

# **Die Bemessung der Pufferzeiten im Fahrplangefüge der Eisenbahn**

## **A N L A G E N**

Von der  
Fakultät für Bauwesen  
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule  
Aachen

zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktor-Ingenieurs genehmigte Dissertation

Vorgelegt von  
Diplom-Ingenieur Wulf Schwanhäüßer  
aus München

Referent: Professor Dr.-Ing. Hermann Nebelung  
Korreferent: Professor Dr.-Ing G.Steierwald  
Tag der mündlichen Prüfung 11. Juli 1974

2. überarbeitete Auflage 2015

Die Originalfassung erschien gleichzeitig in:

Veröffentlichungen des Verkehrswissenschaftlichen Instituts der  
Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen  
Herausgeber: o.Prof. Dr.- Ing. H. Nebelung  
Heft 20, 1974

Da die erste Auflage dieser Dissertation vergriffen ist, wurde im Jahr 2015 mit Unterstützung von Dr.-Ing. Kurt Schultze eine 2. Auflage hergestellt. Bei unverändertem wissenschaftlichem Gehalt enthält die zweite Auflage einzelne formale Korrekturen und ergänzende Erläuterungen. In ihr wurde die neue deutsche Rechtschreibung berücksichtigt. Neben den formalen Anpassungen können Abweichungen durch Übertragungsfehler trotz sorgfältiger Kontrolle nicht ausgeschlossen werden.

Die Dissertation ist die bedienungstheoretische Grundlage für das Verfahren zur Ermittlung des Leistungsverhaltens von Eisenbahnstrecken, SLS.

© Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wulf Schwanhäußer

## Die Häufigkeitsverteilung der Urverspätungen

Über jede Zugfahrt (mit unwesentlichen Ausnahmen) wird ein Fahrtbericht geführt. Dieser enthält unter anderem auch Größen und Ursachen von Verspätungen. Aus den Fahrtberichten der Bundesbahndirektion Regensburg von 4.4.1967 bis zum 7.4.1967 wurden alle 1103 Fälle von Urverspätung ermittelt und in Größenklassen geordnet. Bei der Festlegung der Klassengrenzen war zu berücksichtigen, dass die Uhren bei den Eisenbahnen im Allgemeinen nur volle Minuten anzeigen. Verspätungen  $p < 1,0$  [min] können dadurch kaum registriert werden. Die als  $p = 1$  [min] registrierten Verspätungen umfassen  $1,0 < p < 2,0$  [min] und entsprechen einem Klassenmittel von  $p_i = 1,5$  [min].

Bei den weiteren Untersuchungen wird der Einfluss dieses bei den Eisenbahnen verwendeten Zeitmessverfahrens auf die Klassengrenzen und damit auf die Klassenmittelwerte vernachlässigt. Durch diese Unschärfe können die bestehenden Verspätungsstatistiken unverändert übernommen werden. Da sowohl Einbruchs- als auch Folgeverspätungen auf diese Weise gemessen werden, wird der Messfehler für die Bemessung der Pufferzeiten wirkungslos. Obwohl in Wirklichkeit eine Einbruchsverspätung von 7,9 Minuten bei 5,0 Minuten Pufferzeit eine Folgeverspätung von 2,9 Minuten verursacht, können nur eine Einbruchsverspätung von 7 Minuten und eine Folgeverspätung von 2 Minuten gemessen werden. Die für die Bemessung der Pufferzeiten wesentliche Differenz von 5 Minuten bleibt dadurch jedoch unberührt.

Die relativen Häufigkeiten  $\varphi_i/b_k$  der Urverspätungen (Blatt 2) nehmen mit zunehmender Größe der Urverspätungen ab. Es ist daher zu vermuten, dass die Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten von Urverspätungen der Größe  $p$  negativ-exponential verteilt sind, auch weil Verspätungen als voneinander unabhängige Ereignisse die Voraussetzungen für Poisson-Verteilungen erfüllen. Für den Spezialfall der Erlang-Verteilung muss deren Parameter  $k = 1$  werden. Zur Ermittlung des Parameters  $k$  wurden auf Blatt 2 die Summen der Werte  $\varphi_i \cdot p_i$  und  $\varphi_i \cdot p_i^2$  gebildet.

Tabelle zur Berechnung von Mittelwert, Streuung und relativer Häufigkeit

$P_1$	$P_2$	$b_k$	$P_i$	$f_i$	$g_i$	$g_i \cdot P_i$	$g_i \cdot P_i^2$	$\frac{g_i}{b_k} [\%]$	$\sum_{i=1}^j g_i$
1	5	5	3,5	458	0,415231	1,453309	5,086582	8,304620	0,415231
6	10	5	8,5	192	0,174071	1,479604	12,576634	3,481420	0,589302
11	15	5	13,5	128	0,116047	1,566635	21,149573	2,320940	0,705349
16	20	5	18,5	88	0,079782	1,475967	27,305390	1,595640	0,785131
21	25	5	23,5	73	0,066183	1,555301	36,549574	1,323660	0,851314
26	30	5	28,5	57	0,051677	1,472795	41,974658	1,033540	0,902992
31	40	10	36,0	38	0,034451	1,240236	44,648496	0,344510	0,937442
41	50	10	46,0	27	0,024479	1,126034	51,797564	0,244790	0,961921
51	60	10	56,0	17	0,015413	0,363128	48,335168	0,154130	0,977334
61	70	10	66,0	11	0,009973	0,638218	43,442388	0,099730	0,987307
71	80	10	76,0	6	0,005440	0,413440	31,421440	0,054400	0,992747
81	90	10	86,0	4	0,003626	0,311836	26,817896	0,036360	0,996373
91	120	30	106,0	3	0,002720	0,288320	30,561920	0,009067	0,999093
121	150	30	136,0	1	0,000907	0,123352	16,775872	0,003023	1,000000
			$\sum$	1103	1,000000	14,028175	438,443155		

$\chi^2$  - Test für die Häufigkeitsverteilung der Urverspätungen

$p_1$	$2p_1\frac{\xi}{p_m}$	$e^{-2p_1\frac{\xi}{p_m}}$	$\frac{2p_1(1-\xi)}{p_m}$	$\frac{e^{-2p_1(1-\xi)}}{p_m}$	$f_i$	$h_i$	$f_i \cdot h_i$	$\frac{(f_i - h_i)^2}{h_i}$	$\frac{100 \cdot h_i}{N \cdot p_k}$	$\sum_{i=1}^j \frac{h_i}{N}$
0	0	1	0	1	458	408,914	+49,08	5,892298	6,179	37,074
6	0,291	0,747520	0,565	0,568360	192	215,414	-23,414	2,544860	3,906	56,604
11	0,533	0,586840	1,035	0,355230	128	144,452	-16,452	1,873732	2,619	69,699
16	0,776	0,460240	1,505	0,222020	88	97,810	- 9,810	0,983949	1,773	78,564
21	1,018	0,361320	1,976	0,136620	73	67,325	+ 5,675	0,478432	1,221	84,669
26	1,261	0,283370	2,45	0,086294	57	46,399	-10,601	2,421910	0,841	88,874
31	1,503	0,222460	2,92	0,053934	38	55,985	-17,985	5,777750	0,508	93,954
41	1,988	0,136970	3,86	0,021068	27	28,889	- 1,889	0,123543	0,262	96,574
51	2,47	0,084585	4,80	0,008230	17	15,938	+ 1,062	0,070742	0,144	98,014
61	2,96	0,051819	5,74	0,003215	11	8,834	+ 2,166	0,530944	0,080	98,814
71	3,44	0,032065	6,68	0,001256	6	5,215	+ 0,795	0,118226	0,047	99,284
81	3,93	0,019644	7,62	0,000491	4	3,026	+ 0,974	0,313478	0,027	99,554
91	4,41	0,012155	8,56	0,000192	3	3,631	- 0,631	0,109749	0,011	99,884
121	5,87	0,002823	11,38	0,000011	1	1,067	- 0,067	0,004161	0,003	99,974
$\infty$	$\infty$	0	$\infty$	0	0					

$\chi^2 = 21,243774$

noch Anlage 3.1  
Blatt 4

Daraus ergab sich als Mittelwert die mittlere Urverspätung

$$p_m = \sum_{i=1}^{n+1} \varphi_i \cdot p_i$$

$$p_m = 14,028175 \text{ [min]} \text{ oder rund } p_m = 14 \text{ Minuten}$$

Die Streuung beträgt nach [11](Abschnitt 8.2.)

$$s_p^2 = \sum_{i=1}^{n+1} \varphi_i p_i^2 - p_m^2$$

$$s_p^2 = 438,443155 - 14,028175^2$$

$$s_p^2 = 241,653461$$

Die mittlere quadratische Abweichung ist dann

$$s_p = 15,545$$

Der Parameter  $k$  der Erlang-Verteilung kann über das Verhältnis

$\frac{p_m^2}{s_p^2}$  geschätzt werden. Damit wird

$$k = \frac{p_m^2}{s_m^2} = \frac{14,028175^2}{241,653461}$$

$$k = 0,814347 \hat{=} 1$$

Da sich auch die mittlere quadratische Abweichung und der Mittelwert  $p$ , nur wenig voneinander unterscheiden, ist die Hypothese, dass es sich um eine negative Exponentialverteilung handelt, zulässig.

Wenn  $s_p > p_m$  ist, wird eine solche Verteilung als überzufällig bezeichnet. Sie hat nach [11](Abschnitt 8.3.) die Form

$$A(a) = \zeta \cdot e^{-2\zeta \cdot a} + (1 - \zeta) \cdot e^{-2(1-\zeta)a}$$

wobei

$$\zeta = \frac{\left[ 1 - \sqrt{\binom{j_k - 1}{j_k + 1}} \right]}{2}$$

und hier wiederum

$$j_k = \left( \frac{s_p}{p_m} \right)^2$$

bedeuten. Für  $j$  ergibt sich  $j_k = 1,227978$ . Dadurch wird der Parameter  $\zeta = 0,34005$ , also rund  $\zeta = 0,34$ .

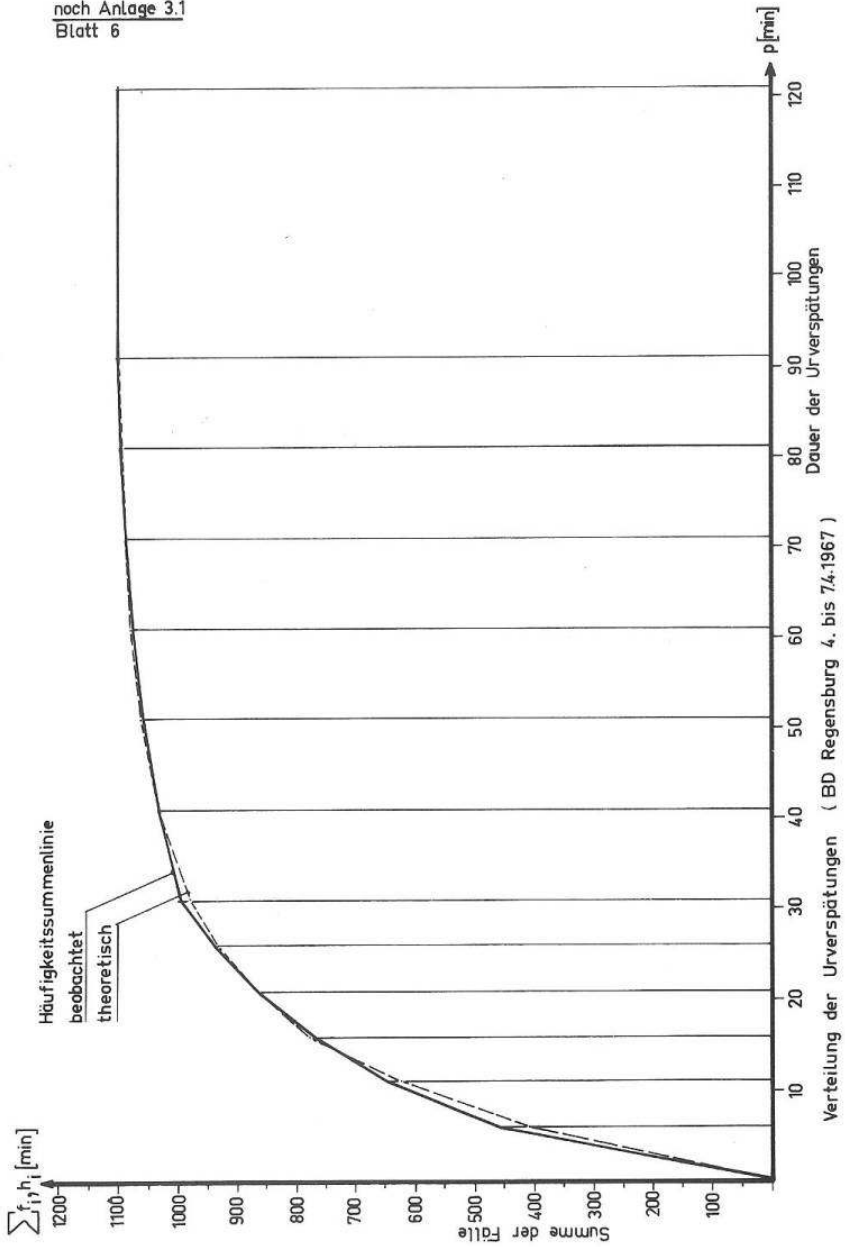
Die theoretischen Häufigkeiten  $h_i$  in den Verspätungsklassen ergeben sich aus den Differenzen der Verteilungsfunktion  $A(a)$ . Dabei ist für  $a = p/p_m$  zu setzen. Für  $p$  sind die Klassengrenzen  $p_1$  und  $p_2$  einzusetzen.

$$h_i = N \left[ e^{-p_1 \cdot 2\zeta / p_m} + (1 - \zeta) \cdot e^{-p_1(1-\zeta)2 / p_m} - e^{-p_2 \cdot 2\zeta / p_m} - (1 - \zeta) \cdot e^{-p_2(1-\zeta)2 / p_m} \right]$$

Setzt man hier für  $N = 1103$ , für  $p_m = 14,03$  und für  $\zeta = 0,34$  ein, so erhält man

$$h_i = 375 \cdot (e^{-0,048482 \cdot p_1} - e^{-0,048482 \cdot p_2}) + 728 \cdot (e^{-0,094089 \cdot p_1} - e^{-0,094089 \cdot p_2})$$

Diese theoretischen Häufigkeiten wurden mit den beobachteten Häufigkeiten  $f_j$  mit Hilfe eines  $\chi^2$ -Tests verglichen. Dabei ergab sich für  $\chi^2 = 21,244$ .





Die Parameter Mittelwert und Streuung dieser Verteilungsfunktion sind über die beobachteten Werte  $s$  und  $p_m$  geschätzt. Bei  $M = 14$  Klassen ergibt sich ein Freiheitsgrad von  $n = 14 - 3 = 11$ . Die Tafelwerte von  $\chi^2$  betragen für eine statistische Sicherheit von  $S = 95\%$   $\chi^2_{0,05} = 19,675$  und für eine statistische Sicherheit von  $S = 99\%$   $\chi^2_{0,01} = 24,725$ .

Es ist demnach zweifelhaft, ob die beobachteten Abweichungen als zufällig betrachtet werden dürfen. Beim Vergleich zwischen  $f_i$  und  $h$ , fällt auf, dass sehr kleine Urverspätungen etwas zu häufig beobachtet werden konnten. Sie stammen zum weitaus überwiegenden Teil aus Überschreitungen der Aufenthaltszeit von Personenzügen infolge Ladens von Gepäck und Expressgut. Diese Verspätungsursache trat zu der betrachteten Zeit außergewöhnlich häufig auf und wurde bald darauf durch spezifische Bekämpfungsmaßnahmen entscheidend zurückgedrängt. Es ist daher eher anzunehmen, dass die übrigen Abweichungen zufällig entstanden sind, als dass sie einer anderen Verteilungsfunktion angehören.

Auswertung der Arbeitsblätter der Zugüberwachung Karlsruhe 2  
vom 3.10.1969 der Strecke Offenburg-Basel von Offenburg bis  
Gundelfingen (Freiburg)

Gat- tung	Zug Nr.	Frühest mögliche Abfahrt in Offen- burg	Tatsächliche Ab- fahrt in Offen- burg	Durchfahrt oder Ankunft in Gun- delfingen	Folgeverspätungen von Offenburg bis Gundelfingen	Folgeverspätungen von Offenburg bis Lahr	bis Gundelfingen aufgeholt (-) oder zugesetzt (+)	bis Lahr entstan- dene Urverspä- tungen	Die Folgeverspätung wurde übertragen durch die Züge Nr. Die Urverspätung hatte als Ursache Bemerkungen
Lz	12168	*	*	+ 5	*	*	+ 5	*	
De	5178	- 21	- 21	- 1	+ 20	*	*	*	168;3
D	168	+ 6	+ 6	+ 5	*	*	- 1	*	
F	3	*	+ 5	+ 6	+ 5	+ 5	+ 1	*	168
D	32664	*	+ 5	+ 8	+ 5	+ 5	+ 3	*	168
Dg	6240	- 2	- 2	- 3	*	*	- 1	*	
Gag	7978	+277	+277	+278	*	*	+ 1	*	Ausreißer §)
Ng	8102	- 10	- 10	- 17	*	*	- 7	*	
Dg	6224	+103	+103	+ 71	*	*	- 32	*	Wegfall Überh. -27
Dg	6230	+ 6	+ 6	+ 3	*	*	- 3	*	
Ng	8106	+ 5	+ 5	+ 6	*	*	+ 1	*	
Lz	54256	- 12	- 12	*	+ 5	*	+ 7	*	3028
Expr	3028	+ 40	+ 40	+ 40	*	*	*	*	
D	93	+ 5	+ 5	+ 4	*	*	- 1	*	
Lz	52724	*	+ 3	+ 3	+ 3	+ 3	*	*	93
Dg	6614	+ 20	+ 30	+ 20	+ 10	+ 10	- 20	*	93;52724, wgf. Übh. -7
N	2722	*	*	*	*	*	*	*	
Dg	6616	+ 31	+ 31	+ 70	+ 39	+ 8	*	*	208;50;5176;11932
D	208	*	*	*	*	*	*	*	
D	50	*	*	*	*	*	*	*	
De	5172	+ 47	+ 47	+ 76	+ 29	*	*	*	50;208
Lg	11932	+ 67	+ 59	+ 66	+ 7	*	*	*	5172
Üs	15410	*	+ 21	+ 17	+ 21	*	- 4	*	
Lz	12142	+ 6	+ 6	+ 6	*	*	*	*	
N	2726	*	*	+ 4	+ 4	+ 4	*	*	12142

§) Gag 7978 ist mit 277 min Einbruchsverspätung ein "Ausreißer";  
rechnet man ihn als Verspätungsfall mit  $p_m$  als Einbruchsver-  
spätung, dann zählt er zum Vortag. Er wird daher nicht mitgezählt.

noch Anlage 3.2

Blatt 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dg	6202	+ 80	+ 83	+ 75	+ 7	+ 3	- 15	*	2726 Wegf.Übh. -8
E	1844	*	*	+ 5	*	*	*	+ 5	Ausladen
Dg	6244	*	*	*	*	*	*	*	
Sg	5536	- 5	- 5	- 2	+ 3	*	*	*	1844
<b>Sk1</b>	17760	*	*	*	*	*	*	*	Kleinwagenfahrt £)
D	97	+ 7	+ 7	+ 2	*	*	- 5	*	
E	1848	*	*	*	*	*	*	*	
Dg	6204	+ 43	+ 43	+ 36	+ 5	*	- 12	*	2732 Wegf.Übh -9
N	2732	*	*	*	*	*	*	*	
Sg	5540	+ 32	+ 32	+ 35	+ 4	*	- 1	*	6204
Dg	6232	- 6	- 6	- 10	*	*	- 4	*	
E	1852	+ 4	+ 4	+ 3	*	*	- 1	*	
N	2736	*	*	*	*	*	*	*	
Dg	6206	+ 26	+ 26	+ 44	+ 20	*	- 2	*	94;476
D	94	+ 7	+ 7	+ 6	*	*	- 1	*	
D	476	+ 4	+ 4	+ 4	*	*	*	*	
Lg	11936	- 25	- 25	*	+ 25	+ 25	*	*	94
Ne	5246	- 14	- 14	- 3	+ 11	*	*	*	6618;8;5542
Dg	6618	+135	+135	+142	+ 7	*	*	*	
Lg	11940	*	+ 9	+ 41	+ 41	+ 16	*	*	8;6618;1778;5542
Sg	5542	+ 1	+ 3	+ 3	+ 2	+ 2	- 6	+ 6	La 94 nicht beachtet
F	8	+ 14	+ 14	+ 17	+ 3	*	*	*	5542
E	1778	*	+ 9	+ 10	+ 10	+ 9	*	*	8
N	2744	*	+ 6	+ 10	+ 6	+ 6	*	+ 4	1778;8 Fahrzeitüb.
De	5176	- 9	- 9	*	+ 9	*	*	*	2744
Dg	6234	- 9	- 9	- 6	+ 3	+ 9	*	*	5962 verlegte Überh.
Sg	5962	+ 18	+ 18	+ 17	+ 3	*	- 4	*	5176
D	670	+ 15	+ 15	+ 13	*	*	- 2	*	
<b>TEEM</b>	5548	- 7	- 7	- 3	*	*	+ 4	*	Fahrzeitüberschr.
N	2758	*	+ 5	+ 19	+ 5	+ 5	+ 14	+ 14	Signalstörung
De	5082	+ 15	+ 36	+ 54	+ 39	+ 19	*	*	2758;270
Dg	6208	+ 34	+ 36	+ 52	+ 18	+ 2	*	*	5550;270;7972;5082
Sg	5550	+ 4	+ 4	+ 2	+ 1	*	- 7	*	5082 u.gekürzte Übh.
D	270	+ 4	+ 4	+ 5	+ 1	*	*	*	2758
Gag	7972	+ 67	+ 78	+ 78	+ 11	+ 11	*	*	270
N	3577	*	*	*	*	*	*	*	

£) Sk1 17760 wirkt bei der Übertragung von Verspätungen nicht mit und wird daher nicht mitgezählt

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dg	6602	*	+ 25	+ 8	*	+ 25	- 22	+ 5	Signalst./verk.Übh.-17
TEE	10	+ 7	+ 10	+ 4	+ 8	+ 3	*	*	6602
TEE	78	+ 9	+ 10	+ 13	+ 6	+ 3	*	*	10
D	370	+ 41	+ 41	+ 43	+ 4	*	- 2	*	
De	5170	- 6	+ 11	+ 11	+ 17	+ 17	*	*	10;78;370
TEEM	5544	+ 3	+ 3	+ 4	+ 1	*	*	*	5170
Lz	52745	- 13	- 13	- 7	+ 6	*	*	*	5544
Sg	5882	- 47	- 47	- 21	+ 26	*	*	*	164
F	164	+ 2	+ 2	+ 2	*	*	*	*	
Lz	18512	- 27	- 27	- 15	+ 12	*	*	*	6602
D	184	+ 17	+ 17	+ 21	*	*	+ 4	*	Signalstörung
D	272	+ 13	+ 13	+ 19	+ 6	*	*	*	184
Lg	11946	- 3	- 3	- 15	*	*	- 12	*	Wegfall d.Überholg.-7
Dg	6212	+ 27	+ 27	+ 40	+ 13	*	*	*	Folgev.aus Gegenri.§)
Lz	51861	+ 12	+ 12	+ 16	+ 4	*	*	*	11946
N	2774	*	*	+ 5	+ 5	*	*	*	474
Dg	6604	- 24	- 24	- 7	+ 17	*	*	*	474;2274
D	474	+ 9	+ 9	+ 8	*	*	- 1	*	
N	2776	+ 5	+ 5	*	*	*	*	*	
TEEM	5538	+ 4	+ 4	*	+ 2	*	- 6	*	4518
Dg	6216	*	*	- 10	*	*	- 10	*	Wegfall d.Überholg.-8
E	1930	+ 8	+ 8	+ 8	+ 2	*	- 2	*	6216 verk.Fahrzeit
N	2782	*	*	*	*	*	*	*	
Dg	6236	+ 22	+ 31	+ 33	+ 9	+ 5	- 2	*	2782 verk.Fahrzeit
Us	15096	*	*	*	*	*	*	*	§)
Dg	6606	+ 4	+ 7	+ 5	*	*	- 2	*	Folgev.aus Gegenri.
Gag	7976	- 18	- 18	- 3	+ 15	*	*	*	
E	1934	+ 15	+ 15	+ 14	*	*	- 1	*	
TEE	76	+ 5	+ 5	+ 3	*	*	- 2	*	verkürzte Fahrzeit
D	266	+ 4	+ 5	+ 3	+ 2	+ 5	- 1	*	"
D	284	+ 10	+ 10	+ 8	*	*	- 2	*	"
N	2792	*	*	+ 1	+ 5	*	- 4	*	32524 "
D	32524	+ 11	+ 11	+ 6	*	*	- 4	*	"
Lz	13142	*	+ 7	*	+ 7	+ 7	- 7	*	32524 "
Dg	6218	+ 46	+ 46	+ 51	+ 5	*	*	*	32642
D	32642	*	*	*	*	*	*	*	
Dg	6238	*	*	+ 3	*	*	+ 3	+ 1	Fahrzeitüberschr.

§) Us 15096 Friesenheim-Lahr belegt nur den nicht maßgebenden Teil des Streckenabschnittes und wird daher nicht als Zugfahrt gezählt

§) Fahrstraßenausschluß in Offenburg, keine Folgev. der Strecke

noch Anlage 3.2

Blatt 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lg	11952	- 11	- 11	*	+ 11	*	*	*	1814
E	1814	+ 15	+ 15	+ 13	*	*	- 4	+ 2	Bauarbeiten verk.F
De	5074	- 2	- 2	- 4	*	*	- 2	*	verkürzte Fahrzeit
Sg	5532	- 18	- 18	- 13	+ 5	*	*	*	5074
Lz	13146	*	*	- 1	*	*	- 1	*	verkürzte Fahrzeit
Dg	6610	+ 27	+ 27	+ 26	*	*	- 1	*	" "
Lz	53793	*	*	*	*	*	*	*	
E	1940	+ 15	+ 15	+ 15	*	*	*	*	
D	976	+ 4	+ 4	+ 4	*	*	*	*	
$\sum P$		1146		1470	570	207	+ 42	35	davon -41 durch verk. od. wegf. Überholung
							-217		
							-175		
Fälle	104	54		68	56	24	50	7	

$\chi^2$  - Test zur Prüfung der Verteilungshypothese der Einbruchsverspätungen (Spalte 3)

$P_1$	$P_2$	$mp_2$	$e^{-mp_2}$	$h_p$	$f_p$	$\frac{(f_p - h_p)^2}{h_p}$
0	4,5	0,212	0,80896	10,3	11	0,047573
4,5	9,5	0,447	0,63954	9,1	13	1,671429
9,5	14,5	0,682	0,50560	7,2	6	0,200000
14,5	19,5	0,917	0,39972	5,7	6	0,015789
19,5	29,5	1,387	0,24982	8,1	4	2,075309
29,5	39,5	1,857	0,15335	5,2	3	0,930069
39,5	49,5	2,357	0,09633	3,1	5	1,164516
49,5	49,5	7,030	0,00088	5,2	5	0,007692
					53	6,113077

Überprüfung der Verteilungsfunktion der fiktiven Abfahrtsabstände der Züge am Beginn des Streckenabschnittes Offenburg-Lahr

Die fiktive Abfahrt eines Zuges ist nur dann gleich der tatsächlichen Abfahrt, wenn der Zug bei der Einfädelung in den Streckenabschnitt keine Folgeverspätungen erleidet, also unbehindert einfahren kann (eine unbesetzte Bedienungsstelle vorfindet). Ist der Streckenabschnitt zu diesem Zeitpunkt durch einen anderen Zug besetzt, so liegt der Zeitpunkt der tatsächlichen Abfahrt um die Folgeverspätung später als der der fiktiven Abfahrt. Die fiktiven Abfahrtszeiten enthalten Lagen vor Plan und Einbruchsverspätungen und stellen die Ankünfte der Einheiten an der Bedienungsstelle dar. Die Züge N 2722, N 2732 und Us 15096 beginnen nicht am Beginn des Streckenabschnittes und liefern dadurch keine fiktiven Abfahrtszeiten. Gag 7978 wird wieder als Ausreißer ausgeschieden. Aus den Zü-Blättern wurden folgende fiktive Abfahrtsabstände  $z^*$  für N=101 Zugfolgefälle entnommen:

12;17;0;4;25;37;18;42;50;27;4;33;0;4;40;14;1;1;18;31;4;3;22;4;12;  
9;28;14;12;23;6;35;12;14;7;16;8;29;6;3;21;28;1;4;11;9;12;36;20;2;1;  
20;12;7;0;5;23;6;13;4;7;11;3;16;6;12;27;5;21;6;8;4;2;18;22;33;8;  
25;17;2;30;14;21;16;0;18;23;20;0;12;19;9;10;18;16;7;3;4;30;12;25;

Durch einen  $\chi^2$ -Test ist nun zu überprüfen, ob diese Abstände negativ-exponential verteilt sind. Wenn dies der Fall ist, kann das Eintreffen der Züge an der Bedienungsstelle als zufällig betrachtet werden. Die mittlere Zugfolgezeit beträgt  $z_m = 14,257$  [min]

$z^*$	$b_k$	$z^*b_k$	$z^*/z_m$	$e^{-z^*/z_m}$	$Ne^{-z^*/z_m}$	f	h	f-h	$\frac{(f-h)^2}{h}$
0	4,5	4,5	0	1,00000	101,000	25	27,365	-2,365	0,204393
4,5	5,0	9,5	0,316	0,72906	73,635	17	21,745	-4,745	1,035412
9,5	5,0	14,5	0,666	0,51376	51,890	17	15,360	+1,640	0,175104
14,5	5,0	19,5	1,017	0,36168	36,530	12	10,813	+1,187	0,130303
19,5	5,0	24,5	1,368	0,25462	25,717	11	7,596	+3,404	1,525437
24,5	5,0	29,5	1,718	0,17942	18,121	8	5,376	+2,624	1,280762
29,5	5,0	34,5	2,07	0,12619	12,745	5	3,764	+1,236	0,405870
34,5	20,0	54,5	2,42	0,08892	8,981	6	6,766	-0,766	0,086721
54,5	.	.	3,82	0,02193	2,215				

N= 101

$\chi^2 = 4,844002$

noch Anlage 3.2

Blatt 6

Der Test umfaßt 8 Klassen. Die Parameter  $N$  und  $z_m$  sind beobachtete Werte. Der Freiheitsgrad beträgt daher  $n = 6$ . Für diesen Freiheitsgrad und eine Sicherheitsschwelle von  $S = 95\%$  beträgt  $\chi^2_{0,05} = 12,592$ . Die Abweichungen der beobachteten Häufigkeiten bei den Abständen der fiktiven Abfahrtszeiten von einer negativ-exponentialen Verteilung können damit auch zufällig entstanden sein.

In den Klassen  $z < 9,5$  [min] fällt auf, daß die Anzahl der beobachteten Fälle hinter der Anzahl der theoretisch zu erwartenden zurückbleibt. Ein gewisser Anteil der Züge kommt also doch noch im Abstand der Mindestzugfolgezeiten am Beginn des Streckenabschnitts an.

Die Überprüfung der Voraussetzung, daß die Abstände zufällig verteilt sind, kann mit Hilfe eines Korrelationstests erfolgen. Dabei wird die Korrelation (Autokorrelation) zwischen den unmittelbar aufeinanderfolgenden Abständen festgestellt. Ist die Korrelation gleich oder nahezu gleich Null, kann davon ausgegangen werden, daß die Reihenfolge der Abstände zufällig entstanden ist.

Für den Korrelationskoeffizienten  $r$  gilt:

$$r = \frac{N \sum_{i=1}^{N-1} z_i^* z_{i+1}^* - \left( \sum_{i=1}^{N-1} z_i^* \right) \left( \sum_{i=2}^N z_i^* \right)}{\sqrt{\left[ N \sum_{i=1}^{N-1} z_i^{*2} - \left( \sum_{i=1}^{N-1} z_i^* \right)^2 \right] \left[ N \sum_{i=2}^N z_i^{*2} - \left( \sum_{i=2}^N z_i^* \right)^2 \right]}}$$

Aus der Liste der Abfahrtsabstände wurden folgende Werte entnommen

$$N = 101 \quad \text{Züge/Tag}$$

$$\sum_{i=1}^{N-1} z_i^* z_{i+1}^* = 20818$$

$$\sum_{i=1}^{N-1} z_i^* = 1415$$

$$\sum_{i=2}^N z_i^* = 1428$$

$$\sum_{i=1}^{N-1} z_i^{*2} = 32119$$

$$\sum_{i=2}^N z_i^{*2} = 32600$$

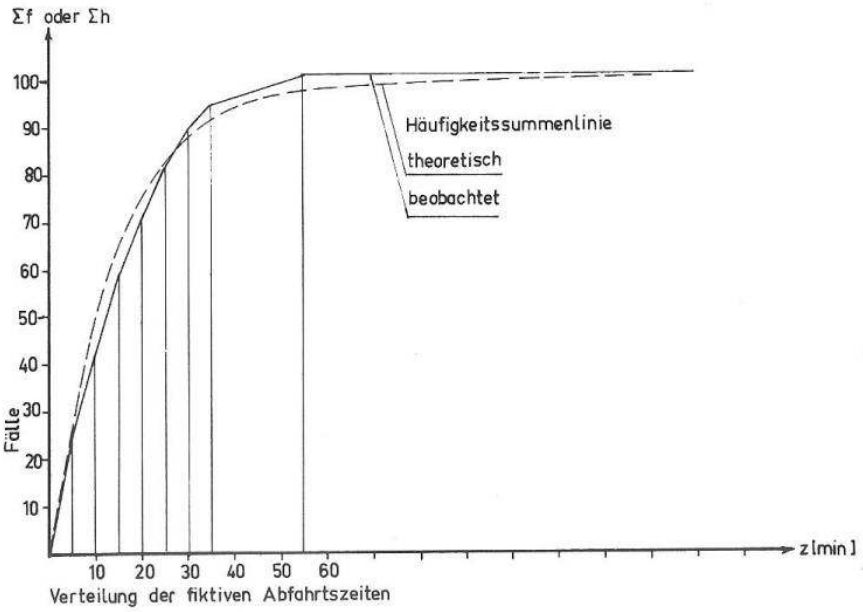
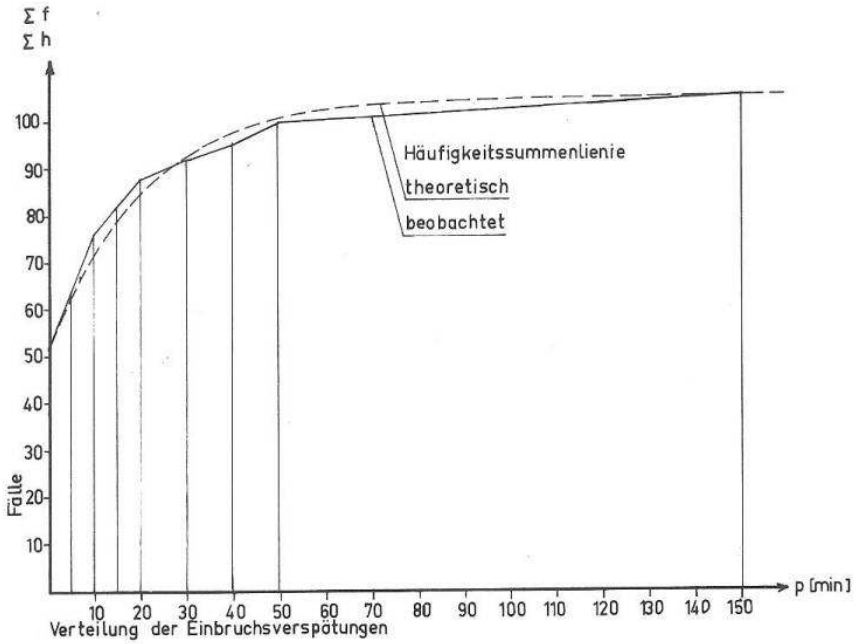
Durch Einsetzen dieser Werte in die Gleichung zur Bestimmung des Korrelationskoeffizienten erhält man

$$\underline{r} = \frac{101 \cdot 20818 - 1415 \cdot 1428}{\sqrt{(101 \cdot 32119 - 1415^2)(101 \cdot 32600 - 1428^2)}}$$

$$\underline{r} = \frac{81998}{\sqrt{1556489435480}} = \frac{81998}{1247590} = 0,0657$$

Für  $N = 100$  dürfte der Korrelationskoeffizient noch  $\underline{r} = 0,30$  betragen ohne, daß die Annahme der Zufälligkeit der Abstandsfolge unzulässig wäre. Der Korrelationskoeffizient unterscheidet sich nicht wesentlich von Null. Die Abstände der fiktiven Abfahrtszeiten können also als zufällig verteilt betrachtet werden.





Überprüfung der Verteilungsfunktion der Folgeverspätungen

Die Spalten 6 und 7 der Blätter 1 bis 4 dieser Anlage enthalten beobachtete Folgeverspätungen. Um auch die Länge des betrachteten Streckenabschnittes in seiner möglichen Auswirkung auf die Verteilungsfunktion der Folgeverspätungen zu erfassen wurde einmal vorausgesetzt, daß sich der Streckenabschnitt bis Gundelfingen (Freiburg) und einmal nur bis Lahr erstrecken würde. In beiden Fällen traten Summen-Häufigkeitslinien auf (siehe Blatt 9) die vermuten lassen, daß auch die Folgeverspätungen wiederum negativ-exponential verteilt sind. Diese Hypothese kann durch einen  $\chi^2$ -Test überprüft werden.

$\chi^2$ -Test für den Abschnitt Offenburg-Gundelfingen (Freiburg)

Die mittlere Folgeverspätung der Züge mit Folgeverspätung  $p_{Fm}$  beträgt im Abschnitt Offenburg-Gundelfingen (nach Spalte 6)

$$p_{Fm} = \frac{\sum p_{Fi}}{N_{pF}} = \frac{570}{56} = 10,178571 \text{ [min]}$$

$p_{Fi}$	$p_{Fi}+b_k$	$b_k$	$f_i$	$p_{Fi}/p_{Fm}$	$e^{-p_{Fi}/p_{Fm}}$	$h_i$	$f_i-h_i$	$\frac{(f_i-h_i)^2}{h_i}$
0,5	5,5	5,0	25	1,0000	1,00000	23,366	+1,634	0,114267
5,5	10,5	5,0	14	0,540	0,58275	12,682	+1,318	0,136976
10,5	15,5	5,0	6	1,032	0,35629	7,741	-1,741	0,391562
15,5	20,5	5,0	5	1,523	0,21806	4,708	+0,292	0,018110
20,5	$\infty$	$\infty$	7	2,01	0,13399	7,503	-0,503	0,033721

$$N_{pF} = 56$$

$$\chi^2 = 0,694636$$

Die Verteilung wird durch die Parameter  $N_p$  und  $p_{Fm}$  beschrieben. Der Freiheitsgrad beträgt daher  $n = 3$ . Für diesen Freiheitsgrad und eine Sicherheitsschwelle von  $S = 95\%$  beträgt  $\chi^2 = 7,815$ . Die Abweichungen der Häufigkeiten der im Streckenabschnitt Offenburg-Gundelfingen übertragenen Folgeverspätungen von einer negativen Exponentialverteilung können damit auch zufällig entstanden sein.

$\chi^2$ -Test für den Teilabschnitt Offenburg-Lahr

In dem verkürzten Abschnitt Offenburg-Lahr traten nur  $N_{pF}=24$  Fälle von Folgeverspätung auf. Die Summe der Folgeverspätungen nach Spalte 7 betrug  $\sum p_F = 207$  [min].

$p_{Fi}$	$p_{Fi}+b_k$	$b_k$	$f_i$	$m_F p_{Fm}$	$e^{-m_F p_{Fm}}$	$h_i$	$f_i - h_i$	$\frac{(f_i - h_i)^2}{h_i}$
0	3,5	3,5	6	0,000	1,00000	8,009	-2,009	0,503722
3,5	6,5	3,0	7	0,406	0,66631	4,700	+2,300	1,125532
6,5	12,5	6,0	7	0,754	0,47048	5,656	+1,344	0,319366
12,5	$\infty$	$\infty$	5	1,449	0,23480	5,635	-0,635	0,071557

$$N_{pF} = 24$$

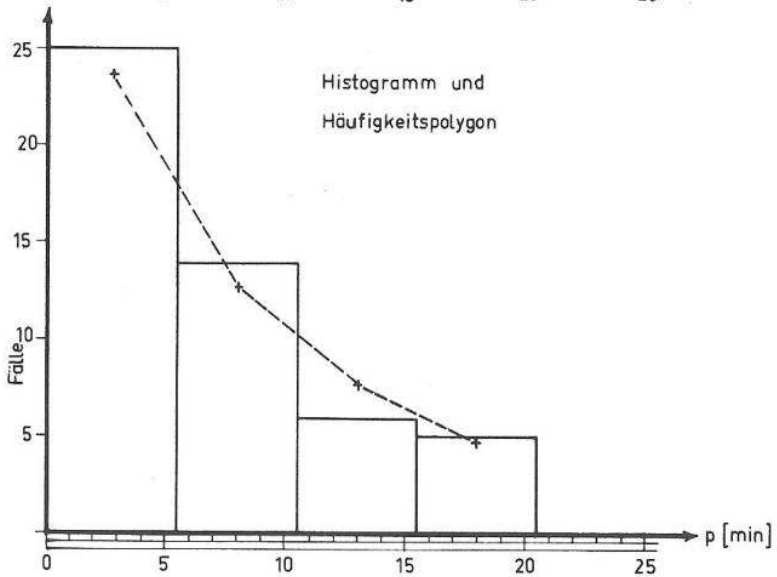
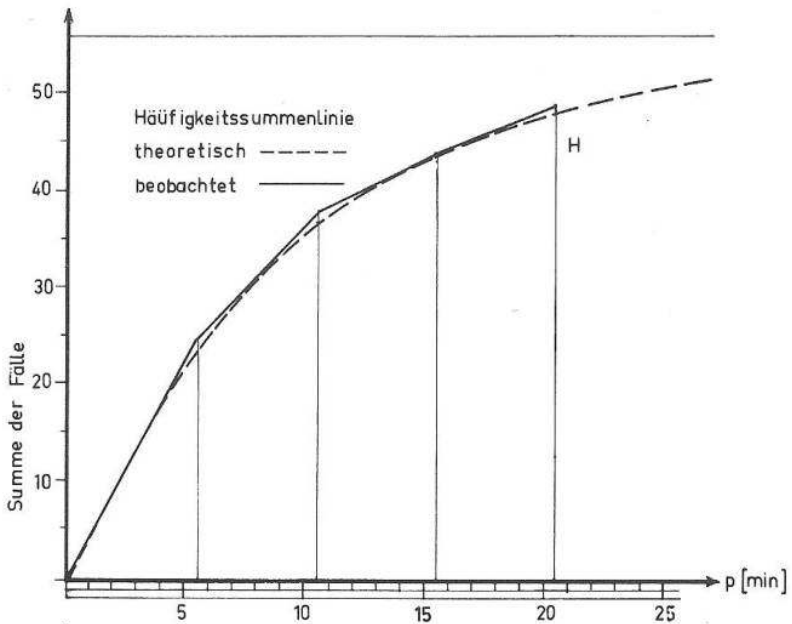
$$\chi^2 = 2,020177$$

Die mittlere Folgeverspätung der Züge mit Folgeverspätung  $p_{Fm}$  beträgt im Abschnitt Offenburg-Lahr (nach Spalte 7)

$$p_{Fm} = \frac{\sum p_F}{N_{pF}} = \frac{207}{24} = 8,625 \text{ [min]}$$

Daraus ergibt sich als Kehrwert der mittleren Folgeverspätung der Züge mit Folgeverspätung  $m_F = 1 / p_{Fm} = 0,115942$

Der Mittelwert wurde über den beobachteten Durchschnitt  $p_{Fm}$  geschätzt. Dadurch beträgt der Freiheitsgrad bei den  $M = 4$  Klassen nur  $n = M - 2 = 4 - 2 = 2$ . Für diesen Freiheitsgrad und eine Sicherheitsschwelle von  $S = 95\%$  ist  $\chi_{0,05}^2 = 5,991$ . Damit können auch die Häufigkeiten, der in dem verkürzten Streckenabschnitt Offenburg -Lahr übertragenen Folgeverspätungen, als zufällige Abweichungen von einer negativen-Exponentialverteilung betrachtet werden.



Verteilung der Folgeverspätungen im Abschnitt Offenburg-Gundelfingen  
 am 3.10.1969

## $\chi^2$ -Test für die Häufigkeitsverteilung der Pufferzeiten

Brettmann [3] hat in Anlage 19 jener Sonderuntersuchung aus dem Fahrplan 1959/60 Sommer der Strecke Bad Schwartau-Großenbrode für den Abschnitt Haffkrug-Neustadt die tatsächlichen Einzelpufferzeiten errechnet. In der Spalte 10 sind dort die Einzelpufferzeiten bei Bespannung der Züge mit Lokomotiven BR 220 aufgeführt. Dabei sind sechs mal negative Pufferzeiten festzustellen, die auf fehlerhafte Fahrplanbearbeitung schließen lassen. Vor der Aufteilung der Pufferzeiten auf die Häufigkeitsklassen muss der Fahrplan so korrigiert werden, dass die negativen Pufferzeiten verschwinden (vgl. [1] Abschnitt 31.1). Hier wurden die negativen Pufferzeiten je zur Hälfte auf die vor- und rückliegenden positiven Pufferzeiten verteilt.

Die Klasseneinteilung ist nach [15] Abschnitt 2.5.4.1. (Seite 232) so zu wählen, dass in jede Klasse mindestens 5 Fälle der theoretischen Häufigkeit fallen.

Die theoretischen Häufigkeiten  $h_i$  in den einzelnen Klassen von der Klassenbreite  $b_k$  entsprechen der Differenz der Summenlinie der theoretischen Häufigkeit zwischen Unter- und Obergrenze der Klasse  $i$ .

$$h_i = \sum_r h_r - \sum_{r+b_k} h_r$$

durch Einsetzen der Gleichung (4.1) wird

$$h_i = N \left( e^{-\frac{r_i}{\bar{r}}} - e^{-\frac{r_{i+1}}{\bar{r}}} \right)$$

Die  $N = 72$  beobachteten Pufferzeiten von insgesamt  $\sum r = 798,0$  Minuten Dauer wurden auf 5 Klassen verteilt. Daraus ergibt sich als Freiheitsgrad  $n = 3$ . Für eine statistische Sicherheit von  $S = 95 \%$  erhält man einen Tafelwert von  $\chi^2 = 7,815$ . Da der tabellarisch errechnete Wert von  $\chi^2 = 1,471$  diese Grenze erheblich unterschreitet, ist die Hypothese, dass der beobachteten Verteilung der Pufferzeiten eine negative Exponentialverteilung zugrunde liegt, zulässig.

Die mittlere Pufferzeit  $\bar{r}$  wird über den Durchschnitt der beobachteten Werte geschätzt.

$$\bar{r} = \frac{\sum r}{N} = \frac{798}{72} = 11,1 \quad [min]$$

$r_i$	$b_k$	$r_{i+1}$	$F_i/\bar{r}$	$e^{-r_i/\bar{r}}$	$Ne^{-r_i/\bar{r}}$	$h_i$	$f_i$	$f_i - h_i$	$\frac{(f_i - h_i)^2}{h_i}$
0	5	5	0	1,00000	72,000	26,137	28	+1,863	0,132791
5	5	10	0,451	0,63699	45,863	16,648	15	-1,648	0,163137
10	5	15	0,902	0,40576	29,215	10,606	9	-1,606	0,243186
15	10	25	1,353	0,25846	18,609	11,096	10	-1,096	0,108257
25	$\infty$	$\infty$	2,26	0,10435	7,513	7,513	10	+2,487	0,823262
$\infty$	-	-	$\infty$	0	0	-	-	-	-
$\Sigma$						72	72	0	1,470633

Anlage 9.1  
Blatt1

Streuung und Variationskoeffizient der Mindestzugfolgezeiten

Bei der Beurteilung der Frage, ob bei der Abarbeitung längerer Warteschlangen von Zügen ein Wartermodell mit exponentialer Bedienung des Typs M/M/1 oder mit konstanter Bedienung M/D/1 zutreffender ist, muss der Variationskoeffizient der Mindestzugfolgezeiten ermittelt werden. Dazu werden als Beispiel die in der Tafel 13.2 für den Streckenabschnitt Offenburg-Lahr zusammengestellten Mindestzugfolgezeiten ausgewertet. Dabei ist zu beachten, dass bei der Abarbeitung von längerer Warteschlangen für den Zugfolgefall Sg vor D eine Mindestzugfolgezeit von 7,8 Minuten anzusetzen ist.

$z_i$	$f_i$	$f_i z_i$	$f_i z_i^2$
2,9	14	40,6	117,74
3,3	14	46,2	152,46
3,7	2	7,4	27,38
3,9	11	42,9	167,31
4,1	9	36,9	151,29
4,9	3	14,7	72,03
6,0	11	66,0	396,00
6,4	15	96,00	614,40
6,9	4	27,6	190,44
7,3	11	80,3	586,19
7,4	4	29,6	219,04
7,8	6	46,8	365,04
$\Sigma$	104	535,0	3059,32

Nach Lindner [5] Abschnitt 122 ist

$$\sum f_i \cdot z_i = 535,0$$

und

$$\bar{z} = \frac{\sum f_i \cdot z_i}{N} = \frac{535,0}{104} = 5,144231 \text{ [min]}$$

Dort sind nach Abschnitt 121 Gleichung (6) die Streuung durch

$$s^2 = \frac{S_{xx}}{N - 1}$$

und. nach Abschnitt 122 Gl. (1) und (13) das Streuungsmoment

$$S_{xx} = \sum f_i \cdot z_i^2 - \frac{1}{N} \left( \sum f_i \cdot z_i \right)^2$$

definiert, so dass

$$s_z^2 = \frac{1}{N - 1} \left[ \sum f_i \cdot z_i^2 - \frac{1}{N} \left( \sum f_i \cdot z_i \right)^2 \right]$$

wird. Setzt man hier die Werte der Spalten der tabellarischen Berechnung ein, so erhält man

$$s_z^2 = \frac{1}{104 - 1} \left[ 3059,32 - \frac{1}{104} 535,0^2 \right] = 2,982$$

Die mittlere quadratische Abweichung (Varianz) beträgt dann.

$$s_z = \sqrt{2,982} = 1,73 \text{ [min]}$$

Die Mindestzugfolgezeiten streuen in dem beobachteten Fall also im Bereich  $z = 5,14 \pm 1,73$  Minuten. Das Quadrat des Variationskoeffizienten  $V$  beträgt nach [15](2.133)

$$V^2 = \frac{s^2}{\bar{z}^2} = \frac{2,982}{5,144^2} = 0,113$$

Daraus ergibt sich ein Variationskoeffizient von

$$V = \sqrt{0,113} = 33,57\%$$



Anlage 10.1

Verspätungen im Bezirk der Bundesbahndirektion Regensburg in der Woche vom 20.11. bis 26.11.1966

Zuggattung		Zugkm	Züge	mittlere Laufweite km	Verspätungen am Zuganfangsbahnhof oder bei Übernahme von einem anderen Bezirk			Verspätungen am Zugendbahnhof oder bei Übergabe an einen anderen Bezirk						
Art	Nr.				Fälle	min	$\bar{p}_m$	g	$\bar{p}$					
D, E	10 - 26	73554	722	101,88	118	859	7,28	0,1634	1,190	263	1654	6,29	0,3643	2,291
N	30 u. 31	188823	5108	36,97	88	390	4,43	0,0172	0,076	1100	5884	5,83	0,1977	1,152
Σ Personenzüge		262377	5830	45,00	206	1249	6,06	0,0353	0,214	1363	7538	5,54	0,2334	1,293
Sg, De	44 u. 50	9604	114	84,25	22	900	40,91	0,1930	7,895	42	1511	35,98	0,3684	13,254
Ne	53 u. 75	2969	72	41,24	3	25	8,33	0,3472	0,333	16	183	11,44	0,2222	2,542
Dg	60 - 69	50566	1002	50,47	136	5403	39,73	0,1357	5,392	386	16928	43,85	0,3852	16,894
Ng	70 u. 73	40001	1600	25,00	53	1146	21,62	0,0331	0,716	59	17185	28,98	0,3706	10,741
Σ Güterzüge		103140	2788	36,99	214	7474	34,93	0,0767	2,681	1037	35807	34,53	0,3719	12,843
Σ alle Züge		365517	8618	42,41	420	8723	20,77	0,0487	1,012	2400	43345	18,06	0,2785	5,030

### **Ermittlung der maßgebenden Toleranz je Streckenabschnitt**

Die maßgebende Toleranz je Streckenabschnitt ist die durchschnittliche Toleranz der Züge, die hauptsächlich von den Folgeverspätungen betroffen werden. Auf Strecken mit gemischtem Betrieb sind das die Güterzüge mit niedrigem Rang. Als repräsentativ für diese Züge werden hier die Durchgangsgüterzüge betrachtet.

Die mittlere Toleranz dieser Züge setzt sich im wesentlichen zusammen aus den Regelzuschlägen zu den reinen Fahrzeiten, die im Bereich der Deutschen Bundesbahn 5 % betragen, und aus Fahrzeitreserven, die durch Unterschreitung der planmäßigen Fahrplanlast verursacht werden. Diese zweite Komponente der Toleranz kann auf Bergstrecken erhebliche Beträge erreichen.

Nach der im Kapitel 17 durchgeführten groben Ermittlung beträgt im Netz der Deutschen Bundesbahn die durchschnittliche Länge der Streckenabschnitte  $l_s = 36$  km. Die kürzesten Fahrzeiten und damit die kleinsten absoluten Beträge der Regelzuschläge treten auf Flachlandstrecken auf. Als mittlere Neigung werden daher 0 % angesetzt. Die Höchstgeschwindigkeit der Durchgangsgüterzüge beträgt  $v = 80$  km/h. Als weitere Fahrplanelemente müssen die mittlere Masse des Zuges, die Traktionsart und die Bauart des Triebfahrzeugs bekannt sein. Die durchschnittliche Geschwindigkeit der Dg betrug am 27. Oktober 1971  $\bar{v} = 53,6$  km/h.

Im Bezirk der BD Regensburg verkehrten an den Wochentagen der 49. Woche 1972 täglich 129 Regel-Durchgangsgüterzüge. Die planmäßige Zugmasse dieser Züge betrug im Durchschnitt  $M_p = 1428,372$  t, ihre durchschnittliche tatsächliche Zugmasse jedoch nur 1040,473 t. Dies entspricht einer Auslastung hinsichtlich der Zugmasse von  $a_m = 0,728433$  oder 72,84 %. Diese Werte können für den gesamten DB-Bereich als nahezu repräsentativ gelten, da dort im Jahr 1971  $M_t = 1055,0$  t betrug. Daraus ergibt sich als reine Fahrzeit für

Fahrt mit Beharrungsgeschwindigkeit  $t_{fz} = 36 \text{ km} \cdot 53,6 / 60 = 32,16$  min

und ein Anfahrzeitzuschlag nach DV 406/II „BBL“ mit Tzf BR 140,

bei  $s = 0$  ‰ und einer Zugmasse von  $M = 1400$  t von  $t_a = 1,90$  min,

also insgesamt eine **reine Fahrzeit von**

**34,06 min**

## noch Anlage 10.2

### Blatt 2

Für diese reine Fahrzeit von 34,6 min ergibt sich ein fünfprozentiger Regelzuschlag von  $t_r = 1,70$  min.

Am 27.10.1971 hatten die Durchgangsgüterzüge im Bereich der DB im Durchschnitt alle 40,1 km einen planmäßigen Halt. Diese Haltentfernung deckt sich größenordnungsmäßig gut mit dem durchschnittlichen Abstand der Knotenbahnhöfe. Damit ist bei dieser pauschalen Fahrzeitermittlung je Streckenabschnitt nur eine Anfahrt anzunehmen.

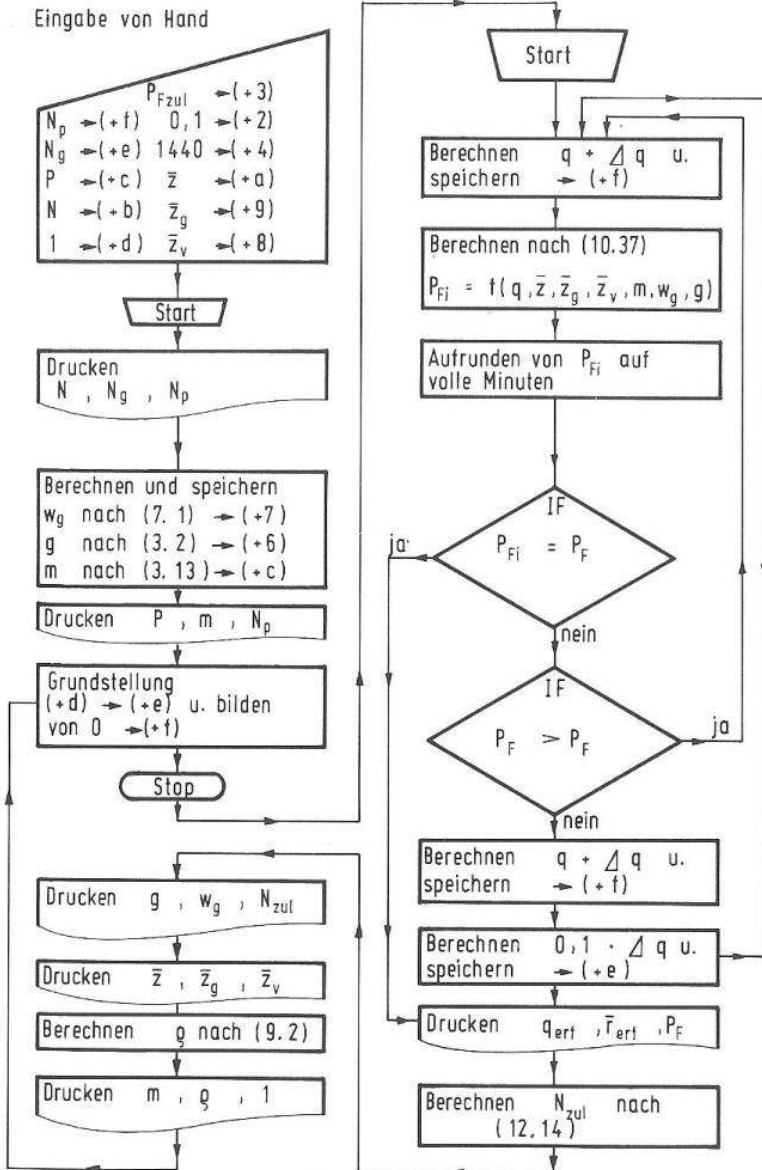
Bei der tatsächlichen durchschnittlichen Zugmasse von  $M_t = 1040$  t ist nur ein Anfahrzeitzuschlag von 1,3 min erforderlich. Dadurch werden im Durchschnitt 0,3 min Anfahrzeitzuschlag als Differenz zwischen dem Anfahrzeitzuschlag bei planmäßiger Zugmasse und jenem bei der tatsächlichen Zugmasse als Toleranz zusätzlich zum Regelzuschlag gewonnen.

So ergeben sich für die durchschnittliche Toleranz der Durchgangsgüterzüge, die als repräsentativ für die maßgebende Toleranz betrachtet wird

$$t = t_r + t_a$$

$$t = 1,70 + 0,30 = 2,0 \text{ min}$$

Die Durchgangsgüterzüge haben im Durchschnitt nach jeweils 40,1 km einen planmäßigen Halt von durchschnittlich 20,1 min Dauer. Dadurch würden bereits bei einer durchschnittlich beispielsweise um 10 % geringeren notwendigen Mindestaufenthaltszeit je Streckenabschnitt bereits weitere 2 Minuten Toleranz gewonnen. Diese Toleranzen können jedoch nicht geschätzt werden, da Angaben über die durchschnittliche Beanspruchung der planmäßigen Aufenthaltszeiten nicht verfügbar sind.



Programmablaufplan zur Berechnung der erforderlichen Pufferzeit und der Streckenleistungsfähigkeit durch Iteration

Anlage 12.2

Blatt 1

Programm zur Iterativen Berechnung der erforderlichen mittlerern Pufferzeit und der Streckenleistungsfähigkeit auf dem elektronischen Kleinrechner Hewlett-Packard 6100 B

Wenn gegeben ist

- $N_p$  Anzahl der Züge mit Einbruchsverspätung je Tag
- $N_g$  Anzahl der gleichrangigen Zugfolgefälle je Tag
- $N$  Anzahl der Züge je Tag (Istzustand)
- $P$  Summe aller Einbruchsverspätungen je Tag [min]
- $P_{Fzul}$  Zulässige Summe der Folgeverspätungen je Tag [min]  
(Maßstab der Betriebsflüssigkeit)
- $\bar{z}$  Mittlere Mindestzugfolgezeit [min]
- $\bar{z}_g$  Mittlere Mindestzugfolgezeit der gleichrangigen Zugfolgefälle [min]
- $\bar{z}_v$  Mittlere Mindestzugfolgezeit der ungleichrangigen Zugfolgefälle [min]

können die Parameter  $m, w_g$  und  $g$  in einem Vorprogramm berechnet werden. Es ist bei Adresse (-2.8) mit CONT zu starten und endet bei (+1.7) mit STOP. Es druckt auf der über den COUPLER angeschlossenen Schreibmaschine folgende Werte aus:

x	y	z	Position
N	$N_g$	$N_p$	Wert
P	m	$N_p$	"

Das Hauptprogramm ist dann mit CONT zu starten . Es druckt aus:

x	y	z	Position
$q_{erf}$	$\bar{r}_{erf}$	$P_F$	Wert
$g$	$w_g$	$N_{zul}$	"
$\bar{z}$	$\bar{z}_g$	$\bar{z}_v$	"
m	$q$	1	"

Die Eingabewerte sind auf folgende Speicherplätze einzugeben:

Speicher													
f	e	d	c	b	a	+9	+8	+7	+6	+5	+4	+3	+2
$N_p$	$N_g$	1	P	N	$\bar{z}$	$\bar{z}_g$	$\bar{z}_v$				1440	$P_F$	0,1

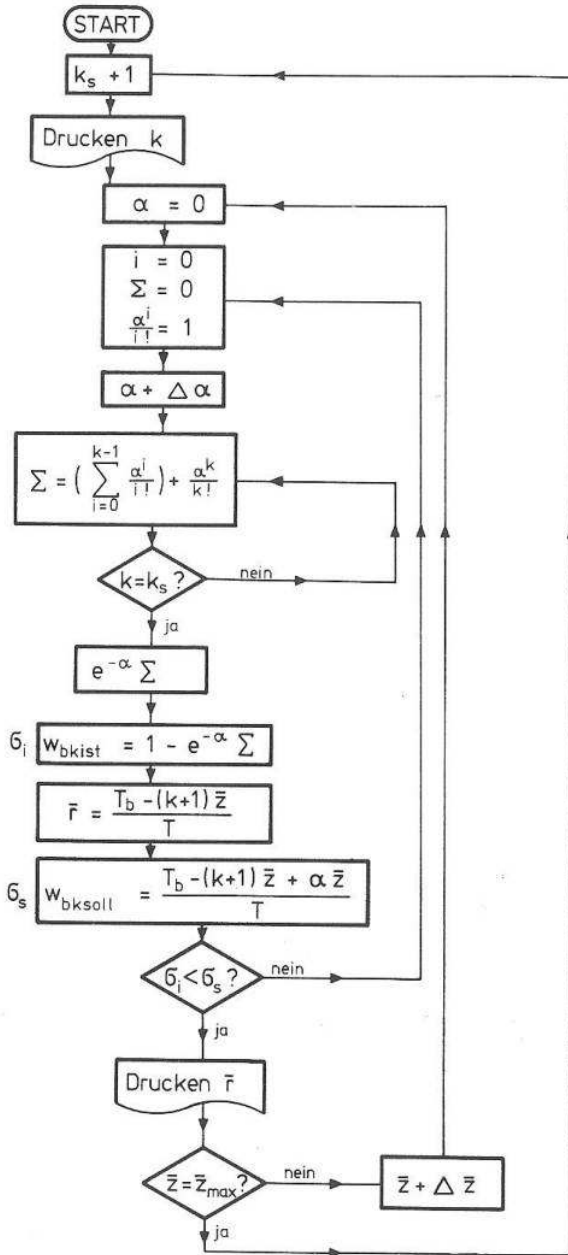
Wenn anstatt  $N_p, N_g, N$  und  $P$  die daraus zu bestimmenden Parameter  $m, g$  und  $w_g$  gegeben sind, ist das Programm ohne Vorprogramm bei Adresse (+1.1) mit CONT zu starten. Die Eingabewerte sind dann auf folgende Speicherplätze einzugeben:

Speicher													
f	e	d	c	b	a	+9	+8	+7	+6	+5	+4	+3	+2
		1	m		$\bar{z}$	$\bar{z}_g$	$\bar{z}_v$	$w_g$	g		1440	PF	0,1

Programm:

Schritt (Adresse)	Taste	Code	Schritt (Adresse)	Taste	Code	Schritt (Adresse)	Taste	Code	Schritt (Adresse)	Taste	Code
-0	0	f 15	-2	0	x+( ) 67	-4	0	GOTO 44	-6	0	x+( ) 67
	1	↑ 27		1	2 02		1	+ 33		1	8 10
	2	e 12		2	X 36		2	1 01		2	↑ 27
	3	+ 33		3	y-( ) 40		3	1 01		3	c 16
	4	y-( ) 40		4	e 12		4			4	X 36
	5	f 15		5	GOTO 45		5			5	↓ 25
	6	GOTO 44		6	0 00		6			6	↑ 27
	7	SUB RET 77		7	0 00		7			7	CHG SIGN 32
	8	4 04		8	f 15		8	x+( ) 67		8	e <sup>x</sup> 74
	9	8 10		9	↑ 27		9	9 11		9	↑ 27
	a	x-( ) 67		a	e 12		a	↑ 27		a	X 36
	b	3 03		b	↑ 27		b	c 16		b	d 17
	c	↑ 27		c	b 14		c	X 36		c	x↔y 30
	d	b 14		d	PRINT 45		d	↓ 25		d	- 34
-1	0	INT x 64	-3	0	÷ 35	-5	0	CHG SIGN 32	-7	0	↓ 25
	1	IF x=y 50		1	y+( ) 40		1	e <sup>x</sup> 74		1	X 36
	2	c 16		2	7 07		2	↑ 27		2	d 17
	3	9 11		3	↓ 25		3	d 17		3	↑ 27
	4	IF x=y 53		4	b 14		4	x↔y 30		4	x-( ) 67
	5	0 00		5	÷ 35		5	- 40		5	7 07
	6	0 00		6	y+( ) 40		6	↓ 25		6	- 34
	7	f 15		7	6 06		7	↑ 27		7	↓ 25
	8	↑ 27		8	↓ 25		8	X 36		8	X 36
	9	e 12		9	c 16		9	x-( ) 67		9	b 14
	a	- 34		a	= 35		a	7 07		a	+ 33
	b	y+( ) 40		b	PRINT 45		b	X 36		b	y+( ) 40
	c	f 15		c	y+( ) 40		c	y-( ) 40		c	b 14
	d	↑ 27		d	c 16		d	b 14		d	a 13





Programmablaufplan zur Berechnung der Leistungsfähigkeit  $N_b = k+2$  in der Spitzenzeit  $T_b$  des Tages



Wertetafel für  $\bar{F} = f(k, \bar{z})$  für  $T_b = 60 \text{ min}$ ; (Stundenleistungsfähigkeit  $N_{zulst} = k+2$ )  $\bar{z} < 10$  [min]

k	$\bar{z}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.	1200,00	1130,00	1160,00	1140,00	1400,00	1375,00	1330,00	1325,00	1300,00	1275,00	1250,00	
1.	181,82	191,25	175,00	174,19	167,74	165,67	165,52	153,62	157,14	150,00	149,15	
2.	78,95	76,00	72,97	59,36	67,61	64,29	60,97	58,21	54,55	51,56	47,62	
3.	46,51	44,09	41,60	33,02	36,36	33,90	31,03	28,32	25,45	22,43	19,23	
4.	32,09	29,73	27,47	25,23	22,06	20,47	17,86	15,34	12,58	9,30	6,80	
5.	24,00	21,95	19,33	17,65	15,45	13,16	10,76	8,33	5,74	2,99	0,00	
6.	18,89	17,04	15,03	13,00	10,98	9,68	6,43	4,04	1,53	-150,00	-500,00	
7.	15,58	13,69	11,73	9,36	7,79	5,71	3,53	1,21	-90,00	-240,00	-400,00	
8.	13,19	11,33	9,55	7,50	5,65	3,61	1,50	-60,00	-240,00	-420,00	-600,00	
9.	11,43	9,62	7,84	6,00	4,08	2,11	0,00	-200,00	-400,00	-600,00	-800,00	
10.	10,00	9,31	6,55	4,74	2,96	,93	-60,00	-170,00	-250,00	-300,00	-500,00	
11.	8,82	7,16	5,45	3,75	1,90	0,00	-120,00	-240,00	-360,00	-480,00	-600,00	
12.	9,00	6,35	4,66	2,96	1,14	-50,00	-130,00	-310,00	-440,00	-570,00	-700,00	
13.	7,23	5,61	4,00	2,23	,52	-100,00	-240,00	-390,00	-520,00	-660,00	-800,00	
14.	6,59	5,06	3,41	1,74	0,00	-150,00	-300,00	-450,00	-600,00	-750,00	-900,00	
15.	6,12	4,54	2,95	1,29	-60,00	-200,00	-350,00	-520,00	-680,00	-840,00	-1000,00	
16.	5,66	4,10	2,52	,99	-80,00	-250,00	-420,00	-590,00	-760,00	-930,00	-1100,00	
17.	5,26	3,75	2,19	,56	-120,00	-300,00	-480,00	-660,00	-840,00	-1020,00	-1200,00	
18.	4,92	3,42	1,85	,26	-160,00	-350,00	-540,00	-730,00	-920,00	-1110,00	-1300,00	
19.	4,62	3,13	1,59	0,00	-200,00	-400,00	-600,00	-800,00	-1000,00	-1200,00	-1400,00	

Wertetafel für  $\bar{I} = f(k, \bar{z})$  für  $T_b = 60$  [min] (Stundenleistungsfähigkeit  $N_{zulst} = k + 2$ )

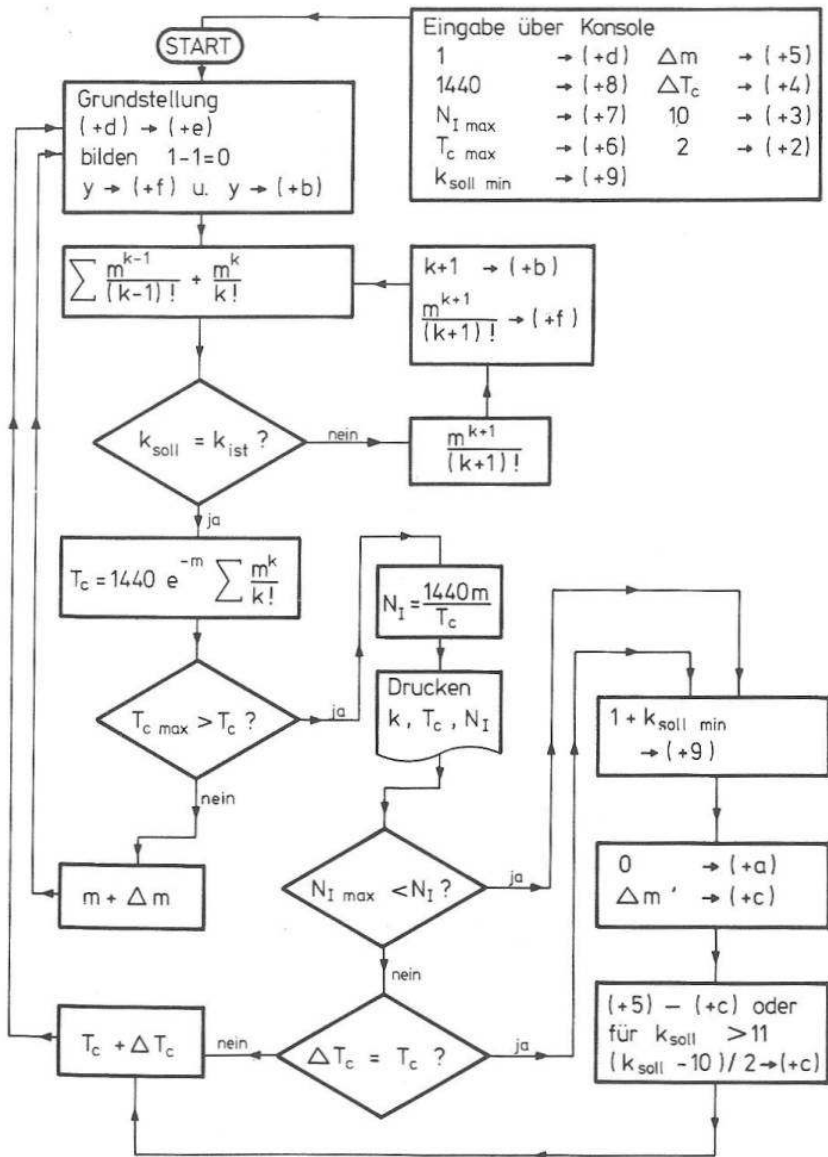
Mittlere Pufferzeiten bei großen Mindestzugfolgezeiten  $\bar{z} > 10$  [min]

$N_b$	$k$	$\bar{z}$																		
		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20								
2	0.	1250,00	1225,00	1200,00	1175,00	1150,00	1125,00	1100,00	1075,00	1400,00	1365,67	1333,33								
3	1.	148,15	146,15	139,46	136,00	133,33	125,00	121,74	118,19	109,09	104,76	100,00								
4	2.	47,62	44,26	40,69	36,84	32,73	29,65	24,00	19,15	13,95	7,69	0,00								
5	3.	19,23	16,00	12,50	9,79	4,71	0,00	-400,00	-800,00	-1200,00	-1600,00	-2000,00								
6	4.	6,80	3,57	0,00	-500,00	-1000,00	-1500,00	-2000,00	-2500,00	-3000,00	-3500,00	-4000,00								

Anlage 15.3

k	$T_b \rightarrow$									
	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
0.	750,00	1000,00	1125,00	1200,00	1250,00	1285,71	1312,50	1333,33	1350,00	1250,00
1.	93,75	136,36	160,71	191,92	202,70	219,51	233,33	250,00	259,62	272,73
2.	33,33	51,72	66,19	78,95	89,29	100,00	109,38	117,65	125,00	132,74
3.	17,86	29,13	38,14	46,51	53,06	60,81	67,31	73,17	78,95	84,27
4.	11,54	19,35	26,01	32,09	37,50	42,65	47,51	52,17	56,49	60,73
5.	8,29	14,22	19,31	24,00	28,30	32,40	36,33	40,00	43,55	47,02
6.	6,39	11,07	15,20	19,99	22,59	25,94	29,17	32,26	35,16	38,07
7.	5,12	9,98	12,43	15,63	18,66	21,53	24,25	26,95	29,41	31,85
8.	4,24	7,52	10,40	13,22	15,82	18,29	20,67	22,90	25,19	27,32
9.	3,61	6,45	9,02	11,43	13,71	15,90	17,99	20,00	21,99	23,89
10.	3,13	5,62	7,89	10,03	12,06	14,00	15,89	17,70	19,45	21,01
11.	2,73	4,92	6,92	8,82	10,71	12,50	14,19	15,79	17,31	18,99
12.	2,42	4,41	6,25	8,00	9,62	11,25	12,80	14,29	15,70	17,05
13.	2,17	4,00	5,70	7,23	8,72	10,23	11,67	13,04	14,36	15,63
14.	1,97	3,66	5,17	6,50	7,93	9,39	10,71	12,00	13,24	14,42
15.	1,81	3,33	4,74	6,12	7,43	8,65	9,81	11,01	12,16	13,27
16.	1,67	3,09	4,41	5,66	6,88	7,90	8,91	9,96	11,03	12,00
17.	1,55	2,86	4,09	5,26	6,41	7,50	8,54	9,60	10,63	11,54
18.	1,44	2,65	3,81	4,92	5,95	6,98	8,02	8,96	9,93	10,87
19.	1,34	2,50	3,57	4,62	5,60	6,57	7,50	8,45	9,39	10,20
20.	1,26	2,34	3,36	4,35	5,29	6,21	7,09	7,95	8,82	9,68

Anzahl  $N_b = k + 2$  der bei dichtester Bündelung im Durchschnitt einmal täglich im Zeitraum  $T_b$  oder einem kürzeren Zeitraum zu erwartenden Züge, wenn der durchschnittliche Zeitabstand (mittlere Zufolkezeit  $z_m$ ) gegeben ist. (Tafel für  $z = f(k, T_b)$ )



Programmablaufplan zur Berechnung der Werte von  $k_I = f(T_c, N_{I \text{ zul.}})$  bei lockerster Bündelung der Züge nach Gleichung (16.37)

Anlage 17.1

Blatt 1

Tafel 17.3

H	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 →	N <sub>w</sub>
.01	130,67	11,49	1,50	.23	.04	.01	.00	.00	.00	.00	.00
.02	177,78	21,02	3,69	.76	.17	.04	.01	.00	.00	.00	.00
.03	211,51	29,49	6,08	1,48	.39	.11	.03	.01	.00	.00	.00
.04	236,41	37,20	8,57	2,33	.69	.22	.07	.02	.01	.00	.00
.05	261,03	44,32	11,10	3,27	1,05	.36	.13	.05	.02	.01	.01
.06	280,64	50,95	13,62	4,28	1,47	.54	.20	.08	.03	.01	.01
.07	298,02	57,18	16,13	5,35	1,94	.75	.30	.12	.05	.02	.02
.08	313,65	63,06	18,62	6,46	2,45	.98	.41	.18	.08	.03	.03
.09	327,86	68,63	21,07	7,60	2,99	1,25	.54	.24	.11	.05	.05
.10	340,91	73,92	23,49	8,76	3,57	1,54	.69	.32	.15	.07	.07
.11	352,97	78,97	25,87	9,94	4,17	1,85	.86	.41	.20	.10	.10
.12	364,19	83,79	28,20	11,13	4,90	2,19	1,04	.51	.25	.13	.13
.13	374,68	88,42	30,50	12,33	5,44	2,54	1,23	.62	.32	.16	.16
.14	384,53	92,86	32,75	13,53	6,10	2,91	1,45	.74	.39	.20	.20
.15	393,82	97,13	34,96	14,73	6,78	3,30	1,67	.87	.46	.25	.25
.16	402,60	101,24	37,12	15,94	7,47	3,70	1,91	1,01	.55	.30	.30
.17	410,92	105,21	39,25	17,14	8,17	4,11	2,16	1,16	.64	.36	.36
.18	418,84	109,04	41,33	18,33	8,87	4,54	2,41	1,32	.74	.42	.42
.19	426,39	112,74	43,38	19,52	9,59	4,98	2,68	1,49	.85	.49	.49
.20	433,59	116,33	45,39	20,71	10,30	5,42	2,96	1,67	.96	.56	.56
.21	440,49	119,80	47,36	21,88	11,03	5,87	3,25	1,85	1,08	.64	.64
.22	447,10	123,17	49,29	23,05	11,75	6,33	3,55	2,04	1,20	.72	.72
.23	453,44	126,44	51,19	24,21	12,48	6,80	3,85	2,24	1,34	.81	.81
.24	459,54	129,62	53,05	25,36	13,21	7,28	4,16	2,45	1,47	.90	.90
.25	465,42	132,71	54,87	26,50	13,95	7,75	4,48	2,66	1,62	1,00	1,00
.26	471,08	135,71	56,67	27,53	14,68	8,24	4,80	2,88	1,77	1,10	1,10
.27	476,54	138,64	58,43	28,74	15,41	8,72	5,13	3,10	1,92	1,21	1,21
.28	481,81	141,43	60,16	29,85	16,14	9,21	5,47	3,33	2,08	1,32	1,32
.29	486,92	144,26	61,86	30,95	16,87	9,71	5,90	3,57	2,24	1,43	1,43
.30	491,85	146,07	63,53	32,03	17,59	10,20	6,15	3,81	2,41	1,55	1,55

Zahlentafel für den Zusammenhang  $\bar{Z} = f(H, N_w)$  nach Gleichung (17.48) zur Ermittlung von H in Abhängigkeit von  $\bar{Z}$  und  $N_w$ . Dabei ist  $N_w = k+1$ .

H	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$D_{Wj}$
.31	496,64	149,61	65,17	33,11	18,32	10,73	6,47	4,05	2,58	1,67	
.32	501,29	152,19	66,78	34,17	19,04	11,20	6,94	4,30	2,76	1,80	
.33	505,70	154,71	68,37	35,22	19,75	11,70	7,20	4,55	2,94	1,93	
.34	510,15	157,17	69,93	36,26	20,47	12,20	7,55	4,81	3,12	2,07	
.35	514,39	159,57	71,46	37,29	21,18	12,70	7,91	5,06	3,31	2,20	
.36	518,52	161,93	72,97	38,31	21,89	13,20	8,27	5,33	3,50	2,34	
.37	522,54	164,23	74,45	39,32	22,60	13,71	8,63	5,59	3,70	2,49	
.38	526,45	166,48	75,91	40,31	23,30	14,21	9,00	5,86	3,90	2,63	
.39	530,26	168,68	77,35	41,30	23,99	14,71	9,36	6,13	4,10	2,78	
.40	533,97	170,84	78,76	42,27	24,68	15,21	9,73	6,40	4,30	2,94	
.41	537,59	172,96	80,15	43,24	25,37	15,71	10,10	6,67	4,50	3,09	
.42	541,12	175,03	81,52	44,19	26,05	16,21	10,47	6,95	4,71	3,25	
.43	544,57	177,06	82,87	45,13	26,73	16,71	10,84	7,23	4,92	3,41	
.44	547,93	179,06	84,20	46,06	27,40	17,20	11,21	7,51	5,13	3,57	
.45	551,22	181,01	85,50	46,98	28,07	17,70	11,58	7,79	5,35	3,73	
.46	554,43	182,93	86,79	47,89	28,74	18,19	11,95	8,07	5,56	3,90	
.47	557,57	184,81	88,06	48,79	29,39	18,68	12,32	8,35	5,78	4,07	
.48	560,65	186,66	89,31	49,68	30,05	19,17	12,69	8,63	6,00	4,24	
.49	563,65	188,47	90,54	50,56	30,70	19,65	13,06	8,92	6,22	4,41	
.50	566,60	190,25	91,75	51,44	31,34	20,14	13,43	9,20	6,44	4,58	
.51	569,48	192,00	92,95	52,30	31,98	20,62	13,80	9,49	6,66	4,76	
.52	572,30	193,72	94,13	53,15	32,61	21,10	14,17	9,78	6,89	4,93	
.53	575,06	195,41	95,29	53,99	33,24	21,58	14,54	10,06	7,11	5,11	
.54	577,77	197,08	96,44	54,82	33,87	22,06	14,91	10,35	7,34	5,29	
.55	580,43	198,71	97,57	55,65	34,48	22,53	15,27	10,64	7,57	5,47	
.56	583,03	200,32	98,68	56,46	35,10	23,00	15,64	10,93	7,79	5,65	
.57	585,59	201,90	99,78	57,27	35,71	23,47	16,01	11,21	8,02	5,83	
.58	588,09	203,45	100,87	58,17	36,31	23,94	16,37	11,50	8,25	6,02	
.59	590,56	204,98	101,94	59,06	36,91	24,40	16,73	11,79	8,48	6,20	
.60	592,97	206,49	102,99	59,94	37,50	24,96	17,10	12,08	8,71	6,39	

H	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	N <sub>w</sub>
.61	595,34	207,97	104,04	60,41	38,09	25,32	17,46	12,36	8,94	6,57	
.62	597,67	209,43	105,07	61,17	38,68	25,78	17,82	12,65	9,17	6,76	
.63	599,96	210,87	106,08	61,93	39,26	26,23	18,18	12,94	9,40	6,95	
.64	602,21	212,28	107,08	62,68	39,93	26,68	18,53	13,23	9,63	7,14	
.65	604,42	213,67	108,07	63,42	40,40	27,13	18,89	13,51	9,87	7,32	
.66	606,59	215,05	109,05	64,15	40,97	27,57	19,24	13,80	10,10	7,51	
.67	608,72	216,40	110,01	64,97	41,53	28,01	19,60	14,08	10,33	7,70	
.68	610,92	217,73	110,97	65,59	42,08	28,45	19,95	14,37	10,56	7,89	
.69	612,89	219,05	111,91	66,30	42,63	28,89	20,30	14,65	10,79	8,08	
.70	614,92	220,34	112,84	67,00	43,18	29,32	20,65	14,93	11,02	8,27	
.75	624,61	226,56	117,32	70,41	45,85	31,45	22,36	16,33	12,13	9,23	
.80	633,58	232,36	121,54	73,64	48,40	33,50	24,04	17,72	13,32	10,18	
.85	641,93	237,80	125,53	76,72	50,85	35,49	25,67	19,07	14,46	11,14	
.90	649,71	242,91	129,30	79,66	53,20	37,41	27,26	20,40	15,58	12,09	
.95	657,00	247,72	132,88	82,46	55,46	39,27	28,91	21,70	16,68	13,02	
1,00	663,84	252,26	136,27	85,13	57,63	41,06	30,31	22,97	17,75	13,95	
1,05	670,27	256,56	139,50	87,69	59,72	42,79	31,77	24,21	18,82	14,87	
1,10	676,34	260,63	142,58	90,14	61,72	44,47	33,19	25,42	19,87	15,77	
1,15	682,07	264,50	145,51	92,48	63,65	46,08	34,56	26,60	20,89	16,66	
1,20	687,50	268,18	148,31	94,73	65,50	47,65	35,90	27,75	21,89	17,53	
1,25	692,65	271,69	150,99	96,89	67,29	49,16	37,19	28,87	22,86	18,39	
1,30	697,55	275,02	153,55	98,95	69,02	50,62	38,45	29,96	23,82	19,23	
1,35	702,21	278,20	156,00	100,94	70,68	52,04	39,67	31,03	24,75	20,05	
1,40	706,65	281,25	158,35	102,85	72,28	53,40	40,85	32,06	25,66	20,86	
1,45	710,89	284,17	160,61	104,70	73,83	54,73	42,00	33,07	26,55	21,65	
1,50	714,94	286,96	162,78	106,47	75,32	56,01	43,12	34,05	27,42	22,43	
1,55	718,81	289,65	164,87	108,18	76,77	57,26	44,21	35,01	28,27	23,18	
1,60	722,53	292,22	166,88	109,83	78,17	58,46	45,26	35,94	29,10	23,92	
1,65	726,09	294,69	168,81	111,43	79,52	59,63	46,28	36,84	29,90	24,65	
1,70	729,51	297,08	170,68	112,97	80,83	60,77	47,28	37,73	30,69	25,36	

Pauschalwerte von Einbruchsverspätungen

Über die Endverspätungen von Personenzügen auf großen Knotenbahnhöfen werden besondere Aufschreibungen geführt. Wenn man die Werte des Jahres 1969 als repräsentativ betrachtet, ergibt sich folgendes Bild: Die TEE, F, D und E-Züge hatten in 44 % der Fälle eine Endverspätung. Sie betrug in 7 % der Fälle mehr als 15 min und in 21 % der Fälle mehr als 5 min. Die Nahverkehrszüge hatten in 1 % der Fälle mehr als 15 min und in 9 % der Fälle mehr als 5 min Endverspätung. In 29 % der Fälle trat bei diesen Zügen eine Endverspätung auf.

Nach Gleichung (3.19) ist für  $p_2 = \infty$

$$h_{p1} = N g e^{-p_1/p_m}$$

oder

$$p_m = \frac{p_1}{\ln \frac{N g}{h_{p1}}}$$

Daraus ergibt sich

Gattung	g	$h_{p1}/N$	$\frac{N g}{h_{p1}}$	$\ln \frac{N g}{h_{p1}}$	$p_1$	$p_m$
TEE, D, F, E	0,44	0,07	6,29	1,839	15	8,16
	0,44	0,21	2,10	0,740	5	6,76
	0,44					7,46
N	0,29	0,01	29,00	3,025	15	4,96
	0,29	0,09	3,22	1,170	5	4,27
	0,29					4,61
TEEM	0,44	0,13	3,38	1,219	60	49,22
		0,22	2,00	0,693	30	43,29
	0,44					46,25

Die für die TEEM angegebenen Werte umfassen 573 Verspätungsfälle bei der Ankunft auf dem Grenzbahnhof oder bei der Übergabe an eine fremde Verwaltung vom Juli 1972.



## Anlage 19.2

### Blatt 1

#### Ermittlung des Wartezuschlages für die Überquerung des Gleises der Gegenrichtung

Wenn es möglich ist, die Parameter der Gleichung (19.16) zu bestimmen, läßt sich der durchschnittliche Wartezuschlag  $t_{zw}$  nach (19.16) ermitteln. Da die Ermittlung von  $\bar{F}_b$  jedoch die Kenntnis über die Anzahl der Züge je Zuggattungsgruppe und damit die Leistungsfähigkeit des Gleises der Gegenrichtung voraussetzt, muß für  $N_b$  und  $\bar{F}_b$  eine brauchbare Näherung gefunden werden.

Hierbei ist es vorteilhaft, daß Überholungsbahnhöfe sich im allgemeinen nur wenig voneinander unterscheiden. Bei "falsch" liegendem Überholungsgleis beträgt der Abstand zwischen Einfahrtsignal und Ausfahrtsignal kaum über 1100 m. Der Abstand zwischen dem Ausfahrtsignal und der Fahrstraßenzugschlußstelle für die Ausfahrt beträgt um 200 m und der Vorsignalabstand 1000 m. Die Sperrstrecke eines Überholungsbahnhofes mit 750 m langem Überholungsgleis beträgt also rund 2 300 m.

Nach " Statistische Angaben über die Deutsche Bundesbahn 1971 " Tafel III/16 betrug global die durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit aller Züge 59,09 km/h, davon die der Personenzüge 67,6 km/h und die der Güterzüge 49,5 km/h.

Die mittlere Länge der Züge kann über die durchschnittliche Anzahl der Achsen je Zug geschätzt werden. Im Jahr 1971 betrug die durchschnittliche Stärke der Züge rund 40 Achsen je Zug, also 10 vierachsige Wagen je Zug. Wegen der überwiegenden Anzahl der Reisezüge kann der normale 4-Achsige Reisezugwagen mit 22,4 m Länge als Maßstab für die Zuglänge verwendet werden. Unter dieser Voraussetzung ergibt sich eine mittlere Länge von 5,6 m je Achse. Dieser Wert dürfte auch für Güterzüge kaum zu hoch gegriffen sein. Man kann also mit einer durchschnittlichen Zuglänge von  $40 \cdot 5,6 = 224$  m rechnen.

Bei rund 60 km/h durchschnittlicher Fahrgeschwindigkeit ergibt sich auf der Sperrstrecke von 2 300 m und der Zuglänge von 224 m also auf 2524 m eine Fahrzeit von 2,5 min.

Daraus ergibt sich als durchschnittliche Bahnhofssperrzeit für einen Überholungsbahnhof

	Stellwerk:	Dr	el.mech.	mech.
Fahrzeit		2,5	2,5	2,5
Sichtzeit		0,2	0,2	0,2
Fahrstraßenbildezeit [19]		0,1	0,3	0,8
Fahrstraßenauflösezeit [19]		0,0	0,3	0,4
$\bar{t}_b =$		2,8	3,3	3,9 [min]

Die Durchschnittliche Bruttomasse eines Durchgangsgüterzuges betrug 1055 t. Bei einer durchschnittlichen Gewichtsauslastung von 73 % (vgl. Anlage 10.2) entspricht dem eine durchschnittliche Fahrplanlast von 1445 t. Der am Einfahrsignal haltende Güterzug kann bei der Fahrt von Einfahrsignal bis Ausfahrtsignal bei einer Bespannung mit Tfz 140 bis zu  $s = 4\%$  eine Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h erreichen [2]

Daraus ergibt sich als durchschnittliche Bahnhofssperrzeit bei der Einfahrt eines am Einfahrsignal haltenden Dg in ein nur durch Überqueren der Gegenrichtung erreichbares Überholungs-gleis

	Stellwerk:	Dr	e.m.	mech.
Fahrzeit mit $v=50$ km/h auf 1100 m		1,3	1,3	1,3
Beschleunigungszeitzuschlag [2]		1,0	1,0	1,0
Bremszeitzuschlag		0,2	0,2	0,2
Sichtzeit (Signalaufnahme)		0,2	0,2	0,2
Fahrstraßenbildezeit u. -Auflösezeit		0,1	0,6	1,2
$t_e =$		2,8	3,3	3,9

Die Sperrzeit  $t_a$  des Dg bei der Ausfahrt beruht auf der Fahrt vom Ausfahrtsignal bis zu dem Punkt der Strecke, an dem der Zugschluß die Fahrstraßenzugschlußstelle überfährt. Die durchschnittliche Länge der Dg beträgt 94,6 Achsen, bei 5,6 m/Achse also 530 m. Der Abstand vom Ausfahrtsignal bis zur Fahrstraßenzugschlußstelle beträgt wieder 200 m, sodaß die Sperrstrecke rund 750 m beträgt. Wegen der Weichenkrümmungen wird bis zum Ende der Ausfahrstraße  $v = 50$  km/h anzusetzen sein.

noch Anlage 19.2

Blatt 3

Daraus ergibt sich die durchschnittliche Bahnhofssperrzeit  $t_a$  eines aus einem "falsch" liegenden Überholungsgleis ausfahrenden durchschnittlichen Dg bei  $s = 4 \%$ , Tfz 140 und Zugmasse 1055 t.

	Stellwerk:	Dr	e.m.	mech.
Fahrzeit mit $v=50$ km/h auf 750 m		0,9	0,9	0,9
Beschleunigungszeitzuschlag		1,0	1,0	1,0
Sichtzeit (Signalaufnahme)		0,2	0,2	0,2
Fahrstraßenbilde u.-auflösezeit		0,1	0,6	1,2
$t_a =$		2,2	2,7	3,3

Die Leistungsfähigkeit normal ausgebauter zweigleisiger Strecken liegt nach den vorliegenden betrieblichen Erfahrungen um etwa  $N_v = 120$  Züge je Tag und streut zwischen etwa 80 Zügen je Tag und 160 Zügen je Tag.

Setzt man nun diese Globalwerte in Gleichung (19.16) ein, so erhält man als durchschnittlichen Wartezeitzuschlag  $t_{zwe}$  bei der Einfahrt eines Dg in ein "falsch" liegendes Überholungsgleis

$$t_{zwe} = (\bar{t}_b + t_e)^2 N_v / 2880$$

$$t_{zwe} = 1,3 \text{ min (Dr-Stellwerk)}$$

$$t_{zwe} = 1,8 \text{ min (elektro-mechanisches Stellwerk)}$$

$$t_{zwe} = 2,5 \text{ min (mechanisches Fahrdienstleiter-Stellwerk)}$$

$$t_{zwe} = 5,0 \text{ min (abhängiges mech. Wärterstellwerk)}$$

Die durchschnittliche Wartezeit  $t_{zwa}$  eines Dg bei der Ausfahrt aus einem "falsch" liegenden Überholungsgleis beträgt

$$t_{zwa} = (\bar{t}_b + t_a)^2 N_v / 2880$$

$$t_{zwa} = 1,0 \text{ min (Dr-Stellwerk)}$$

$$t_{zwa} = 1,5 \text{ min (elektro-mechanisches Stellwerk)}$$

$$t_{zwa} = 2,2 \text{ min (mechanisches Fahrdienstleiter-Stellwerk)}$$

$$t_{zwa} = 4,5 \text{ min (abhängiges mech. Wärterstellwerk)}$$

Die hier angegebenen Werte gelten für  $N_v = 120$  Züge je Tag. Sie sind für andere Zugzahlen proportional umzurechnen.



Auf Blatt 4 dieser Anlage ist gezeigt, wie die Sperrzeitentrepfen durch die Wartezuschläge  $t_{zwe}$  und  $t_{zwa}$  verändert werden. Aus den Zeitabständen  $t_{\tau}$  zwischen den Zeit-Weglinien bei Benutzung "falsch" oder "richtig" liegender Überholungsgleise ist zu erkennen, welche Bahnhöfe als Überholungsbahnhöfe betrachtet werden können. Dabei ist nur der Zeitabstand  $t_{te}$  bei der Einfahrt in den Überholungsbahnhof für die Entscheidung des Fahrdienstleiters über die Benutzung des "falsch" liegenden Überholungsgleises entscheidend. Daher kann Bahnhof D nicht als Überholungsbahnhof gelten, obwohl der Zeitabstand  $t_{ta}$  bei der Ausfahrt noch größer wäre.

Wenn keine besonderen Verhältnisse vorliegen, kann die Anfahrzeitdifferenz  $t_{za}$  vernachlässigt werden. Dieser Wert ist unabhängig von der Art der Stellwerke. Die Fahrzeit eines Dg bei Durchfahrt mit  $v=80$  km vom Vorsignal bis zum Ausfahrtsignal, also bis zu der Stelle an der der haltende Dg anfährt, beträgt auf der Strecke von 2100 m 1,6 min. Der Anfahrzeitzuschlag eines Dg mit der Durchschnittsmasse von 1055 t und  $s = 4 \text{ ‰}$  beträgt demgegenüber 1,7 min und bei  $s = 0 \text{ ‰}$  1,3 min.

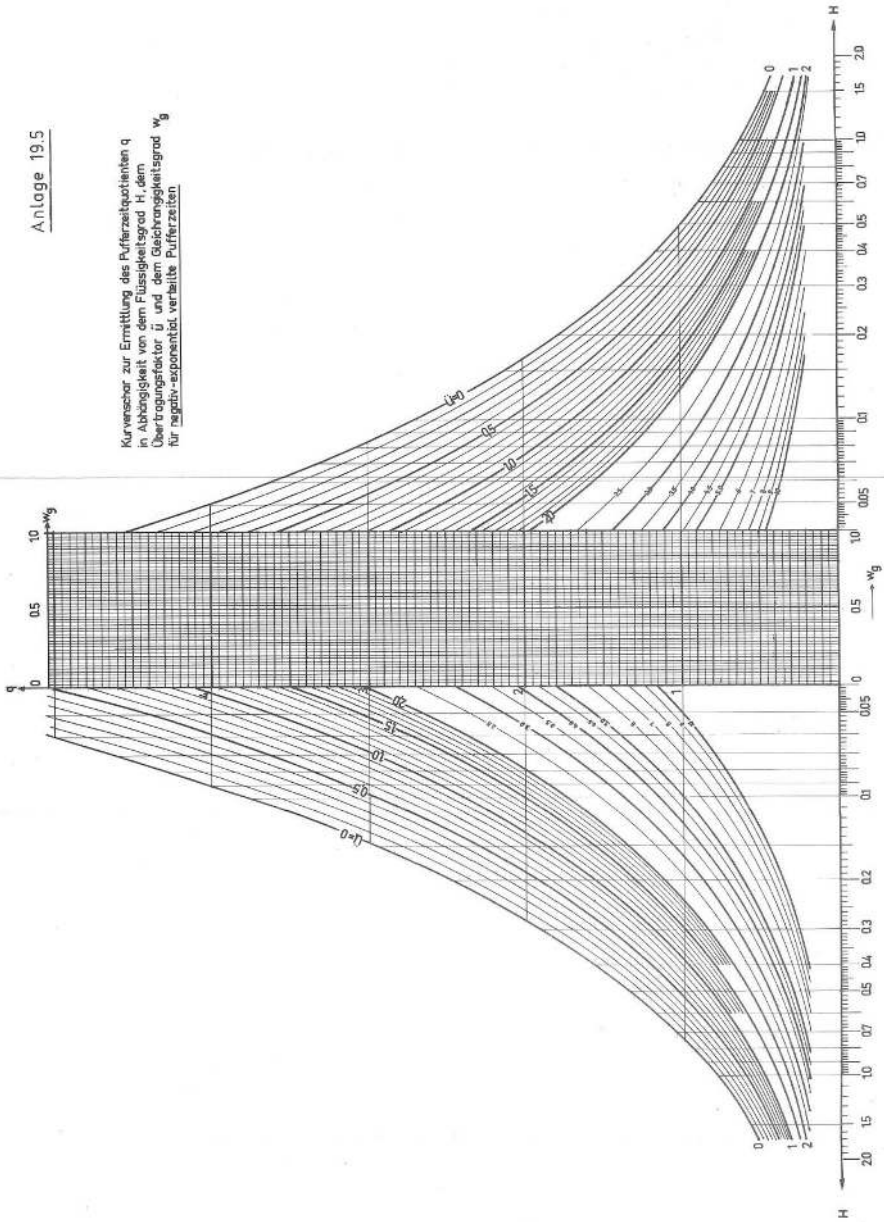
TABELLE ZUR BESTIMMUNG DES PUFFERZEITQUOTIENTEN q BEI NEGATIV EXPONENTIAL VERTEILTEN PUFFERZEITEN

H =	0-31		0-32		0-33		0-34		0-35		0-36		0-37		0-38		0-39		0-40	
	Ü	MG=0	MG=1	MG=0	MG=1	MG=0	MG=1	MG=0	MG=1	MG=0	MG=1	MG=0	MG=1	MG=0	MG=1	MG=0	MG=1	MG=0	MG=1	MG=0
10,00	0,14	0,26	0,13	0,25	0,13	0,24	0,13	0,24	0,13	0,23	0,12	0,23	0,12	0,22	0,12	0,22	0,12	0,21	0,12	0,21
9,00	0,15	0,28	0,14	0,27	0,14	0,27	0,14	0,27	0,14	0,26	0,13	0,24	0,13	0,23	0,13	0,23	0,13	0,22	0,13	0,22
8,00	0,16	0,29	0,15	0,28	0,15	0,28	0,15	0,28	0,15	0,27	0,14	0,26	0,14	0,25	0,14	0,25	0,14	0,24	0,14	0,23
7,00	0,17	0,31	0,17	0,30	0,16	0,29	0,16	0,29	0,16	0,28	0,15	0,26	0,15	0,25	0,15	0,26	0,15	0,26	0,15	0,25
6,00	0,18	0,32	0,18	0,32	0,17	0,31	0,17	0,31	0,17	0,30	0,17	0,29	0,17	0,28	0,16	0,28	0,16	0,27	0,15	0,26
5,00	0,19	0,34	0,19	0,33	0,19	0,33	0,18	0,32	0,18	0,31	0,18	0,30	0,17	0,29	0,17	0,29	0,17	0,28	0,17	0,28
4,00	0,20	0,36	0,20	0,35	0,20	0,35	0,20	0,35	0,20	0,34	0,19	0,32	0,19	0,32	0,18	0,31	0,18	0,30	0,18	0,30
3,00	0,21	0,37	0,21	0,37	0,21	0,37	0,21	0,37	0,21	0,36	0,20	0,34	0,20	0,34	0,19	0,32	0,19	0,32	0,19	0,32
2,00	0,22	0,39	0,22	0,39	0,22	0,39	0,22	0,39	0,22	0,38	0,21	0,37	0,22	0,36	0,22	0,36	0,22	0,35	0,22	0,35
1,90	0,22	0,41	0,22	0,40	0,22	0,39	0,22	0,39	0,22	0,38	0,21	0,37	0,22	0,36	0,22	0,35	0,22	0,35	0,22	0,35
1,80	0,23	0,42	0,23	0,41	0,23	0,40	0,23	0,40	0,23	0,39	0,22	0,38	0,23	0,37	0,23	0,37	0,23	0,36	0,23	0,36
1,70	0,23	0,44	0,23	0,43	0,23	0,42	0,23	0,41	0,23	0,40	0,23	0,39	0,23	0,38	0,23	0,37	0,23	0,36	0,23	0,36
1,60	0,24	0,45	0,24	0,44	0,24	0,43	0,24	0,42	0,24	0,41	0,23	0,40	0,24	0,39	0,24	0,38	0,24	0,37	0,24	0,37
1,50	0,24	0,47	0,24	0,46	0,24	0,45	0,24	0,44	0,24	0,43	0,24	0,41	0,24	0,40	0,24	0,41	0,24	0,40	0,24	0,40
1,40	0,25	0,48	0,25	0,47	0,25	0,46	0,25	0,45	0,25	0,44	0,25	0,42	0,25	0,43	0,25	0,44	0,25	0,43	0,25	0,44
1,30	0,25	0,50	0,25	0,49	0,25	0,48	0,25	0,47	0,25	0,46	0,25	0,44	0,25	0,43	0,25	0,44	0,25	0,43	0,25	0,44
1,20	0,26	0,51	0,26	0,50	0,26	0,49	0,26	0,48	0,26	0,47	0,26	0,45	0,26	0,44	0,26	0,45	0,26	0,44	0,26	0,44
1,10	0,26	0,53	0,26	0,52	0,26	0,51	0,26	0,50	0,26	0,49	0,26	0,47	0,26	0,46	0,26	0,45	0,26	0,44	0,26	0,44
1,00	0,27	0,54	0,27	0,53	0,27	0,52	0,27	0,51	0,27	0,50	0,27	0,48	0,27	0,47	0,27	0,46	0,27	0,45	0,27	0,44
0,90	0,27	0,56	0,27	0,55	0,27	0,54	0,27	0,53	0,27	0,52	0,27	0,49	0,27	0,48	0,27	0,47	0,27	0,46	0,27	0,45
0,80	0,28	0,57	0,28	0,56	0,28	0,55	0,28	0,54	0,28	0,53	0,28	0,50	0,28	0,49	0,28	0,48	0,28	0,47	0,28	0,46
0,70	0,28	0,59	0,28	0,58	0,28	0,57	0,28	0,56	0,28	0,55	0,28	0,52	0,28	0,50	0,28	0,49	0,28	0,48	0,28	0,47
0,60	0,29	0,60	0,29	0,59	0,29	0,58	0,29	0,57	0,29	0,56	0,29	0,54	0,29	0,52	0,29	0,51	0,29	0,50	0,29	0,48
0,50	0,29	0,62	0,29	0,61	0,29	0,60	0,29	0,59	0,29	0,58	0,29	0,55	0,29	0,54	0,29	0,53	0,29	0,52	0,29	0,51
0,40	0,30	0,63	0,30	0,62	0,30	0,61	0,30	0,60	0,30	0,59	0,30	0,56	0,30	0,54	0,30	0,53	0,30	0,52	0,30	0,51
0,30	0,30	0,64	0,30	0,63	0,30	0,62	0,30	0,61	0,30	0,60	0,30	0,57	0,30	0,55	0,30	0,54	0,30	0,53	0,30	0,52
0,20	0,31	0,65	0,31	0,64	0,31	0,63	0,31	0,62	0,31	0,61	0,31	0,58	0,31	0,56	0,31	0,55	0,31	0,54	0,31	0,53
0,10	0,31	0,66	0,31	0,65	0,31	0,64	0,31	0,63	0,31	0,62	0,31	0,59	0,31	0,57	0,31	0,56	0,31	0,55	0,31	0,54
0,00	0,31	0,67	0,31	0,66	0,31	0,65	0,31	0,64	0,31	0,63	0,31	0,60	0,31	0,58	0,31	0,57	0,31	0,56	0,31	0,55



Anlage 19.5

Kurvenschar zur Ermittlung des Pufferzeitquotienten  $q$  in Abhängigkeit von dem Flüssigkeitsgrad  $H$ , dem Übertragungsfaktor  $\bar{u}$  und dem Geschwindigkeitsgrad  $w_g$  für negativ-exponential verteilte Pufferzeiten





Kurven zur Ermittlung des Pufferzeitkoeffizienten  $\eta_c$  in Abhängigkeit von dem Flüssigkeitsgrad  $H$ , dem Übertragungsfaktor  $\bar{u}$  und dem Gleichstromleistungsgrad  $w_g$  für konstante Pufferzeiten

