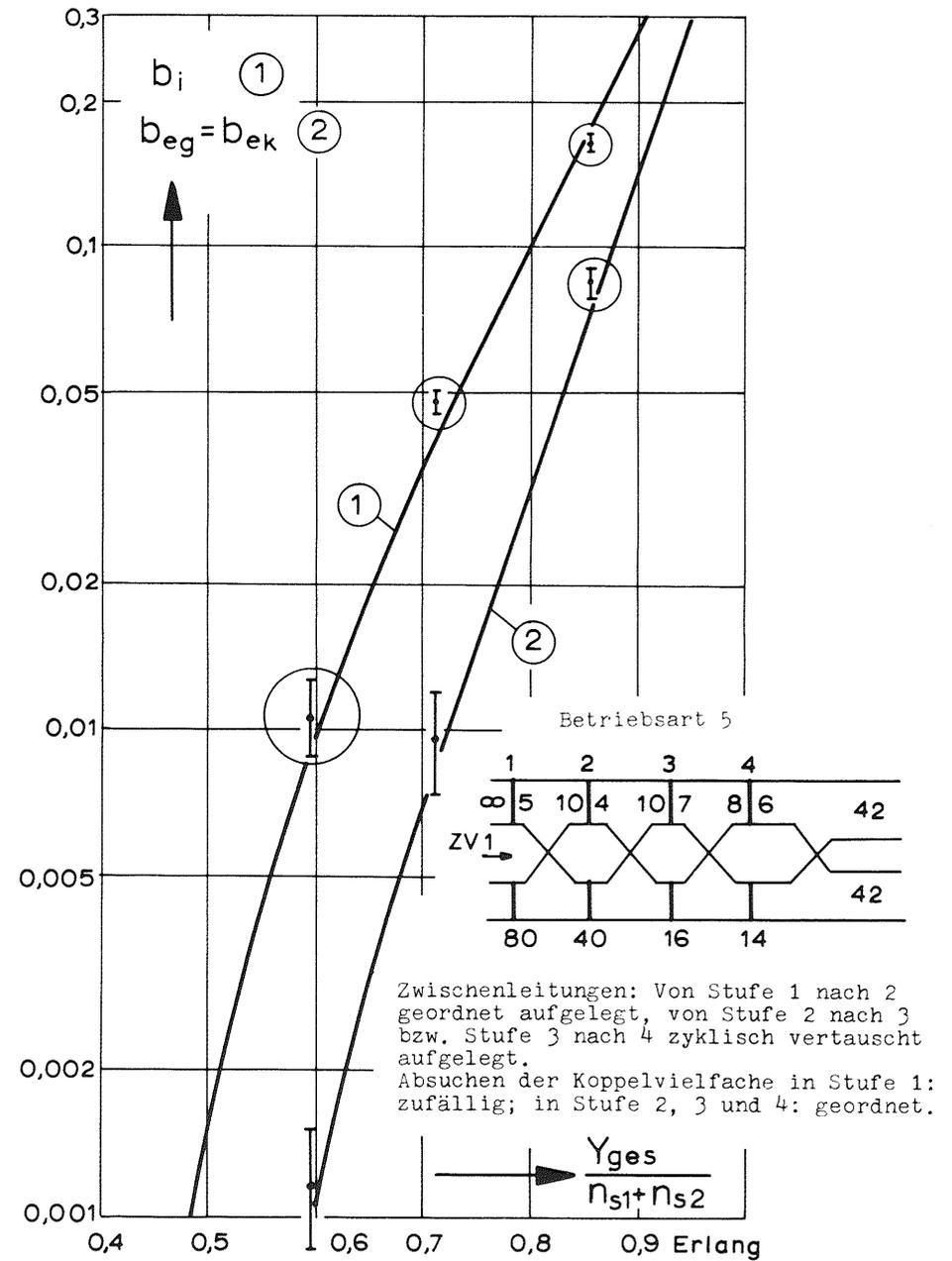


Diagramm 22: (1):  $b_i = f(Y_{ges}/(n_{s1}+n_{s2}), d_{ges} = 0,5)$  } für ZV 1  
 (2):  $b_{eg}=b_{ek}=f(Y_{ges}/(n_{s1}+n_{s2}), d_{ges}=0,5)$  }  
 $(Y_i/n_{s1} = Y_e/n_{s2} = Y_{ges}/(n_{s1}+n_{s2}))$

V. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit behandelt mehrstufige Linksysteme mit doppelt-gerichtetem Verkehr. Diese Linksysteme werden in vielen modernen öffentlichen und privaten Vermittlungssystemen eingesetzt.

Es wird, ausgehend von einem bekannten Näherungsverfahren für Linksysteme mit einfach-gerichtetem Verkehr, ein Näherungsverfahren für solche Linksysteme mit doppelt-gerichtetem Verkehr entwickelt.

Hierbei werden drei Verkehrstypen unterschieden:

- 1) Abgehender Externverkehr
- 2) Ankommender Externverkehr
- 3) Internverkehr

Das Näherungsverfahren berücksichtigt die Verkehrsführung im Linksystem, es werden dabei abhängig von dieser Verkehrsführung fünf Betriebsarten unterschieden.

Weiter gilt das Verfahren sowohl für angebotenen Zufallsverkehr 1. Art als auch für angebotenen Zufallsverkehr 2. Art. Bei Zufallsverkehr 2. Art werden zwei verschiedenen Wegesuchalgorithmen betrachtet.

Das Näherungsverfahren erlaubt die Berechnung der charakteristischen Verkehrsgrößen, wie Verlustwahrscheinlichkeit, Angebot u.s.w., für die verschiedenen Verkehrstypen, ausgehend von der Struktur des Linksystems, der Betriebsart, der Art des angebotenen Verkehrs, dem Wegesuchalgorithmus (bei Zufallsverkehr 2. Art) und den Belastungen der 3 Verkehrstypen.

Es werden Beispiele für die 5 Betriebsarten gebracht, Zahlreiche Tests mit künstlich erzeugtem Fernsprechverkehr zeigen die gute Übereinstimmung von Simulations- und Rechenergebnissen.

ANHANG: Die Verlustwahrscheinlichkeit des abgehenden bzw. ankommenden Externverkehrs

Es wird folgende Struktur betrachtet (Bild A1):

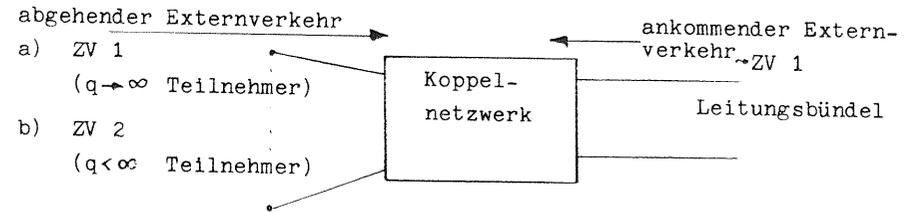


Bild A1: Ein Koppelnetzwerk mit abgehendem und ankommendem Externverkehr.

Ein abgehender Externruf wird von einem der q Teilnehmer (linke Seite des Koppelnetzwerkes in Bild A1) erzeugt und soll mit einer beliebigen, freien Leitung des rechtsseitigen Leitungsbündels (Bild A1) durch das Koppelnetzwerk hindurch verbunden werden. Hierbei kann für den Anrufprozess des abgehenden Externverkehrs angenommen werden:

- a) konstante Anrufrate ( $q \rightarrow \infty$ ; ZV 1) oder
- b) die Anrufrate ist vom momentanen Belegungszustand  $\{j\}$  des Koppelnetzwerkes abhängig ( $q < \infty$ ; ZV 2).

Unabhängig vom abgehenden Externverkehr wird für den ankommenden Externverkehr immer konstante Anrufrate (ZV 1) zugrunde gelegt (vgl. Kapitel IV.3.2). Jedoch tragen nur solche ankommenden Externrufe zum Angebot des ankommenden Externverkehrs bei, bei denen der gerufene Teilnehmer (einer aus q) frei ist. Die Wahrscheinlichkeit hierfür ist bei ZV 1 wegen  $q \rightarrow \infty$  gleich Null, sie ist aber bei ZV 2 im Zustand  $\{j\}$  des Koppelnetzwerkes:  $(q-j)/q$ .

Weiter gilt für den ankommenden Externverkehr, daß der Verbindungsaufbau entsprechend wie beim abgehenden Externverkehr vom gerufenen Teilnehmer auf der linken Seite zu einer beliebigen, freien Leitung auf der rechten Seite des Koppelnetzwerkes erfolgt (vgl. Kapitel IV.3.2).

1. ZV 1 für den abgehenden Externverkehr

1.1 Abgehender Externverkehr

Für die Wahrscheinlichkeit  ${}_{eg}P_1(\Delta t)$ , daß im infinitesimal kleinen Zeitintervall  $\Delta t$  genau 1 abgehender Externruf einfällt, gilt bei negativ exponentiell verteilten Anrufabständen ( ${}_{eg}a_m$ : mittlerer Anrufabstand für den abgehenden Externverkehr):

$${}_{eg}P_1(\Delta t) = 1 - e^{-\frac{\Delta t}{{}_{eg}a_m}} \quad (A.1)$$

Die Reihenentwicklung von  $1 - e^{-\frac{\Delta t}{{}_{eg}a_m}}$  ergibt (Glieder höherer Ordnung in  $\Delta t$  werden vernachlässigt):

$${}_{eg}P_1(\Delta t) = \frac{\Delta t}{{}_{eg}a_m} = {}_{eg}c_A \cdot \Delta t \quad (A.2)$$

${}_{eg}c_A = 1/{}_{eg}a_m$  ist die Anrufrate des abgehenden Externverkehrs.

1.2 Ankommender Externverkehr

Für die Wahrscheinlichkeit  ${}_{ek}P_1(\Delta t)$  gilt entsprechend:

$${}_{ek}P_1(\Delta t) = {}_{ek}c_A \cdot \Delta t \quad (A.3)$$

${}_{ek}c_A = 1/{}_{ek}a_m$  ist die Anrufrate des ankommenden Externverkehrs.

1.3 Die Verlustwahrscheinlichkeiten

Es wird allgemein angenommen, daß im Zustand  $\{\xi\}$  des Koppelnetzwerkes die Sperrwahrscheinlichkeit  $\mathcal{G}(\xi)$  ist. Damit wird die Verlustwahrscheinlichkeit für den abgehenden Externverkehr:

$$b_{eg} = \frac{{}_{eg}c_A \sum_{\xi} p(\xi) \cdot \mathcal{G}(\xi)}{{}_{eg}c_A} = \sum_{\xi} p(\xi) \mathcal{G}(\xi) \quad (A.4)$$

Entsprechend gilt für den ankommenden Externverkehr:

$$b_{ek} = \frac{{}_{ek}c_A \sum_{\xi} p(\xi) \mathcal{G}(\xi)}{{}_{ek}c_A} = b_{eg} \quad (A.5)$$

Wird für den abgehenden Externverkehr ZV 1 zugrunde gelegt (und ZV 1 für den ankommenden Externverkehr) dann gilt:

$$b_{eg} = b_{ek}.$$

2. ZV 2 für den abgehenden Externverkehr

2.1 Abgehender Externverkehr

Mit der Anrufrate  $\alpha_{eg}$  je freie Quelle für den abgehenden Externverkehr wird analog zu Abschnitt 1.1 die Wahrscheinlichkeit  $P_1^1(\Delta t)$ , daß im infinitesimal kleinen Zeitintervall  $\Delta t$  von einer freien Quelle gerade ein Ruf eintrifft:

$$P_1^1(\Delta t) = \alpha_{eg} \cdot \Delta t \quad (A.6)$$

Bei insgesamt  $q$  Quellen gilt im Zustand  $\{\xi\}$  ( $(q-\xi)$  Quellen sind frei):

$$P_0^{q-\xi}(\Delta t) = (1 - \alpha_{eg} \Delta t)^{q-\xi} \quad (A.7)$$

$P_0^{q-\xi}(\Delta t)$  ist die Wahrscheinlichkeit, daß im infinitesimal kleinen Zeitintervall  $\Delta t$  kein Ruf einfällt.

Mit  $(1+z)^u = 1 + \binom{u}{1} \cdot z + \binom{u}{2} \cdot z^2 + \dots$  ergibt sich aus Gl.(A.7) (Glieder höherer Ordnung in  $\Delta t$  werden vernachlässigt):

$$P_0^{q-\xi}(\Delta t) = 1 - (q-\xi) \alpha_{eg} \Delta t$$

und damit

$$P_1^{q-\xi}(\Delta t) = 1 - P_0^{q-\xi}(\Delta t) = (q-\xi) \alpha_{eg} \Delta t \quad (A.8)$$

2.2 Ankommender Externverkehr

Unabhängig vom Zustand  $\{\xi\}$  des Koppelnetzwerkes gilt (vgl. Gl.(A.3)):

$${}_{ek}P_1(\Delta t) = {}_{ek}c_A \cdot \Delta t$$

Da aber für das System nur die Rufe zählen, bei denen der gerufene Teilnehmer frei ist, gilt:

$${}_{ek}P_1^{q-\xi}(\Delta t) = {}_{ek}P_1(\Delta t) \frac{q-\xi}{q} = \frac{{}_{ek}c_A}{q} (q-\xi) \Delta t \quad (A.9)$$

Gl.(A.9) ist also formal gleich wie Gl.(A.8).

### 2.3 Die Verlustwahrscheinlichkeiten

Bei ZV 2 gilt allgemein (abgehender Externverkehr):

$$b_{eg} = \frac{\alpha_{eg} \sum_{\xi} (q-\xi)p(\xi)G(\xi)}{\sum_{\xi} (q-\xi)p(\xi)} = \frac{\sum_{\xi} (q-\xi)p(\xi)G(\xi)}{q - Y} \quad (A.10)$$

Für den ankommenden Externverkehr gilt:

$$b_{ek} = \frac{ek^c_A \sum_{\xi} p(\xi)G(\xi) \frac{q-\xi}{q}}{ek^c_A \sum_{\xi} p(\xi) \frac{q-\xi}{q}} = \frac{\sum_{\xi} (q-\xi)p(\xi)G(\xi)}{q - Y} \quad (A.11)$$

D.h. auch bei ZV 2 sind die Verlustwahrscheinlichkeiten der beiden Externverkehre identisch.

Nur in den Fällen, wo abgehender und ankommender Externverkehr auf verschiedenen Bündeln geführt wird (vgl. Betriebsart 4, Kapitel IV.7) ist im allgemeinen  $b_{eg} \neq b_{ek}$  (Bild A2).

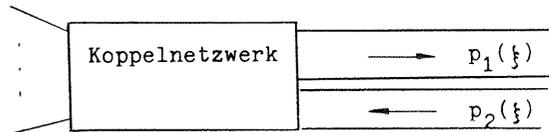


Bild A2: Koppelnetzwerk mit getrennten Bündeln für abgehenden und ankommenden Externverkehr.

In diesem Fall ist zwar der Rechenalgorithmus für beide Verkehrstypen gleich (vgl. Gl.(A.10) und (A.11)), aber die Zustandswahrscheinlichkeiten sind im allgemeinen verschieden:  $p_1(\xi) \neq p_2(\xi)$  (im allgemeinen ist auch  $G_1(\xi) \neq G_2(\xi)$ ).

