

HEINRICH-HERTZ-INSTITUT FÜR SCHWINGUNGSFORSCHUNG
BERLIN-CHARLOTTENBURG

Technischer Bericht Nr. 158

Das Verhalten der Teilnehmer einer Nebenstellenanlage
Teil 3: Belegungsdauer, Belegungsabstände
und Wiederholungsabstände

von

Dipl.-Ing. Rolf Evers



B e r l i n

1 9 7 2



Technischer Bericht Nr. 158

Das Verhalten der Teilnehmer einer Nebenstellenanlage -
Teil 3: Belegungsdauer, Belegungsabstände und Wieder-
holungsabstände

Zusammenfassung:

Der Bericht enthält zusammen mit den Technischen Berichten Nr. 143 (1971) und Nr. 146 (1971) die Ergebnisse einer 1970 in der Technischen Universität Berlin durchgeführten Messung, mit der das Verhalten der Teilnehmer, insbesondere ihre Reaktion auf erfolglose Anrufversuche, untersucht wurde. Die Ergebnisse sind wie folgt gegliedert:

- Teil 1 (Bericht Nr. 143): Die Häufigkeit von Wiederholungen nach erfolglosen Anrufversuchen
- Teil 2 (Bericht Nr. 146): Zeitintervalle innerhalb der Belegungen
- Teil 3 (Bericht Nr. 158): Belegungsdauer, Belegungsabstände und Wiederholungsabstände

Der vorliegende Bericht enthält für die angegebenen Zeitintervalle neben einer Zusammenstellung der errechneten Kenngrößen und einer Darstellung der Verteilungen eine kurze Beschreibung des Schätzverfahrens, mit dem die Parameter einer Näherungsfunktion für die Belegungs- und Wiederholungsabstände bestimmt werden.

Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung

Der Bearbeiter

(Dipl.-Ing. Rolf Evers)

Der Abteilungsleiter

Der Institutsdirektor

(Prof.Dr.-Ing.Erich R. Berger)

(Prof.Dr.-Ing.F.W.Gundlach)

Berlin-Charlottenburg, den 20.12.1972

<u>Inhalt</u>	Seite
1. Einleitung	1
2. Darstellung der Meßergebnisse	2
2.1. Belegungsauern	2
2.2. Belegungs- und Wiederholungsabstände	12
3. Beschreibung der Verteilung der Belegungs- und Wiederholungsabstände durch eine Näherungsfunktion	18
3.1. Das Schätzverfahren zur Bestimmung der Näherungsfunktion	20
3.1.1. Lineare Regression	20
3.1.2. Rechengang zur Bestimmung der Parameter der Näherungsfunktion	22
3.2. Diskussion der für die Belegungs- und Wiederholungsabstände errechneten Kenngrößen	27
4. Zusammenfassung der Ergebnisse der Messung 1970	31
5. Literatur	34

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Abb. 1 bis 4	6
Abb. 5 bis 7	7
Abb. 8 bis 10	8
Abb. 11 bis 13	9
Tabelle 1	10
Tabelle 2	11
Abb. 14 und 15	14
Abb. 16 und 17	15
Abb. 18 und 19	16
Abb. 20 und 21	17
Abb. 22 und 23	24
Abb. 24 und 25	25
Abb. 26 und 27	26
Tabelle 3	29

1. Einleitung

Die Ergebnisse der 1970 durchgeführten Messung in der Nebenstellenanlage der Technischen Universität Berlin werden in den beiden Berichten Nr. 143 /1/, Nr. 146 /2/ und in dem vorliegenden Bericht beschrieben. In /1/ sind die beobachteten Anrufe klassifiziert in

1. erfolgreiche Anrufe, d.h. solche, die zu einem Gespräch führen: mE-Anrufe,
2. erfolglose Anrufe, d.h. solche, die nicht zu einem Gespräch führen: oE-Anrufe,
 - 2.a. Anrufe mit Gassenbesetzt: GB-Anrufe,
 - 2.b. Anrufe mit B-Teilnehmerbesetzt: TB-Anrufe,
 - 2.c. Anrufe mit Fehlern des A-Teilnehmers, d.h. solche, die erfolglos sind, weil der rufende Teilnehmer beim Verbindungsaufbau einen Fehler macht (Verbindungsabbruch, Falschwahl etc.) : TF-Anrufe,
 - 2.d. Anrufe ohne Antwort des B-Teilnehmers: oA-Anrufe.

Außerdem erfolgte die Klassifizierung in 1. Versuche, 2. Versuche etc. Das Ergebnis wurde für die beiden Verkehrsarten Internverkehr (Anrufe innerhalb der Nebenstellenanlage) und Ortsverkehr (Anrufe aus der Nebenstellenanlage in das Ortsnetz Berlin) dargestellt.

Die Klassifizierung ergibt allerdings noch kein eindeutiges Bild vom Verhalten des Teilnehmers, vielmehr vermittelt sie einen Einblick in die Struktur des Verkehrsflusses als Ergebnis des Teilnehmerverhaltens und des Systemverhaltens. Der Teilnehmer hat keine direkte Kenntnis vom Zustand des Systems, sondern reagiert auf diesen durch die Auswertung der Quittungs-

zeichen (Besetztton, Freiton, kein Hörton). Das Verhalten des Teilnehmers ergibt sich daher neben den in /2/ behandelten Zeitintervallen innerhalb der Belegungen aus der Belegungsdauer sowie aus den Belegungs- und Wiederholungsabständen in Abhängigkeit von der Klassifizierung der Anrufe.

2. Darstellung der Meßergebnisse

2.1. Belegungsdauer

In den Abbildungen 1 bis 13 ist die Wahrscheinlichkeit dargestellt, daß die Dauer einer Belegung mindestens gleich T ist. Die Kurven sind für 1. Versuche, Wiederholungen und alle Versuche (1. Versuche und Wiederholungen insgesamt) gezeichnet. Zur Abschätzung der statistischen Zuverlässigkeit wurde für alle Versuche die 1%-Vertrauensgrenze nach Kolmogoroff sowie zur Prüfung des Unterschiedes zwischen 1. Versuchen und Wiederholungen die Signifikanzgrenze nach dem Smirnoftest angegeben. Die beiden Größen sind in /2/, S. 3 ff. kurz erläutert.

Der Verkehrsingenieur setzt für die Belegungsdauer von Fernsprechanrufen im allgemeinen eine exponentielle Verteilung voraus (siehe /2/, S. 3). Die Überprüfung dieser Voraussetzung geschieht am einfachsten durch eine Darstellung mit logarithmischer Ordinatenenteilung und linearer Abszissentheilung, in der eine negative Exponentialverteilung eine Gerade mit negativer Steigung ergibt.

Die Abbildungen 1 bis 4 zeigen die Belegungsdauer für erfolglose Versuche mit GB, TB, TF und oA. Die Kurven lassen sich gut durch eine negative Exponentialfunktion (n.E.F.) der Form $\exp(-(t-T_0)/t_m)$ annähern, wobei T_0 die Mindestdauer und t_m den Mittelwert der Funktion $\exp(\tau/t_m)$, $\tau=t-T_0$, angibt. GB-Anrufe (Abb.1) haben eine sehr kurze Mindestdauer und eine sehr kurze mittlere Dauer. Das ist wesentlich dadurch

bedingt, daß nahezu alle GB-Fälle durch Blockierung der Amtsverbindungssätze der Nebenstellenanlage, also nach Wahl der ersten Ziffer, auftreten. Wiederholungen sind signifikant kürzer als 1. Versuche. Offenbar erwartet der Teilnehmer, nachdem er beim 1. Versuch Besetztton bekommen hat, daß auch bei weiteren Versuchen die Leitung nicht frei ist. Er ist daher auf den Empfang des Besetzttons vorbereitet und legt entsprechend schneller den Handapparat auf. TB-Anrufe (Abb. 2) haben eine längere mittlere und Mindestdauer, da erst die Rufnummer vollständig gewählt werden muß, bevor der Besetztton dem Teilnehmer den Fehlschlag des Verbindungsversuchs anzeigt. Der Unterschied zwischen 1. Versuchen und Wiederholungen ist nicht signifikant, aber auch hier sind Wiederholungen kürzer. TF-Anrufe (Abb. 3) haben, abgesehen von einem kleinen Anteil von etwa 5%, praktisch den gleichen Verlauf wie GB-Anrufe. Das ist dadurch zu erklären, daß der weitaus größte Teil dieser Fehler verursacht wird durch Teilnehmer, die versuchen, eine Fernverbindung zu wählen. Die Sperreinrichtung der Nebenstellenanlage legt dabei nach Wahl der Fernausscheidungsziffer Besetztton an. Danach verhält sich der Teilnehmer in etwa so wie bei GB-Anrufen. Der kleine Anteil von 5% mit längerer Belegungsdauer repräsentiert die übrigen auftretenden Fehlerarten. oA-Anrufe (Abb. 4) haben eine erheblich längere Belegungsdauer als die vorher erwähnten. Die große Mindestdauer ergibt sich aus der Zeit, die für die Wahl der vollständigen Rufnummer notwendig ist und einer Mindestwartzeit, die der rufende Teilnehmer dem Gerufenen einräumen muß, sich zu melden. Der Unterschied zwischen 1. Versuchen und Wiederholungen ist nicht signifikant, Wiederholungen haben sogar eine etwas längere Dauer.

Abbildung 5 zeigt alle erfolglosen Anrufe. Man erkennt an dem schwankenden Verlauf der Kurven deutlich die drei Gruppen mit kurzer Dauer (GB- und TF-Anrufe), mit mittlerer Dauer (TB-Anrufe) und mit langer Dauer (oA-Anrufe). 1. Versuche

und Wiederholungen weichen stark voneinander ab, da der Anteil der einzelnen Klassifizierungen bei 1. Versuchen und Wiederholungen unterschiedlich ist (siehe /1/).

Erfolgreiche Belegungen (Abb. 6) zeigen keine Abweichungen zwischen 1. Versuchen und Wiederholungen. Das ist erklärlich, da weder der Meldeverzug noch die Gesprächszeit allein vom Verhalten des rufenden Teilnehmers abhängen.

Faßt man alle Belegungen zusammen (Abb. 7), erkennt man an dem steilen Verlauf der Kurven bei kurzen Zeiten deutlich den Einfluß der erfolglosen Versuche. 1. Versuche und Wiederholungen weichen stark voneinander ab, da die Erfolgswahrscheinlichkeit mit der Ordnungszahl des Versuchs abnimmt.

Beim Internverkehr fehlen die GB-Anrufe, da die Blockierungswahrscheinlichkeit innerhalb der Anlage Null ist. Die Kurven für TB-Anrufe (Abb. 8) zeigen grundsätzlich den gleichen Verlauf wie bei Ortsanrufen; die Steigung ist im Internverkehr größer, da die Streuung der Verbindungsaufbauzeit infolge unterschiedlicher Rufnummernlängen hier fehlt. Bei TF-Anrufen hat ein erheblicher Anteil eine sehr lange Dauer. Es handelt sich dabei um Belegungen mit nur einer gewählten Ziffer ohne nachfolgendes sofortiges Auflegen. Vermutlich liegt hier eine mißbräuchliche Benutzung parallelgeschalteter Apparate vor. Unterschiede zwischen 1. Versuchen und Wiederholungen sind nicht signifikant, ebenso nicht bei oA-Anrufen (Abb. 10).

Die Kurven für oE-Anrufe haben eine etwas längere Mindestdauer als die im Ortsverkehr, da GB-Anrufe fehlen; im übrigen ist der grundsätzliche Verlauf der gleiche. Bei mE-Anrufen fällt ein großer Anteil sehr kurzer Belegungsauern auf. Offenbar handelt es sich hier um sehr kurze Gespräche, die im Internverkehr einer Nebenstellenanlage nur kurzen Anfragen oder Rückfragen dienen (siehe /2/, S. 45).

Entsprechend der kürzeren Dauer sowohl der TB- und oA-Anrufe als auch der mE-Anrufe ist die Dauer aller Belegungen kürzer als im Ortsverkehr. Auch hier sind 1. Versuche signifikant länger als Wiederholungen.

In Tabelle 1 sind Mittelwert und Streuung der gemessenen Belegungsdauer für die gesamte Meßzeit von 8.30 bis 16.30 Uhr angegeben. Die Unterschiede zwischen 1. Versuchen und Wiederholungen sind mit Students Test zur Prüfung einer Differenz (siehe /2/, S. 5) untersucht worden. Aus den Werten ergibt sich das gleiche Bild wie aus den Verteilungsfunktionen.

In Tabelle 2 sind die Mittelwerte der Belegungsauern für Tageszeiten mit starker Verkehrsbelastung und für die übrigen Tagesabschnitte berechnet. Als Abschnitte mit starkem Verkehr wurden nach /1/, S. 21, die Zeiten von 10.30 bis 11.30 Uhr und von 14.30 bis 15.30 Uhr genommen. Die Schranken für die Signifikanz der Unterschiede zwischen den Abschnitten A (mit starkem Verkehr) und B (mit schwachem Verkehr) sind nach Student (siehe voriger Absatz) für 1% und 5% Irrtumswahrscheinlichkeit angegeben. Beim Verkehr ins Ortsnetz sind nur GB-Anrufe in Abschnitten A signifikant kürzer als solche in Abschnitten B. Der Grund ist der höhere Anteil der Wiederholungen mit kürzerer Belegungsdauer in Abschnitten A. Ferner sind deutliche Unterschiede bei oE-Anrufen und allen Anrufen insgesamt erkennbar, die sich durch die höhere Wahrscheinlichkeit erfolgloser Versuche mit GB in den Abschnitten A ergeben.

Im Verkehr innerhalb der Nebenstellenanlage sind im Gegensatz zum Ortsverkehr mE-Anrufe in Abschnitten A signifikant länger als in Abschnitten B. Eine Erklärung hierfür kann nicht gegeben werden. Entsprechend dem hohen Anteil der mE-Anrufe sind auch alle Anrufe insgesamt in Abschnitten A länger als in Abschnitten B.

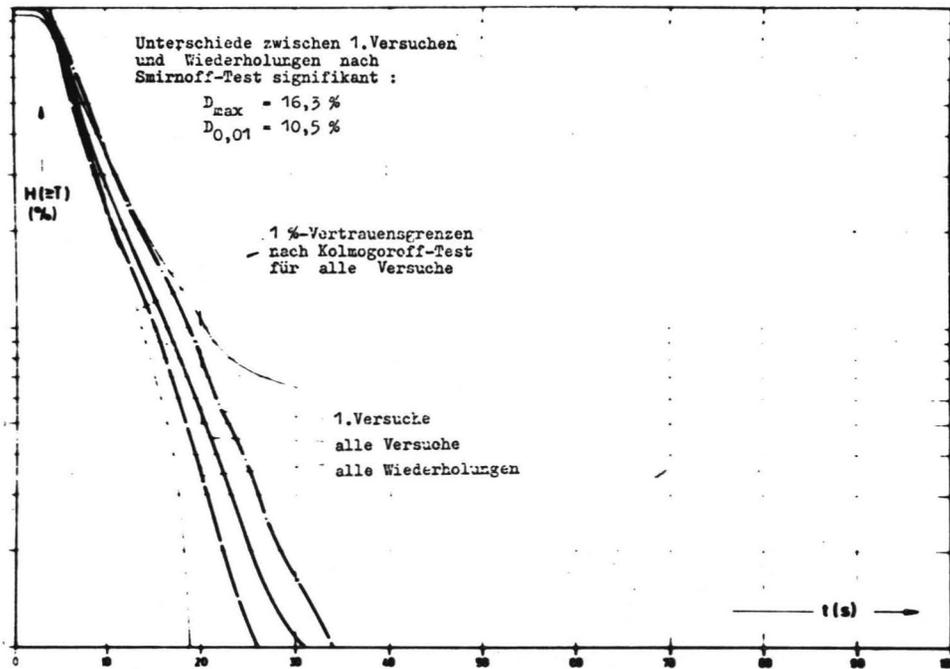


Abb.1 : Wahrscheinlichkeit von Belegungsauern $\geq T$ bei Gassenbesetzt - Ortsverkehr einer Nebenstellenanlage, Messung 1970

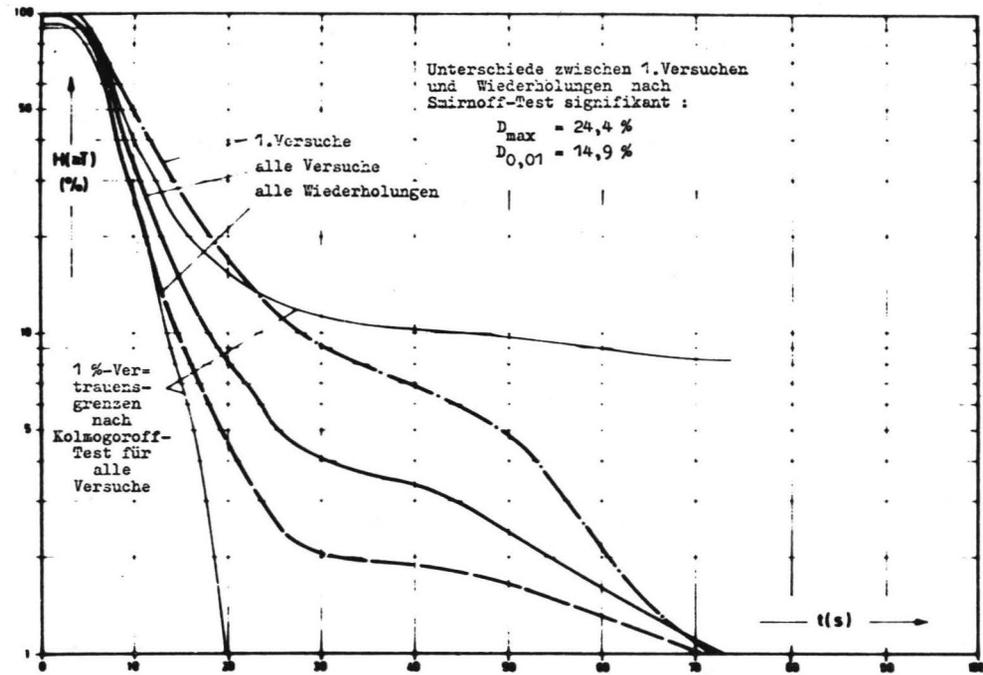


Abb.3 : Wahrscheinlichkeit von Belegungsauern $\geq T$ bei Fehlern des A-Teilnehmers - Ortsverkehr einer Nebenstellenanlage, Messung 1970

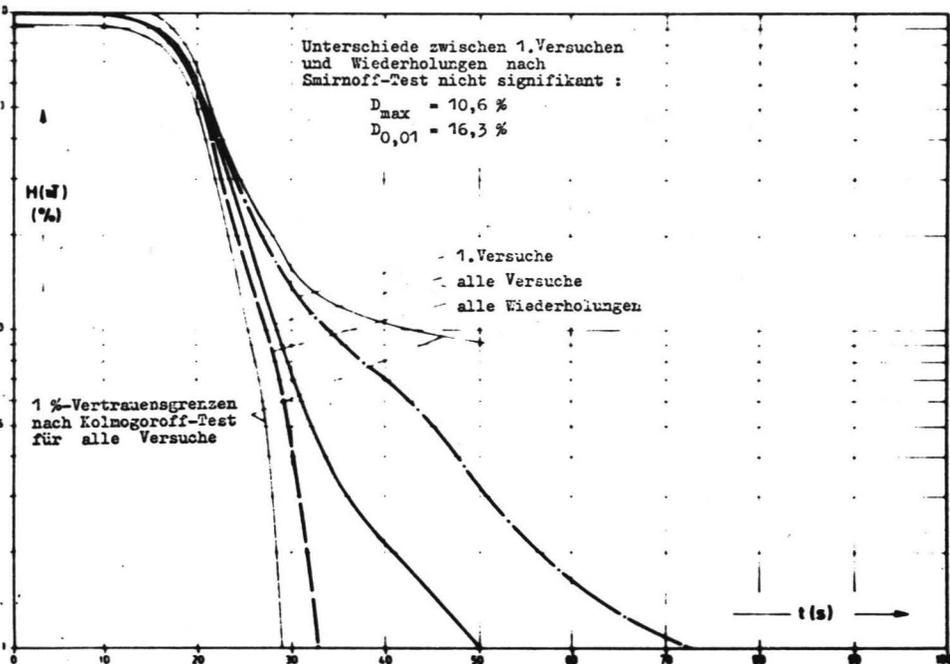


Abb.2 : Wahrscheinlichkeit von Belegungsauern $\geq T$ bei B-Teilnehmerbesetzt - Ortsverkehr einer Nebenstellenanlage, Messung 1970

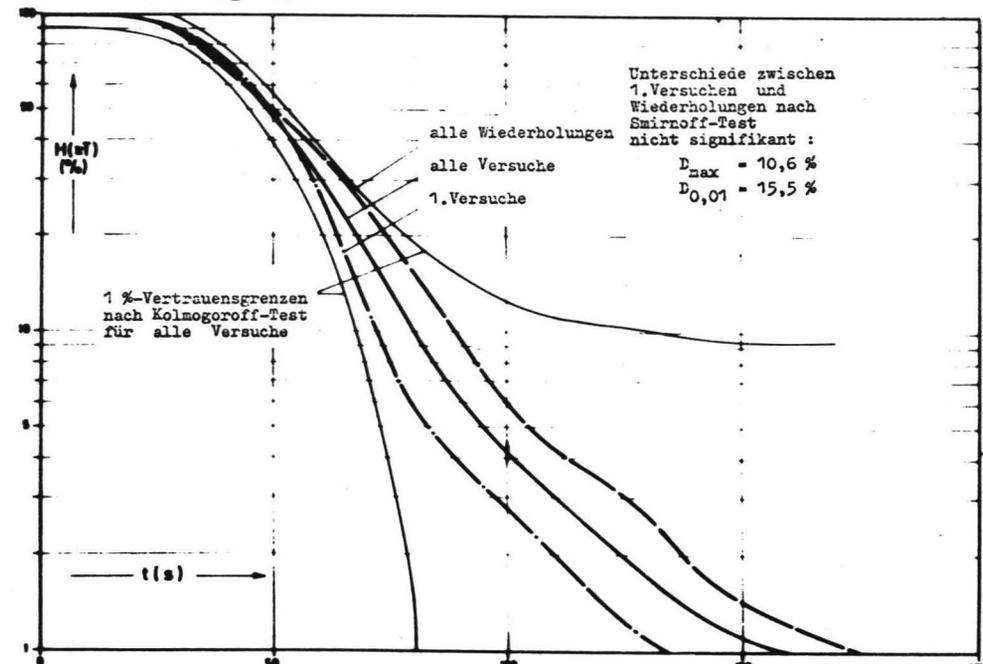


Abb.4 : Wahrscheinlichkeit von Belegungsauern $\geq T$ bei Anrufen ohne Antwort des B-Teilnehmers - Ortsverkehr einer Nebenstellenanlage, Messung 1970

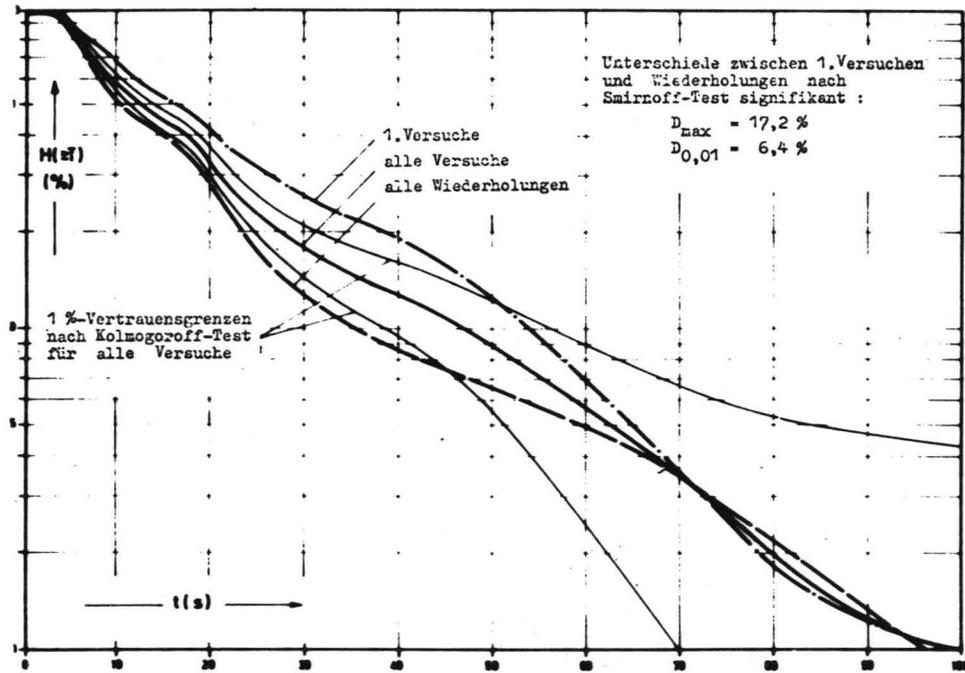


Abb.5 : Wahrscheinlichkeit von Belegungsdauern $\geq T$ bei erfolglosen Belegungen - Ortsverkehr einer Nebenstellenanlage, Messung 1970

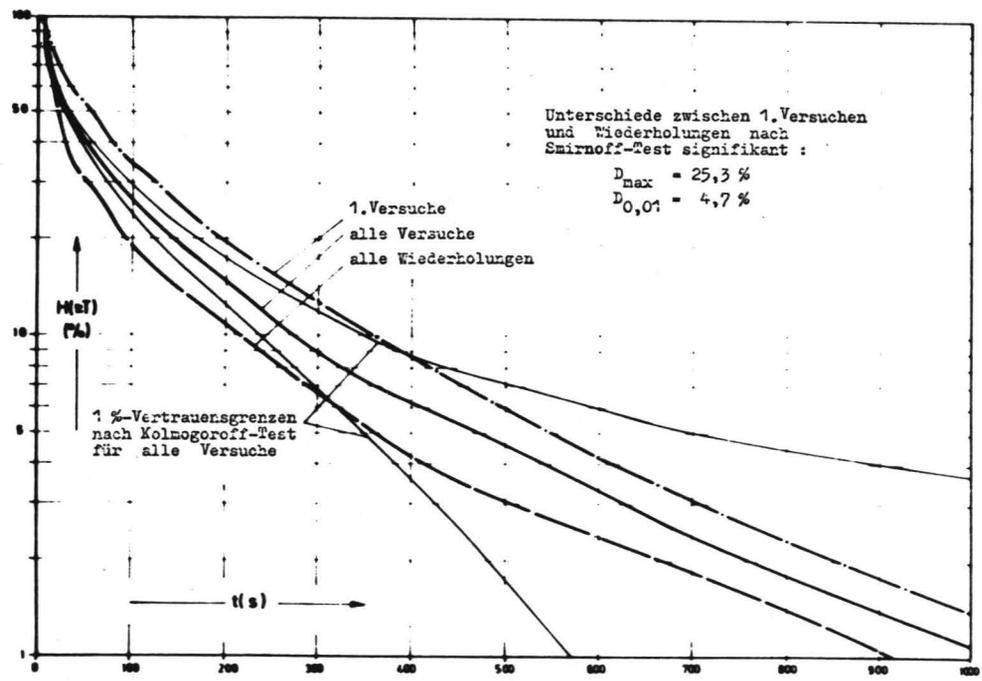


Abb.7 : Wahrscheinlichkeit von Belegungsdauern $\geq T$ - alle Belegungen, Ortsverkehr einer Nebenstellenanlage, Messung 1970

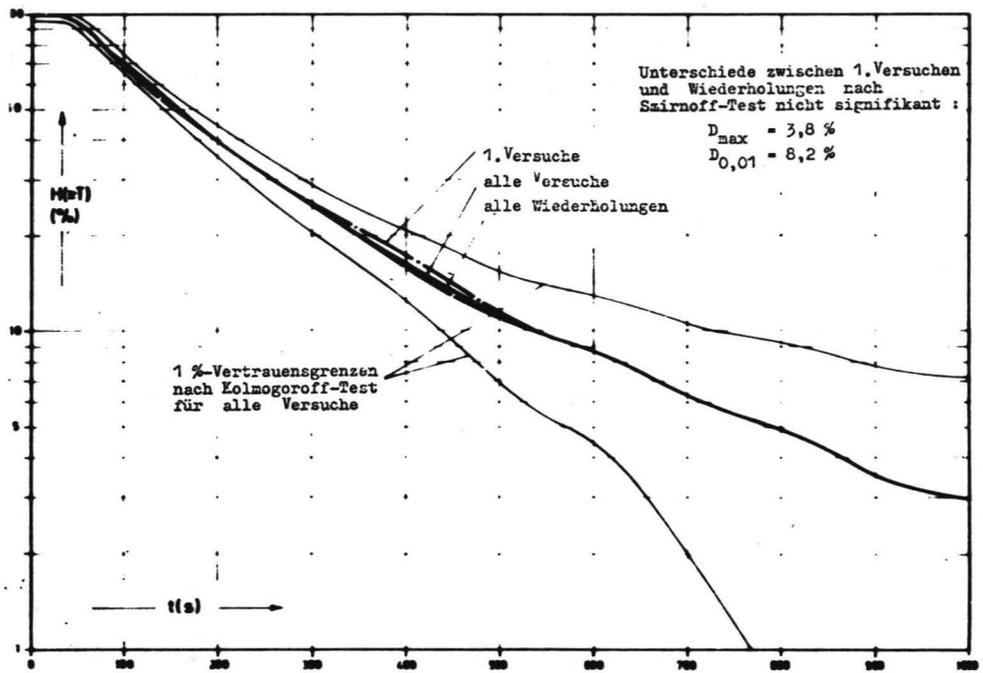


Abb.6 : Wahrscheinlichkeit von Belegungsdauern $\geq T$ bei erfolgreichen Belegungen - Ortsverkehr einer Nebenstellenanlage,

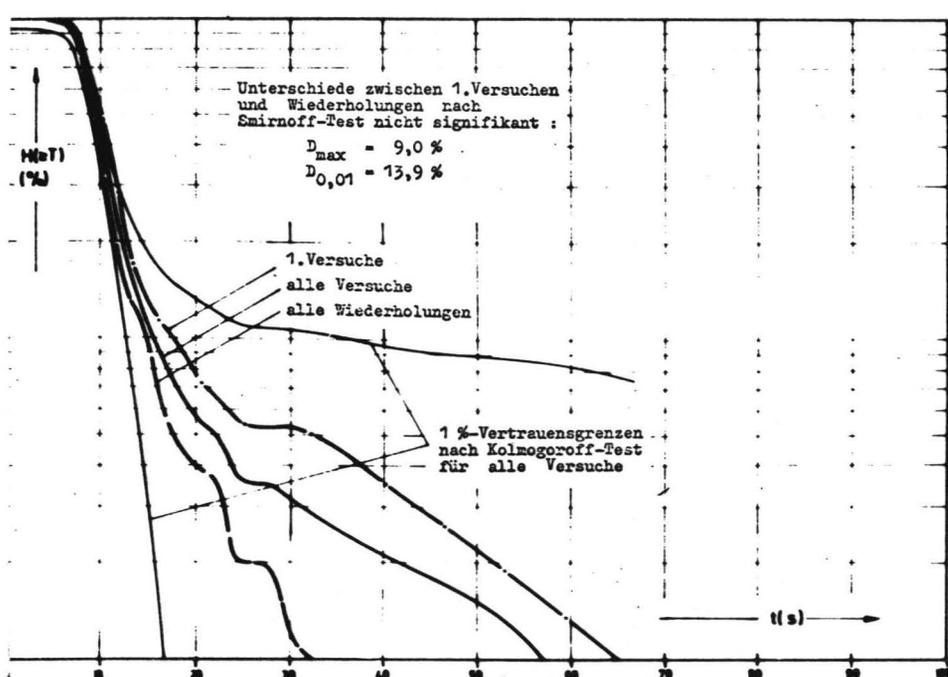


Abb.8 : Wahrscheinlichkeit von Belegungsdauern $\geq T$ bei B-Teilnehmer-besetzt - Internverkehr einer Nebenstellenanlage, Messung 1970

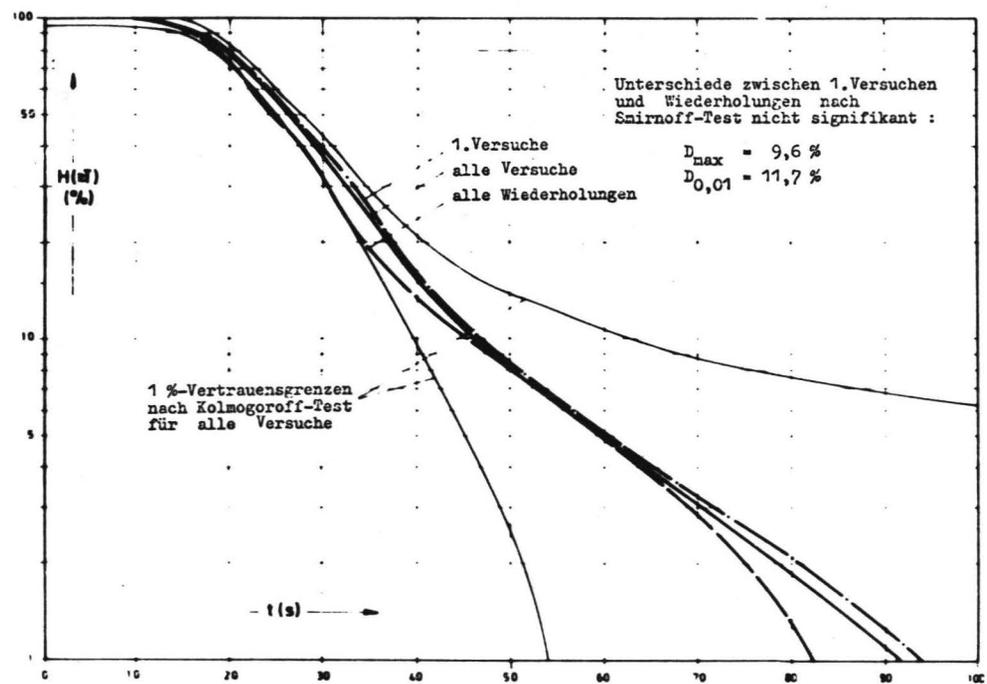


Abb.10 : Wahrscheinlichkeit von Belegungsdauern $\geq T$ bei Anrufen ohne Antwort des B-Teilnehmers - Internverkehr einer Nebenstellenanlage, Messung 1970

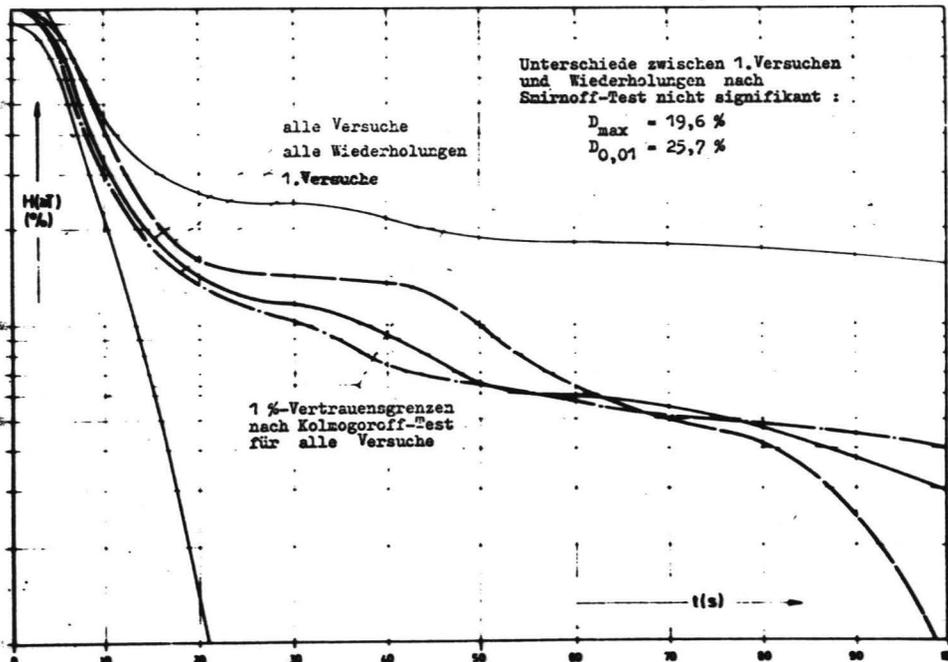


Abb.9 : Wahrscheinlichkeit von Belegungsdauern $\geq T$ bei Fehlern des A-Teilnehmers - Internverkehr einer Nebenstellenanlage, Messung 1970

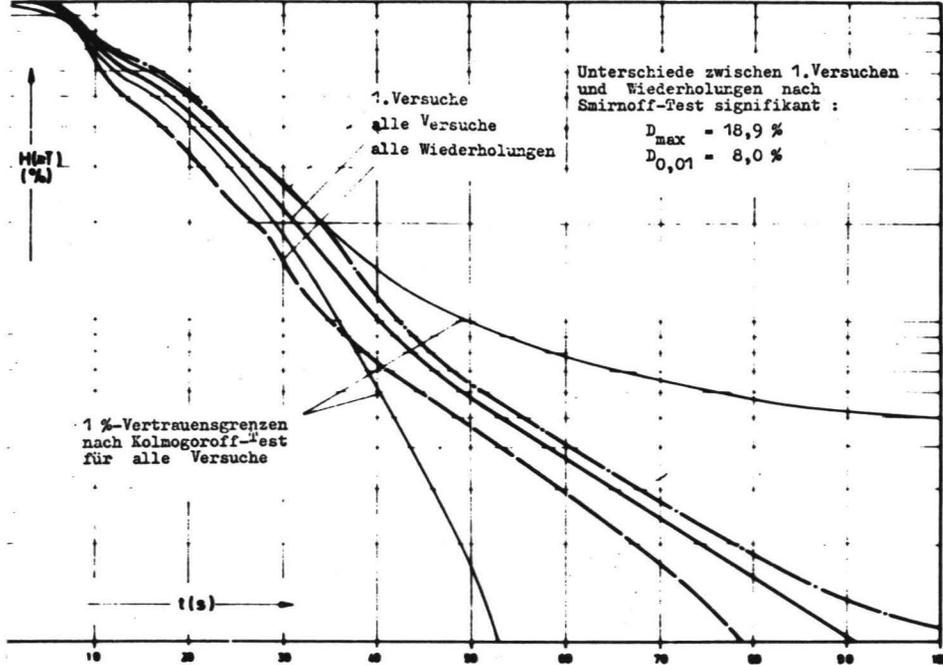


Abb.11 : Wahrscheinlichkeit von Belegungsdauern $\geq T$ bei erfolglosen Belegungen - Internverkehr einer Nebenstellenanlage, Messung 1970

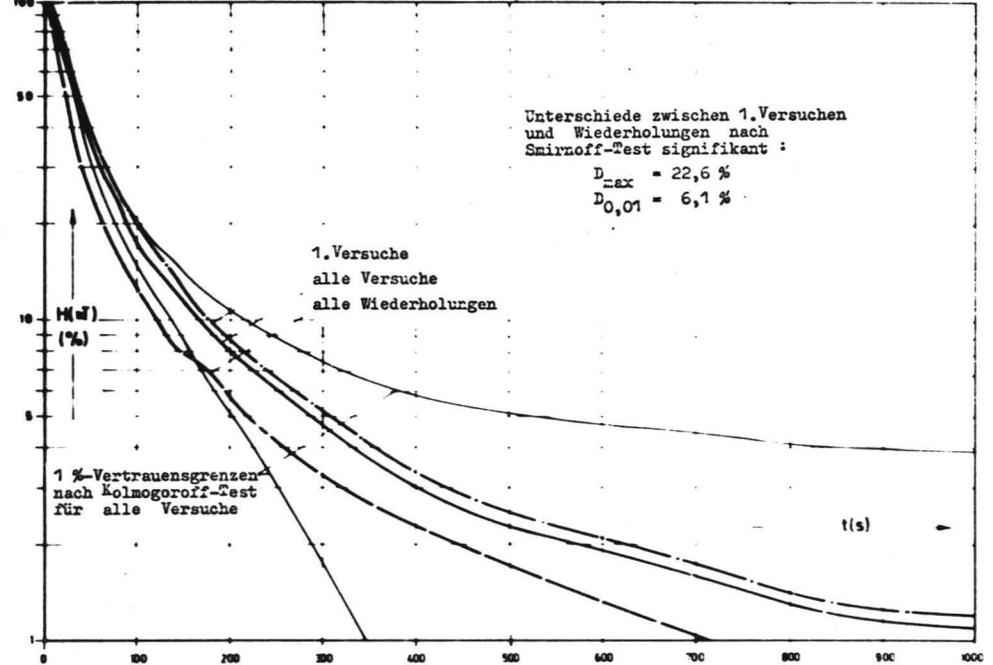


Abb.13 Wahrscheinlichkeit von Belegungsdauern $\geq T$ - alle Belegungen, Internverkehr einer Nebenstellenanlage, Messung 1970

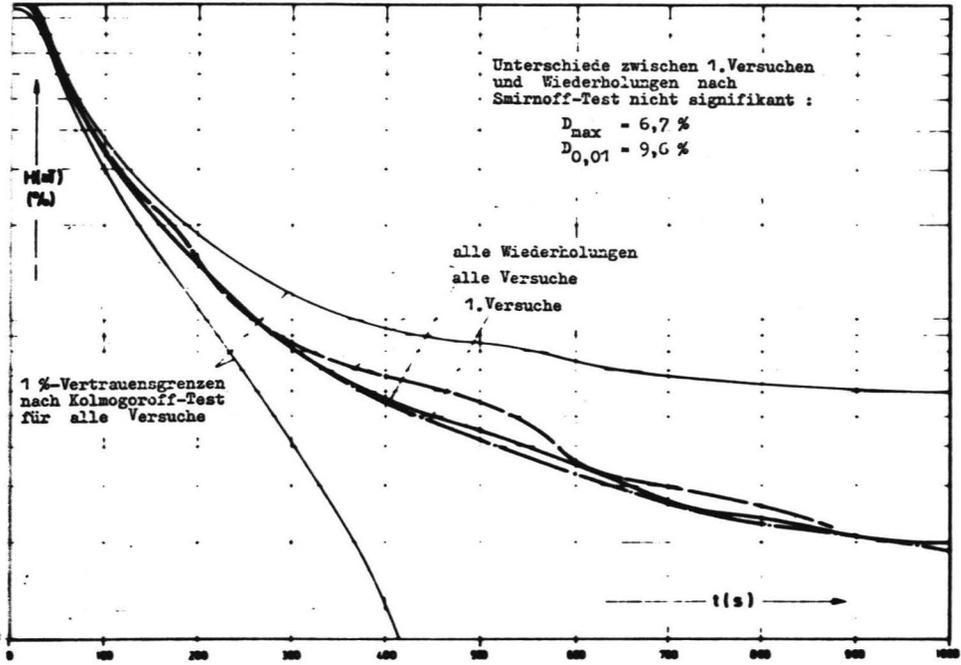


Abb.12 : Wahrscheinlichkeit von Belegungsdauern $\geq T$ bei erfolgreichen Belegungen - Internverkehr einer Nebenstellenanlage, Messung 1970

Tabelle 1 :

Mittelwert und mittlere quadratische Abweichung
der Belegungsauern, Meßzeitraum 8³⁰ - 16³⁰ Uhr,
Messung 1970 in einer Nebenstellenanlage

	Mittelwert	Obere und untere Grenze des Mittelwertes nach Students Test für 1% Irrtumswahrscheinlichkeit		Mittlere quadratische Abweichung	Unterschied zwischen den Mittelwerten der 1. Versuche und der Wiederholungen nach Students Test für 1% Irrtumswahrscheinlichkeit
	M (s)	M _{max} (s)	M _{min} (s)	s (s)	
Externverkehr einer Nebenstellenanlage					
Anrufe mit Gassenbesetzt					
1. Versuche	10,0	10,9	9,0	6,7	signifikant
Wiederholungen	8,2	9,0	7,5	7,1	
alle Versuche	8,9	9,5	8,3	7,0	
Anrufe mit B-Teilnehmerbesetzt					
1. Versuche	25,9	33,9	17,5	33,2	nicht signifikant
Wiederholungen	20,8	21,6	20,1	4,8	
alle Versuche	22,5	25,0	19,9	19,3	
Anrufe mit Fehlern des A-Teilnehmers					
1. Versuche	14,4	17,7	11,1	15,2	signifikant
Wiederholungen	9,9	11,5	8,3	11,4	
alle Versuche	11,2	12,7	9,7	12,8	
Anrufe ohne Antwort des B-Teilnehmers					
1. Versuche	52,8	60,2	45,4	41,9	nicht signifikant
Wiederholungen	56,4	61,7	51,1	34,8	
alle Versuche	54,4	59,6	49,1	38,8	
Erfolglose Anrufe					
1. Versuche	24,1	26,6	21,5	30,0	signifikant
Wiederholungen	17,6	19,0	16,2	21,0	
alle Versuche	20,1	21,4	18,8	25,2	
Erfolgreiche Anrufe					
1. Versuche	245,3	268,6	222,0	258,0	nicht signifikant
Wiederholungen	243,8	276,5	220,1	297,0	
alle Versuche	244,7	263,4	226,0	274,0	
Alle Anrufe					
1. Versuche	130,5	143,1	117,9	211,0	signifikant
Wiederholungen	78,7	88,6	68,8	185,0	
alle Versuche	103,2	111,4	95,0	198,0	
Internverkehr einer Nebenstellenanlage					
Anrufe mit B-Teilnehmerbesetzt					
1. Versuche	12,3	14,2	10,4	11,5	signifikant
Wiederholungen	10,3	11,3	9,3	6,1	
alle Versuche	11,2	12,3	10,1	9,1	
Anrufe mit Fehlern des A-Teilnehmers					
1. Versuche	37,4	77,7	0	172,2	nicht signifikant
Wiederholungen	16,0	23,5	8,5	19,2	
alle Versuche	31,5	60,5	2,5	147,0	
Anrufe ohne Antwort des B-Teilnehmers					
1. Versuche	31,1	33,4	28,8	22,7	nicht signifikant
Wiederholungen	28,2	29,2	26,5	14,6	
alle Versuche	30,3	32,2	28,4	20,9	
Erfolglose Anrufe					
1. Versuche	26,7	31,9	21,5	63,0	signifikant
Wiederholungen	18,4	20,0	16,8	15,1	
alle Versuche	23,8	27,1	20,5	51,8	
Erfolgreiche Anrufe					
1. Versuche	117,0	128,8	105,2	166,9	nicht signifikant
Wiederholungen	118,3	145,7	90,9	160,0	
alle Versuche	117,2	127,6	106,6	165,5	
Alle Anrufe					
1. Versuche	80,0	87,3	72,7	139,8	signifikant
Wiederholungen	53,9	63,3	44,5	107,1	
alle Versuche	71,6	77,5	65,7	132,0	

Tabelle 2 : Mittelwert und mittlere quadratische Abweichung der Belegungsdauern innerhalb und außerhalb der Zeiten mit starker Verkehrsbelastung, Messung 1970 in einer Nebenstellenanlage

	Belegungen in Zeiten mit starker Verkehrsbelastung		Belegungen außerhalb der Zeiten mit starker Verkehrsbelastung		Schranken für den Vergleich der Mittelwerte aller Versuche *		
	Mittelwert	Mittlere quadr. Abweichung	Mittelwert	Mittlere quadr. Abweichung	t	t _{5%}	t _{1%}
	M (s)	s (s)	M (s)	s (s)			
<u>Externverkehr einer Nebenstellenanlage</u>							
Anrufe mit Gassenbesetzt							
1.Versuche	10,0	6,9	10,0	6,7			
Wiederholungen	7,3	4,2	9,1	9,4			
alle Versuche	8,2	5,4	9,5	8,4	2,60	1,96	2,58
Anrufe mit B-Teilnehmerbesetzt							
1.Versuche	21,4	6,1	29,0	44,6			
Wiederholungen	20,8	4,7	21,1	4,7			
alle Versuche	21,0	5,1	23,7	26,3	1,25	1,97	2,59
Anrufe mit Fehlern des A-Teilnehmers							
1.Versuche	15,3	13,0	13,2	11,5			
Wiederholungen	10,4	9,0	9,8	9,8			
alle Versuche	12,1	10,7	11,0	10,6	0,89	1,97	2,60
Anrufe ohne Antwort des B-Teilnehmers							
1.Versuche	53,2	26,5	53,7	51,2			
Wiederholungen	64,5	39,9	54,6	33,5			
alle Versuche	58,1	33,3	54,1	44,1	0,85	1,97	2,60
Erfolglose Anrufe							
1.Versuche	23,1	22,4	25,2	35,8			
Wiederholungen	16,9	21,7	19,6	21,9			
alle Versuche	19,2	22,2	22,0	28,8	2,36	1,96	2,58
Erfolgreiche Anrufe							
1.Versuche	249,5	245,2	245,5	266,8			
Wiederholungen	220,6	211,3	257,5	334,8			
alle Versuche	236,1	230,4	249,7	292,3	0,84	1,96	2,58
Alle Versuche							
1.Versuche	120,3	196,5	137,0	221,0			
Wiederholungen	72,6	144,0	89,5	212,0			
alle Versuche	92,8	169,9	114,0	218,0	2,95	1,96	2,58
<u>Internverkehr einer Nebenstellenanlage</u>							
Anrufe mit B-Teilnehmerbesetzt							
1.Versuche	12,3	10,3	12,7	13,5			
Wiederholungen	10,2	3,6	9,7	5,2			
alle Versuche	11,2	7,8	11,2	10,1	0,00	1,96	2,59
Anrufe mit Fehlern des A-Teilnehmers							
1.Versuche	14,4	25,1	18,9	60,5			
Wiederholungen	10,3	11,8	20,5	23,1			
alle Versuche	13,4	22,5	19,4	52,8	0,73	1,98	2,61
Anrufe ohne Antwort des B-Teilnehmers							
1.Versuche	31,5	16,5	30,8	22,0			
Wiederholungen	30,7	17,9	26,4	11,9			
alle Versuche	31,3	16,9	29,7	20,1	1,11	1,96	2,58
Erfolglose Anrufe							
1.Versuche	24,2	18,6	24,5	29,3			
Wiederholungen	19,9	16,4	17,8	14,3			
alle Versuche	22,7	18,0	22,2	25,5	0,39	1,96	2,58
Erfolgreiche Anrufe							
1.Versuche	128,7	174,5	103,4	135,4			
Wiederholungen	130,8	191,1	120,9	157,5			
alle Versuche	129,1	177,5	106,5	139,5	2,68	1,96	2,58
Alle Anrufe							
1.Versuche	83,9	142,0	69,0	110,6			
Wiederholungen	60,5	127,4	53,8	105,7			
alle Versuche	77,8	138,7	65,1	109,5	2,69	1,96	2,58

* Der Unterschied ist signifikant mit n % Irrtumswahrscheinlichkeit, wenn $t > t_n \%$

2.2. Belegungs- und Wiederholungsabstände

In den Abbildungen 14 bis 17 ist die Wahrscheinlichkeit dargestellt, daß nach Einfall einer Belegung mindestens eine Zeit T vergeht, ohne daß auf der gleichen Teilnehmerleitung eine weitere Belegung einfällt. Die Kurven sind für die auf Seite 1 angegebenen Klassifizierungen und für alle Belegungen zusammengenommen gezeichnet. Eine Aufteilung in Abstände nach 1. Versuchen und Wiederholungen ist nicht möglich, da der Umfang der Stichproben zu klein ist. Um die kurzen Zeiten genau betrachten zu können, ist jeweils in den oberen Bildern auf der Abszisse der Bereich bis 300 s dargestellt, während in den unteren Bildern der längste erfaßte Abstand 3000 s beträgt. Die linken Bilder zeigen die Meßwerte des ganzen Tages (8.30 bis 16.30 Uhr), während in den rechten Bildern nur Abstände nach Anrufen berücksichtigt sind, die während der Zeitabschnitte mit starker Verkehrsbelastung eintreffen.

Man erkennt aus den Abbildungen deutlich eine Abhängigkeit der Belegungsabstände von der Klassifizierung des Anrufs; z.B. ist nach erfolglosen Anrufen mit GB die Wahrscheinlichkeit eines weiteren Belegungseinfalls in kurzem Abstand erheblich höher als nach erfolgreichen Anrufen. In Abschnitten mit starker Verkehrsbelastung sinkt vor allem der Anteil langer Abstände, während die Kurven im Bereich sehr kurzer Abstände praktisch keine Unterschiede aufweisen.

Aus den Kurven läßt sich ferner ablesen, daß die Verteilungsfunktion der Belegungsabstände nur schlecht durch eine negative Exponentialfunktion (n.E.F.) anzunähern ist. Dafür ist in fast allen Fällen der Anteil der kurzen Abstände zu hoch. Dieser hohe Anteil ist einmal zurückzuführen auf die Anrufwiederholungen, zum andern auf die Gewohnheit vieler Nebenstellenteilnehmer, eine Reihe von Anrufen hintereinander weg zu erledigen und sich dann wieder anderen Arbeiten zuzuwenden.

Der durch die Mischung der beiden Gruppen von Abständen entstehende Kurvenknick ist bei den Verteilungsfunktionen der Wiederholungsabstände in den Abbildungen 18 bis 21 noch deutlicher zu beobachten. Dargestellt ist die Wahrscheinlichkeit, daß nach Einfall eines erfolglosen Anrufversuchs mindestens eine Zeit T vergeht, ohne daß dieser Versuch von dem beobachteten Teilnehmer wiederholt wird. Erfolgreiche Versuche, die während des Beobachtungszeitraums 8.30 bis 16.30 Uhr nicht wiederholt werden, sind mit einem Abstand > 3000 s berücksichtigt. Da der Beobachtungszeitraum nach einem erfolglosen Versuch vom Zeitpunkt des Belegungseinfalls abhängt, muß man bei dieser Definition des Wiederholungsabstands voraussetzen, daß der Teilnehmer der Nebenstellenanlage nach 16.30 Uhr (Dienstschluß) nicht mehr telefoniert. Sicher ist diese Voraussetzung nur näherungsweise erfüllt, aber Messungen über 16.30 Uhr hinaus ergaben ein so starkes Absinken der Anrufintensität, daß der entstehende Fehler vernachlässigbar erscheint.

Die Kurven zeigen wie bei den Belegungsabständen eine starke Abhängigkeit von der Klassifizierung des vorausgehenden Versuchs, ebenso ist der Unterschied zwischen dem gesamten Beobachtungszeitraum und Abschnitten mit starker Verkehrsbelastung im wesentlichen auf lange Wiederholungsabstände beschränkt. Der Vergleich der Abbildungen 18 und 19 mit 20 und 21 läßt erkennen, daß bei gleicher Klassifizierung die Wiederholungsabstände nach Ortsanrufen erheblich kürzer sind als nach Internanrufen.

Erstaunlich ist der wenn auch nur kleine Anteil sehr kurzer Abstände nach oA-Anrufen. Offenbar kommt es vor, daß Teilnehmer bei Nichtmelden des Gerufenen sofort nach dem Auflegen den Versuch wiederholen, weil sie annehmen, daß sie falsch gewählt haben oder daß die Vermittlungseinrichtung eine falsche Verbindung geschaltet hat.

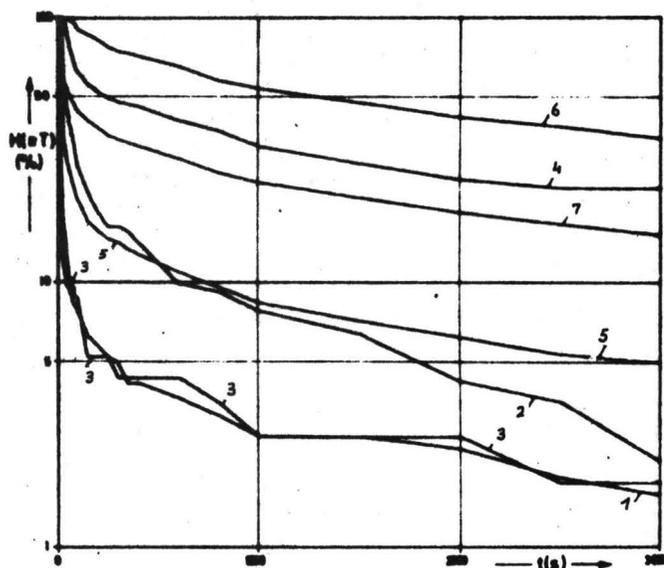
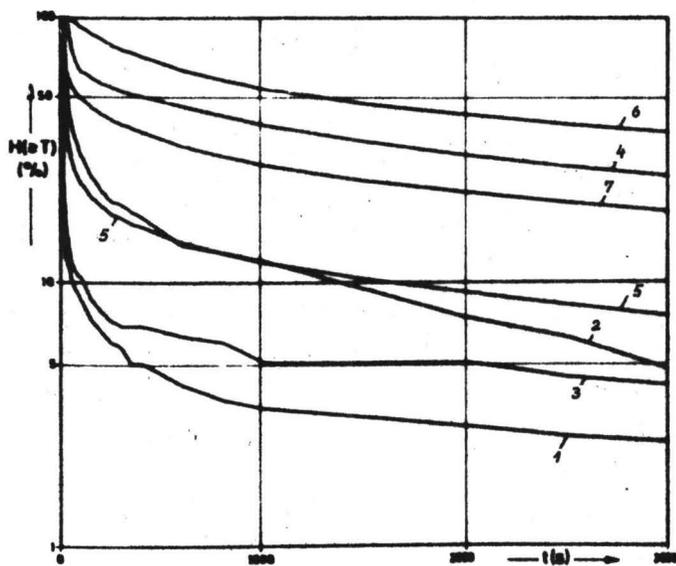
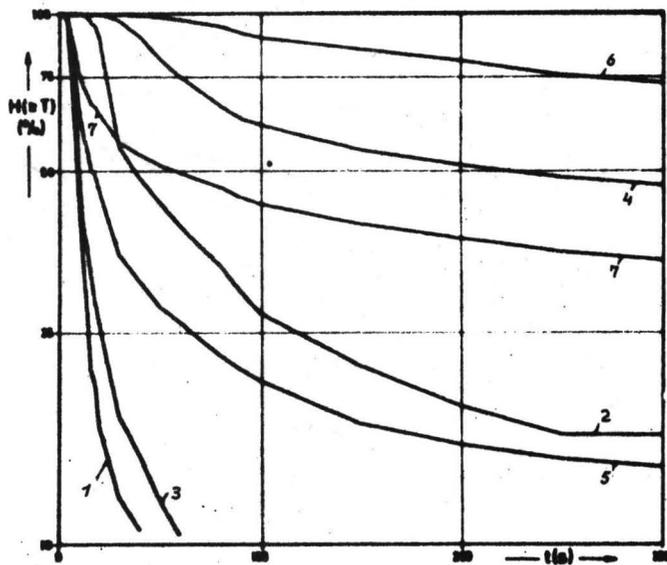
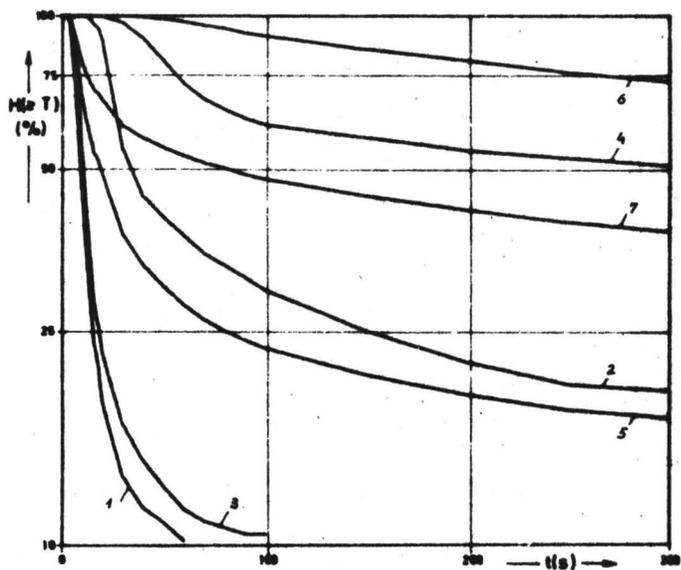


Abb.15, Belegungsabstände

Wahrscheinlichkeit von Zeiten $\geq T$ ohne Eintreffen einer neuen Belegung nach Anrufen

1. mit Gassenbesetzt
2. mit B-Teilnehmerbesetzt
3. mit Fehlern des A-Teilnehmers
4. ohne Antwort des B-Teilnehmers
5. ohne Erfolg insgesamt
6. mit Erfolg
7. mit und ohne Erfolg insgesamt

in Zeiten mit starker Verkehrsbelastung - Ortsanrufe einer Nebenstellenanlage, alle Versuche Messung 1970

Abb.16, Belegungsabstände

Wahrscheinlichkeit von Zeiten $\geq T$ ohne Eintreffen einer neuen Belegung nach Anrufen

1. mit B-Teilnehmerbesetzt
2. mit Fehlern des A-Teilnehmers
3. ohne Antwort des B-Teilnehmers
4. ohne Erfolg insgesamt
5. mit Erfolg
6. mit und ohne Erfolg insgesamt

in der Zeit von 8³⁰ bis 16³⁰ Uhr - Internanrufe einer Nebenstellenanlage, alle Versuche Messung 1970

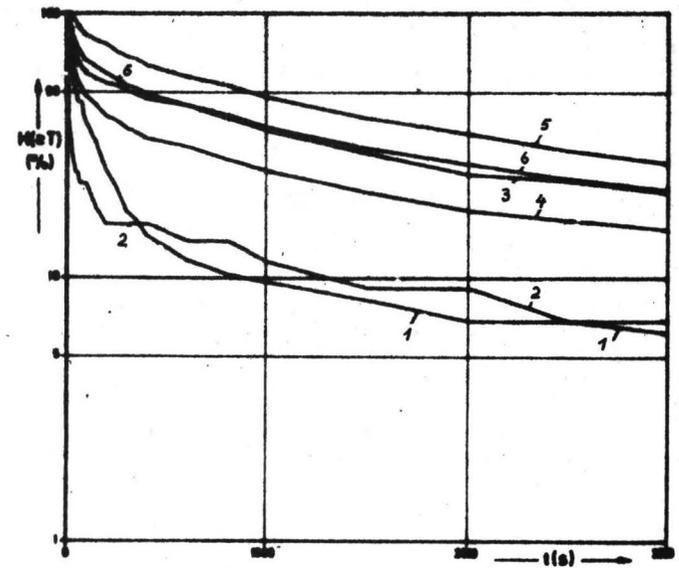
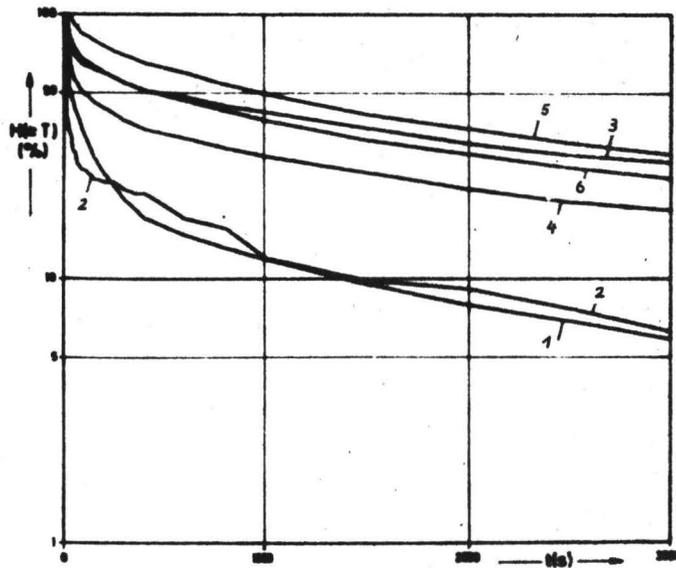
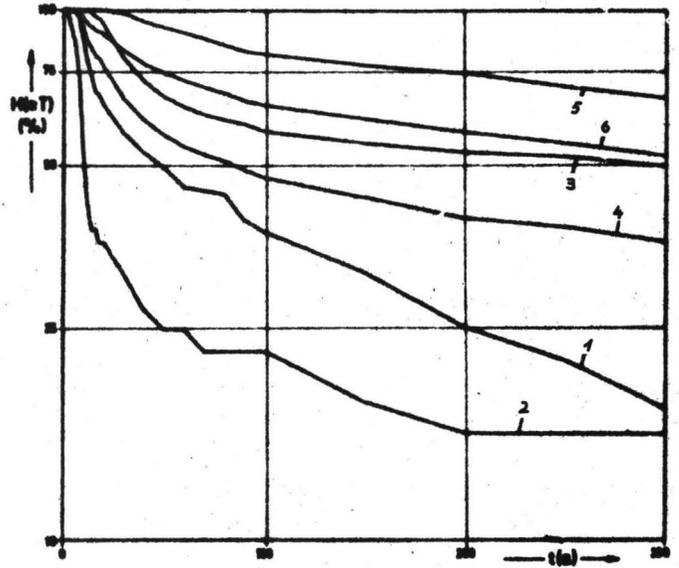
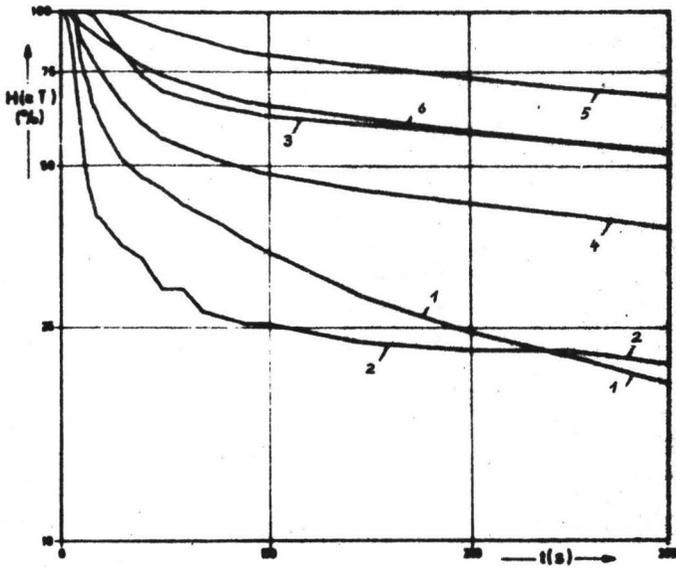


Abb. 14. Belegungsabstände

Wahrscheinlichkeit von Zeiten $\geq T$ ohne Eintreffen einer neuen Belegung nach Anrufen

1. mit Gassenbesetzt
2. mit B-Teilnehmerbesetzt
3. mit Fehlern des A-Teilnehmers
4. ohne Antwort des B-Teilnehmers
5. ohne Erfolg insgesamt
6. mit Erfolg
7. mit und ohne Erfolg insgesamt

in der Zeit von 8³⁰ bis 16³⁰ Uhr -
Ortsanrufe einer Nebenstellenanlage, alle Versuche
Messung 1970

Abb.17. Belegungsabstände

Wahrscheinlichkeit von Zeiten $\geq T$ ohne Eintreffen einer neuen Belegung nach Anrufen

1. mit B-Teilnehmerbesetzt
2. mit Fehlern des A-Teilnehmers
3. ohne Antwort des B-Teilnehmers
4. ohne Erfolg insgesamt
5. mit Erfolg
6. mit und ohne Erfolg insgesamt

in Zeiten mit starker Verkehrsbelastung -
Internanrufe einer Nebenstellenanlage, alle Versuche
Messung 1970

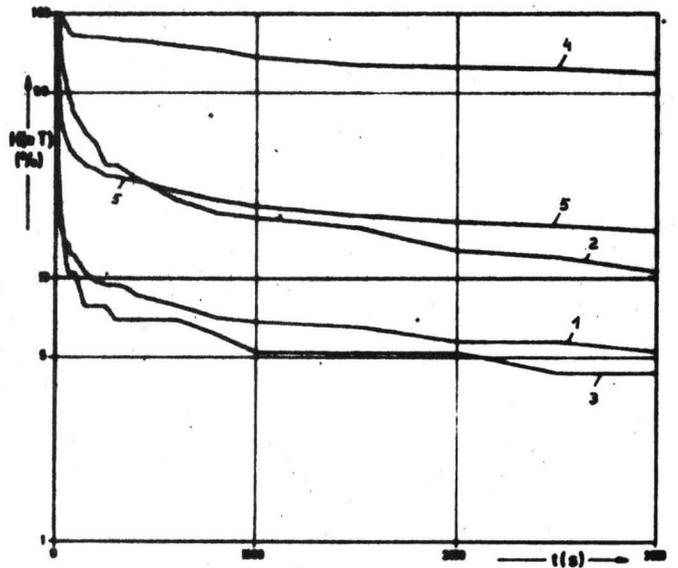
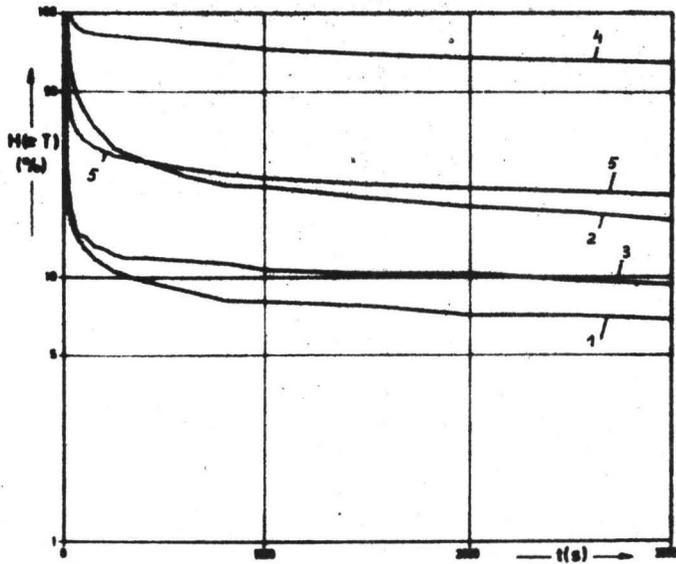
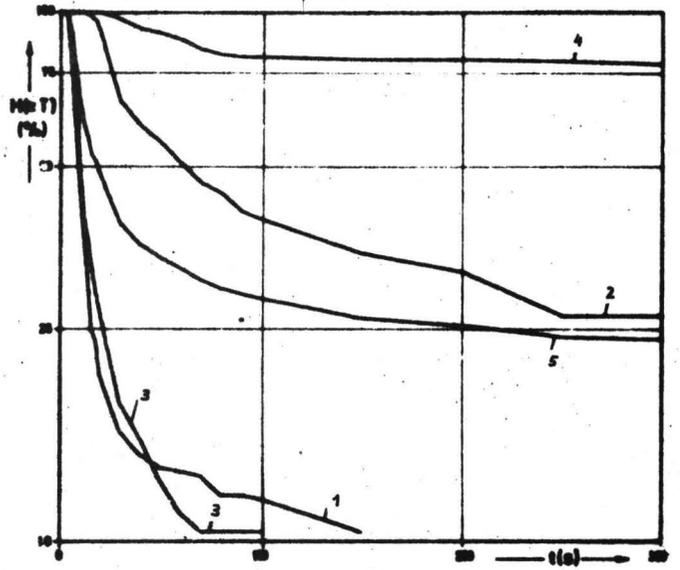
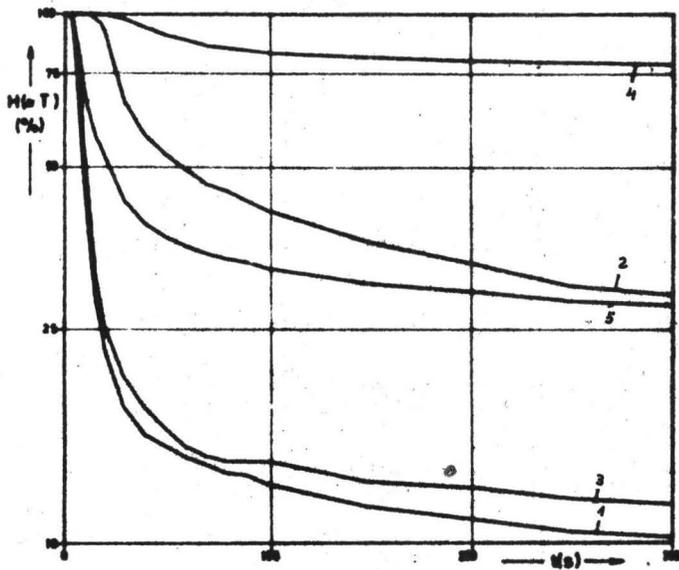


Abb.18, Wiederholungsabstände

Wahrscheinlichkeit von Zeiten $\geq T$ ohne Eintreffen einer Wiederholung nach Anrufen

1. mit Gassenbesetzt
2. mit B-Teilnehmerbesetzt
3. mit Fehlern des A-Teilnehmers
4. ohne Antwort des B-Teilnehmers
5. ohne Erfolg insgesamt

in der Zeit von 8³⁰ bis 16³⁰ Uhr - Ortsanrufe einer Nebenstellenanlage, alle Versuche
Messung 1970

Abb.19, Wiederholungsabstände

Wahrscheinlichkeit von Zeiten $\geq T$ ohne Eintreffen einer Wiederholung nach Anrufen

1. mit Gassenbesetzt
2. mit B-Teilnehmerbesetzt
3. mit Fehlern des A-Teilnehmers
4. ohne Antwort des B-Teilnehmers
5. ohne Erfolg insgesamt

in Zeiten mit starker Verkehrsbelastung - Ortsanrufe einer Nebenstellenanlage, alle Versuche
Messung 1970

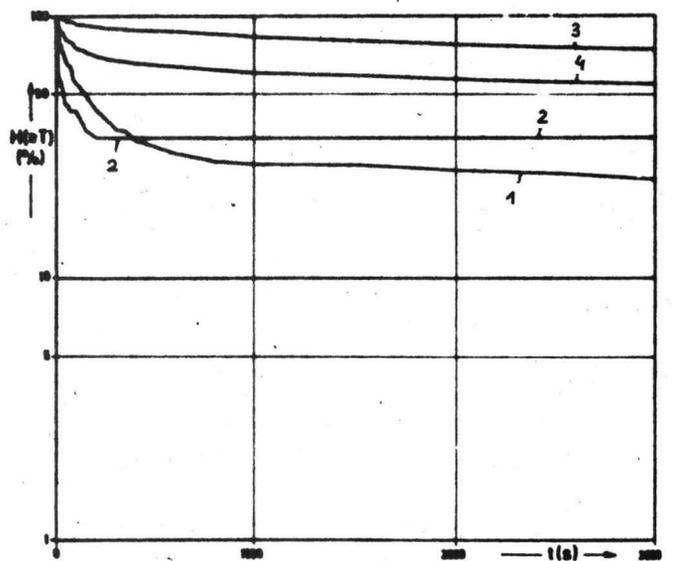
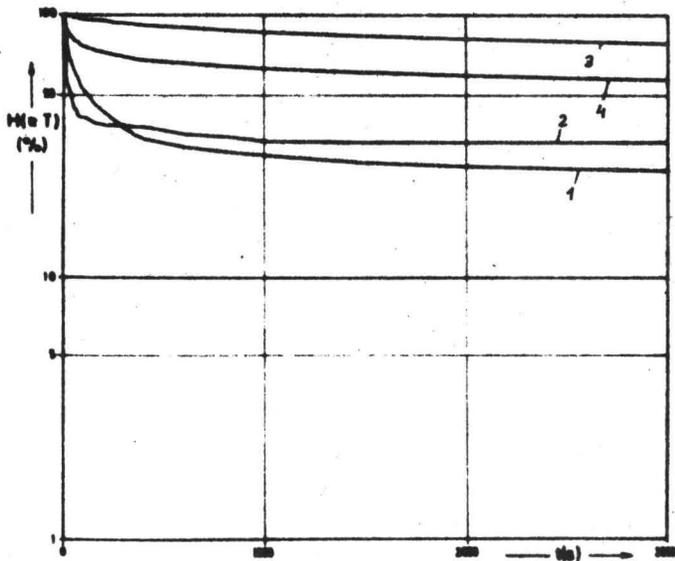
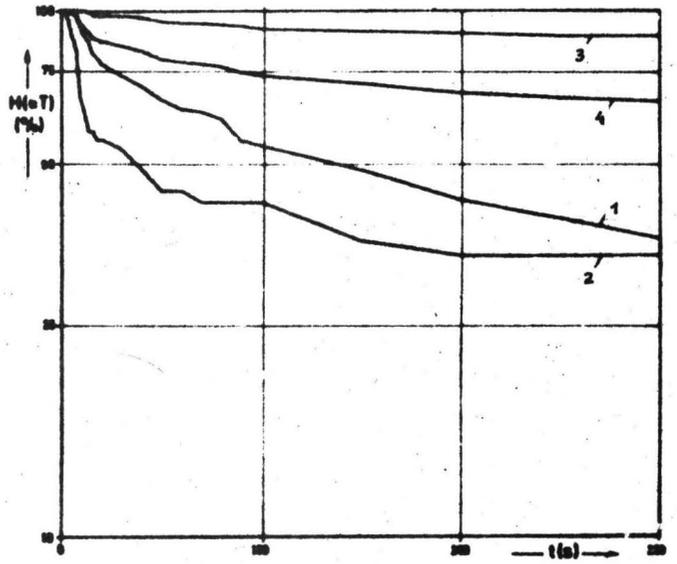
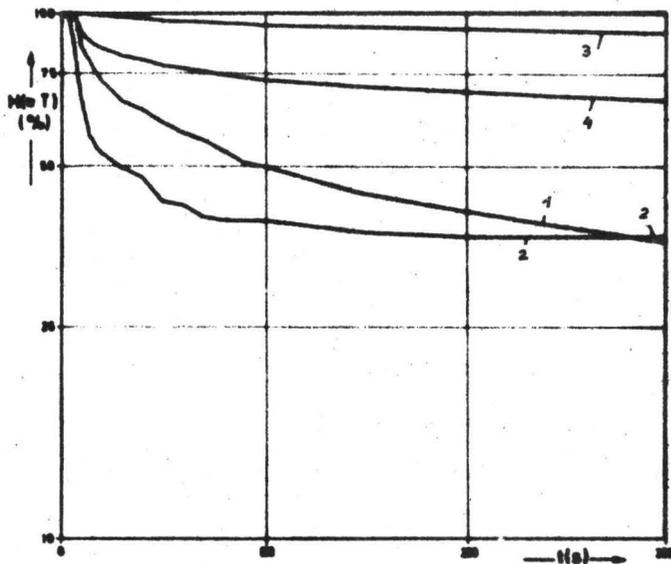


Abb.20, Wiederholungsabstände

Wahrscheinlichkeit von Zeiten $N > T$ ohne Eintreffen einer Wiederholung nach Anrufen

1. mit B-Teilnehmerbesetzt.
2. mit Fehlern des A-Teilnehmers
3. ohne Antwort des B-Teilnehmers
4. ohne Erfolg insgesamt

in Zeiten von 8³⁰ bis 16³⁰ Uhr -

Internanrufe einer Nebenstellenanlage, alle Versuche
Messung 1970

Abb.21, Wiederholungsabstände

Wahrscheinlichkeit von Zeiten $N > T$ ohne Eintreffen einer Wiederholung nach Anrufen

1. mit B-Teilnehmerbesetzt
2. mit Fehlern des A-Teilnehmers
3. ohne Antwort des B-Teilnehmers
4. ohne Erfolg insgesamt

in Zeiten mit starker Verkehrsbelastung -

Internanrufe einer Nebenstellenanlage, alle Versuche
Messung 1970

3. Beschreibung der Verteilung der Belegungs- und Wiederholungsabstände durch eine Näherungsfunktion

Die Abbildungen 14 bis 21 zeigen, wie schon erwähnt, daß sich die gemessenen Kurven sehr schlecht durch nur eine n.E.F. annähern lassen. Das ist ungünstig, weil die Auswertung von Modellen des Fernsprechverkehrs sehr vereinfacht wird durch die Voraussetzung, daß Belegungseinfälle eine exponentielle Abstandsverteilung haben. Offenbar ist aber eine Annäherung durch zwei n.E.F. sehr viel besser. Dabei repräsentiert der erste Anteil der Mischverteilung die kurzen und der zweite Anteil die langen Abstände. In einem Modell kann das Verhalten der Verkehrsquellen somit in der Weise dargestellt werden, daß sie zwei Arten von Verkehr mit sehr unterschiedlicher Anrufintensität erzeugen.

Die Näherungsfunktion ist die Summe zweier zweiparametrischer Exponentialfunktionen:

$$\begin{aligned}VF &= VF1 + VF2 \\ &= \exp[-a(\tau - T_0) - b] + \exp[-c(\tau - T_0) - d] \\ &= A_1 \exp(-at) + A_2 \exp(-ct)\end{aligned}$$

$$\text{mit } t = \tau - T_0, A_1 = \exp(-b), A_2 = \exp(-d), A_1 + A_2 = 1.$$

Weiter läßt sich aus der Betrachtung der dargestellten Kurven folgendes ableiten:

- (1) Man kann einen Bereich angeben, in dem der Einfluß von VF1 soweit abgeklungen ist, daß die Gesamtfunktion praktisch nur noch von VF2 bestimmt wird und daher in logarithmischer Darstellung linear verläuft.

$$\begin{aligned}VF &= A_2 \exp(-ct) \left\{ 1 - \frac{A_1}{A_2} \exp[-t(a-c)] \right\} \\ &\approx A_2 \exp(-ct) \quad \text{für große } t \text{ und } a > c.\end{aligned}$$

In logarithmischer Darstellung:

$$\ln VF \approx \ln A_2 + (-ct) = -(ct + d)$$

- (2) Der Betrag der Steigung der Näherungsfunktion ist maximal bei $t = 0$.

$$\begin{aligned} VF &= A_1 \exp(-at) \cdot \left\{ 1 + \frac{A_2}{A_1} \exp[-t(c-a)] \right\} \\ \ln VF &= \ln A_1 - at + \ln \left\{ 1 + \frac{A_2}{A_1} \exp[t(a-c)] \right\} \\ \frac{\partial(\ln VF)}{\partial t} &= -a + \frac{\frac{A_2}{A_1} \exp[t(a-c)] [a-c]}{1 + \frac{A_2}{A_1} \exp[t(a-c)]} \\ &= -a + \frac{[a-c]}{1 + \frac{1}{\frac{A_2}{A_1}} \exp[t(a-c)]} \end{aligned}$$

Da der Nenner des zweiten Summanden mit t abnimmt unter der Voraussetzung $a > c$, ist die (negative) Steigung maximal bei $t = 0$.

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\ln VF)}{\partial t} &= -a_{\max} = -a + \frac{(a-c) \frac{A_2}{A_1}}{\frac{A_2}{A_1} + 1} \\ &= -A_1 a - A_2 c \quad \text{bei } t = 0 \end{aligned}$$

Die empirische Funktion hat bei $t = 0$, d. h. bei $\tau = T_0$, keine Unstetigkeitsstelle der 1. Ableitung. Der Punkt maximaler Steigung liegt also etwas rechts von T_0 . Aus der Bestimmung von a_{\max} und des zugehörigen Abstandes $t_{a_{\max}}$ läßt sich eine obere Schranke für den Abstand T_1 angeben, bei dem der Anteil von VF1 unter einen bestimmten Wert gefallen ist, denn $|a_{\max}| < |a|$:

$$\begin{aligned} a_{\max} &= a A_1 + c A_2 = a(1 - A_2) + c A_2 \\ &= a - A_2(a-c) \end{aligned}$$

Aus $a > c$ ergibt sich $a_{\max} < a$.

3.1. Das Schätzverfahren zur Bestimmung der Näherungsfunktion

3.1.1. Lineare Regression

Aus dem im vorigen Abschnitt Gesagten geht hervor, daß sich für die empirische Verteilung ein Bereich finden läßt, der in logarithmischer Darstellung linear verläuft. Das einfachste Schätzverfahren zur Bestimmung der Parameter der Näherungsgeraden ist die eindimensionale Regression. Für den Bereich, in dem der Einfluß von VF1 abgeklungen ist, lautet die Gleichung der Regressionsgeraden:

$$y_i = \vartheta_0 + \vartheta_1 \tau_i + u_i$$

Die Parameter ϑ_0 und ϑ_1 ergeben sich aus der Forderung, daß die Summe der Fehlerquadrate möglichst klein sein soll:

$$Q = \sum u_i^2 \stackrel{!}{=} \text{Min}$$
$$\sum u_i^2 = \sum (y_i - \vartheta_0 - \vartheta_1 \tau_i)^2$$

Nun ist zu berücksichtigen, daß die $y_i = \ln(H(\tau_i))$ für die verschiedenen Abstände τ_i aus einer unterschiedlichen Anzahl von Meßwerten berechnet sind. Die entsprechende unterschiedliche Meßgenauigkeit wird durch eine Gewichtung berücksichtigt:

$$Q = \sum u_i^2 = \sum g_i (y_i - \vartheta_0 - \vartheta_1 \tau_i)^2$$

Bei Beobachtungen verschiedener Genauigkeit sind die Gewichte umgekehrt proportional zu den Quadraten der mittleren Fehler der einzelnen Beobachtungen (siehe /3/, S. 107 ff):

$$g_1 : g_2 : \dots : g_n = \sigma_1^2 : \sigma_2^2 : \dots : \sigma_n^2$$

Um die Gewichte auf diese Weise berechnen zu können, müßte die Verteilung der Häufigkeiten h_i eines bestimmten Abstandes τ_i , gewonnen aus mehreren unabhängigen Messungen, bekannt sein.

Da das nicht der Fall ist, müssen die g_i auf andere Weise bestimmt werden.

Nehmen wir an, daß wir den Zeittakt unseres Zeitmeßgerätes beliebig schnell machen können, so daß wir eine beliebig kleine Breite der Zeitklassen $\Delta \tau_j$ erhalten, so bekommen wir für $H(\Rightarrow T)$ ebenso viele Stufen gleicher Höhe wie wir Meßwerte haben (dabei sei der Fall ausgeschlossen, daß zwei Abstände genau gleich sind). Dann können wir jedes Wertepaar y_j, τ_j mit dem Gewicht 1 zur Berechnung der Fehlerquadratsumme heranziehen. Bei der wirklichen Messung ist der Zeittakt gröber und damit die Klassenbreite $\Delta \tau_i$ größer. Nimmt man vereinfachend an, daß alle in dieser Klasse i enthaltenen Meßwerte den gleichen Beitrag zur Fehlerquadratsumme leisten, dann ist der Beitrag der gesamten Klasse i :

$$u_i^2 = n_i (y_i - \vartheta_0 - \vartheta_1 \tau_i)^2, \quad \tau_i \text{ mittlerer Zeitwert der Zeitklasse } i$$

also $g_i = n_i$

Damit wird die Fehlerquadratsumme:

$$\begin{aligned} Q &= \sum u_i^2 = \sum n_i (y_i - \vartheta_0 - \vartheta_1 \tau_i)^2 \\ &= \sum (n_i y_i^2 - 2n_i y_i \vartheta_0 - 2n_i y_i \vartheta_1 \tau_i + n_i \vartheta_0^2 + \\ &\quad + 2n_i \vartheta_0 \vartheta_1 \tau_i + n_i \vartheta_1^2 \tau_i^2) \end{aligned}$$

Das Minimum erhält man durch Nullsetzen der partiellen Ableitungen:

$$\frac{1}{2} \frac{\partial Q}{\partial \vartheta_0} = -\sum n_i y_i + \vartheta_0 \sum n_i + \vartheta_1 \sum n_i \tau_i \stackrel{!}{=} 0$$

$$\frac{1}{2} \frac{\partial Q}{\partial \vartheta_1} = -\sum n_i y_i \tau_i + \vartheta_0 \sum n_i \tau_i + \vartheta_1 \sum n_i \tau_i^2 \stackrel{!}{=} 0$$

Nach Zwischenrechnung erhält man:

$$\vartheta_1 = \frac{\sum n_i \sum n_i y_i \tau_i - \sum n_i \tau_i \sum n_i y_i}{\sum n_i \sum n_i \tau_i^2 - (\sum n_i \tau_i)^2} \quad (1)$$

$$\vartheta_0 = \frac{\sum n_i y_i - \sum n_i \tau_i \vartheta_1}{\sum n_i} \quad (2)$$

3.1.2. Rechengang zur Bestimmung der Parameter der Näherungsfunktion

Zunächst wird, ausgehend von $\tau_i = 0$, das Maximum der (negativen) Steigung ϑ_{\max} von $\ln VF$ gesucht (siehe S.19), indem mittels linearer Regression nach (1) aus $\tau_i, \tau_{i+1}, \tau_{i+2}, i = 0 \dots k$, die Steigung ϑ'_{11} der Regressionsgeraden ermittelt wird. k erhält man aus der Bedingung

$$\vartheta'_{11,k} = 0,1 \vartheta_{\max},$$

d.h. die Funktion wird auf die maximale Steigung hin untersucht, bis die Steigung unter 10% der maximalen fällt. Wenn auf Grund von Schwankungen im Kurvenverlauf mehrere Maxima auftreten, wird die Anzahl der zur Regression herangezogenen Meßstellen τ_i erhöht, bis im Bereich $i = 0 \dots k$ nur noch ein Maximum der Steigung existiert. Für die Regression werden damit die Funktionswerte $\tau_{i \max}, \tau_{i \max + 1}, \dots, \tau_{i \max + r}$ verwendet. Anschließend wird ϑ'_{01} nach (2) errechnet und aus der Bedingung

$$\exp(\vartheta'_{11} \tau_s + \vartheta'_{01}) = 0,01 \cdot VF$$

die Schranke τ_s errechnet, oberhalb derer der Anteil von VF1 sicher kleiner als 1% von VF ist. Aus den Funktionswerten $\tau > \tau_s$ werden nach (1) und (2) für VF2 die Schätzparameter ϑ_{12} und ϑ_{02} errechnet. Danach ergibt sich VF1 aus

$$\begin{aligned} VF1(\tau_i) &= VF(\tau_i) - VF2(\tau_i) \\ &= VF(\tau_i) - \exp(\vartheta_{12} \tau_i + \vartheta_{02}), \\ & \qquad \qquad \qquad i = \tau_{i \max} \dots \tau_s \end{aligned}$$

Die Parameter von VF1, ϑ'_{11} und ϑ'_{01} , werden nach (1) und (2) errechnet aus den Werten $\tau_{i \max} \dots \tau_{i \max + r}$.

T_0 ergibt sich aus der Bedingung:

$$VF = \exp(\vartheta_{11} T_0 + \vartheta_{01}) + (\vartheta_{12} T_0 + \vartheta_{02}) \stackrel{!}{=} 1$$

Damit sind die gesuchten Parameter T_0 , ϑ_{11} , ϑ_{12} ,
 $A_1 = \exp(\vartheta_{01})$, $A_2 = \exp(\vartheta_{02})$ bestimmt.

In den Abbildungen 22 bis 27 werden einige Beispiele gezeigt. Dargestellt sind empirische und Schätzfunktion der Wiederholungsabstände bei Ortsanrufen aus einer Nebenstellenanlage für verschiedene Klassifikationen. Man sieht, daß die Voraussetzungen, auf denen das Verfahren aufbaut, nicht in allen Fällen gut erfüllt sind. Da das Verfahren davon ausgeht, daß die empirische Funktion aus zwei n.E.F. zusammengesetzt ist, paßt sich die Schätzfunktion nur an den Bereich maximaler negativer Steigung und an den Bereich großer Abstandswerte an, während der mittlere Bereich nicht berücksichtigt wird. Wie man sieht, wäre eine Approximation durch mehr als zwei n.E.F. besser.

Andererseits ist schon die Berücksichtigung zweier unterschiedlicher Verhaltensweisen der Verkehrsquellen in einem verkehrstheoretischen Modell mit erheblichem Mehraufwand verbunden. Hauptzweck des hier entwickelten Verfahrens ist es, den Anteil der sehr kurzen und damit den Verkehrsfluß stark störenden Wiederholungsabstände zu ermitteln. Der Wiederholungsverkehr, der durch VF2 repräsentiert wird, kann auf Grund seiner geringen Anrufintensität eher vernachlässigt werden, ohne daß die Wirklichkeit zu sehr verfälscht wird. Für den angegebenen Zweck scheint das Rechenverfahren ausreichend.

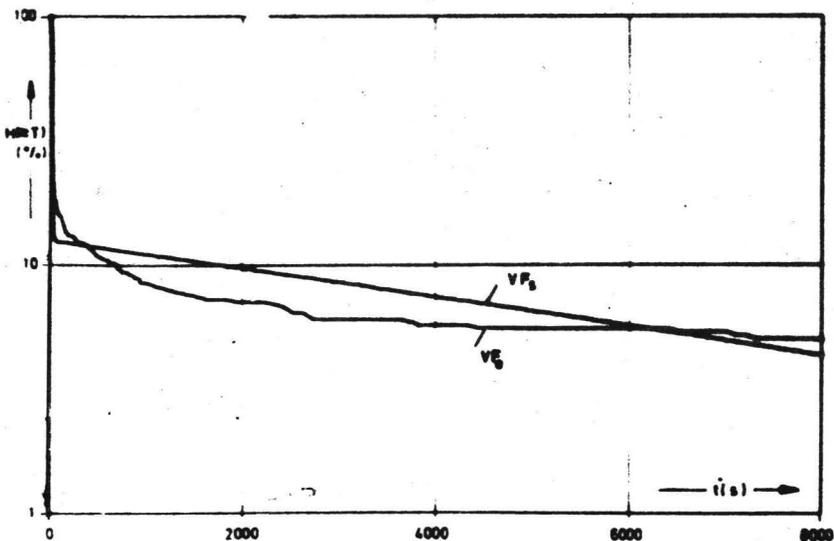
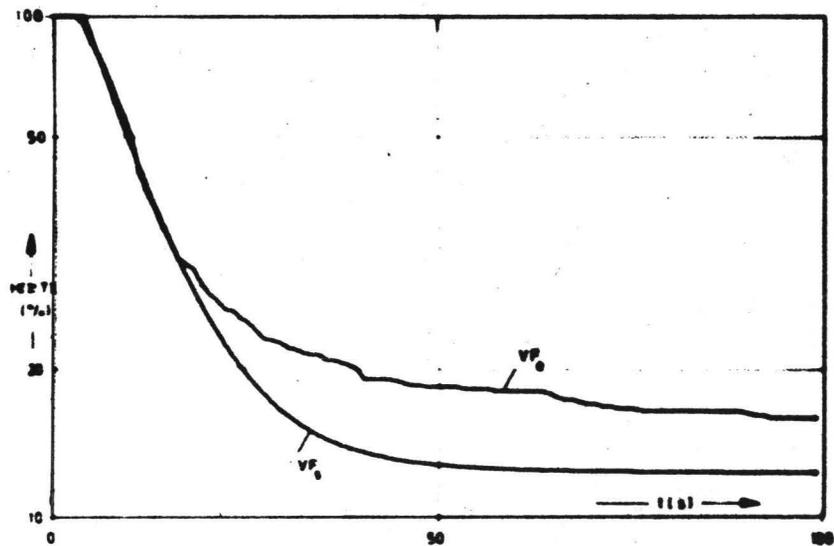


Abb.22 : Wahrscheinlichkeit, daß nach Ortsanrufen mit Gassenbesetzt eine Zeit $\geq T$ ohne Eintreffen einer Wiederholung vergeht
 Beobachtungszeitraum 8³⁰ - 16³⁰ Uhr
 VF_e empirische Verteilung, VF_s Schätzfunktion

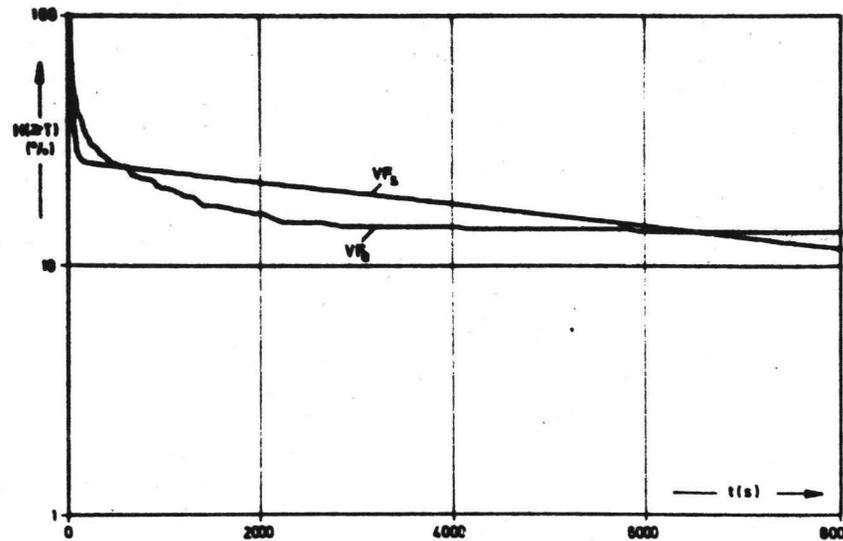
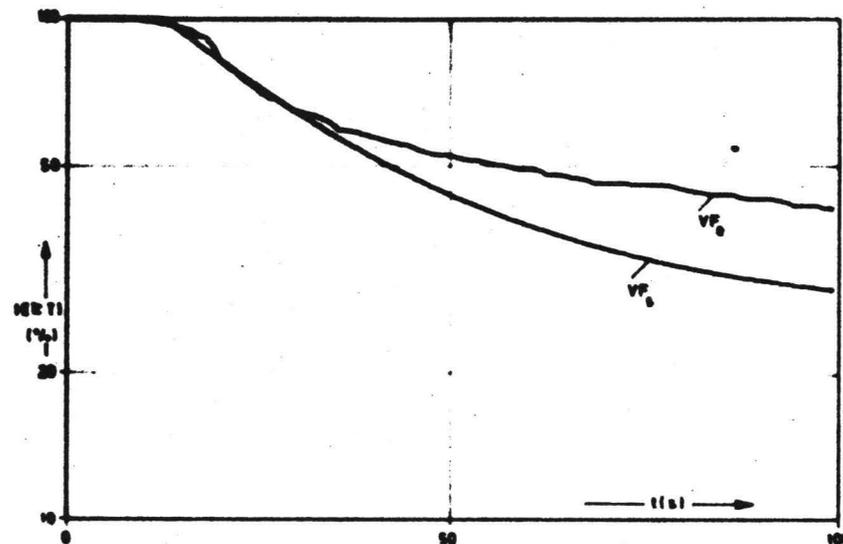


Abb.23 : Wahrscheinlichkeit, daß nach Ortsanrufen mit B-Teilnehmerbesetzt eine Zeit $\geq T$ ohne Eintreffen einer Wiederholung vergeht
 Beobachtungszeitraum 8³⁰ - 16³⁰ Uhr
 VF_e empirische Verteilung, VF_s Schätzfunktion

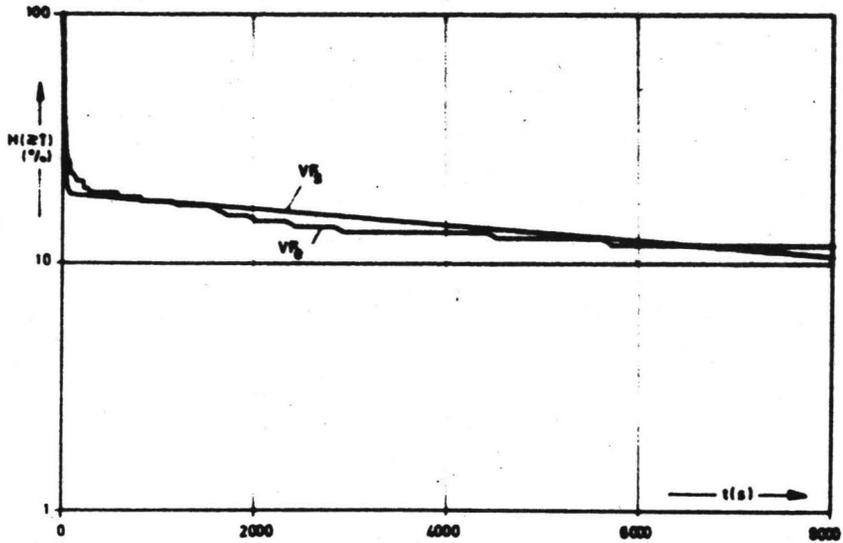
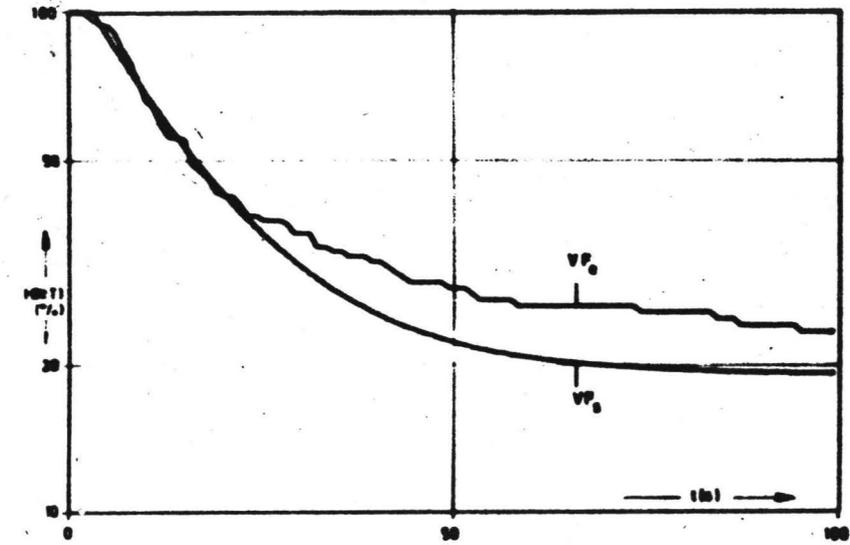


Abb.24 : Wahrscheinlichkeit, daß nach Ortsanrufen
mit Fehlern des A-Teilnehmers eine Zeit $\geq T$
ohne Eintreffen einer Wiederholung vergeht
Beobachtungszeitraum 8³⁰ - 16³⁰ Uhr
 VF_e empirische Verteilung, VF_s Schätzfunktion

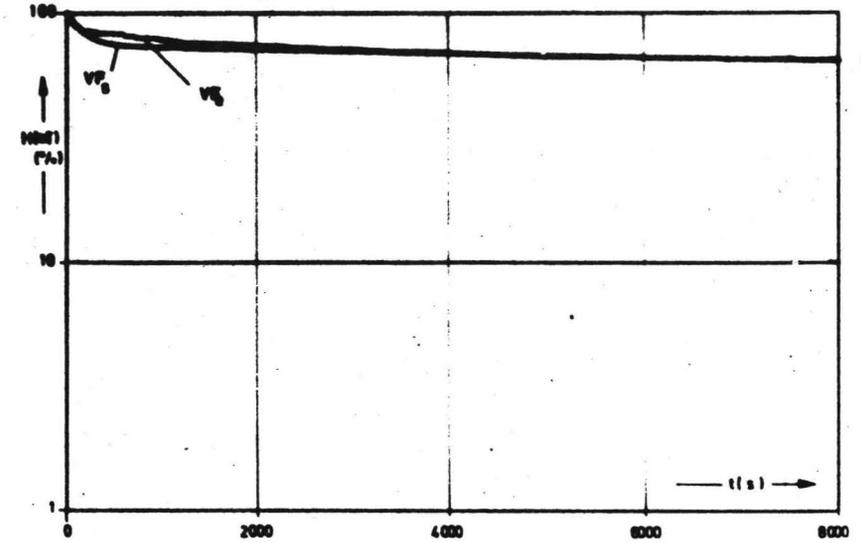
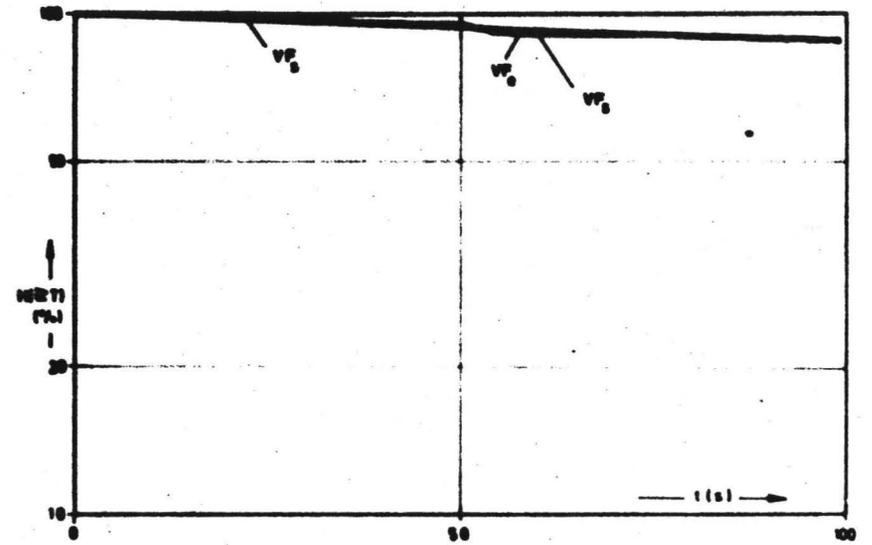


Abb.25 : Wahrscheinlichkeit, daß nach Ortsanrufen
ohne Antwort des B-Teilnehmers eine Zeit $\geq T$
ohne Eintreffen einer Wiederholung vergeht
Beobachtungszeitraum 8³⁰ - 16³⁰ Uhr
 VF_e empirische Verteilung, VF_s Schätzfunktion

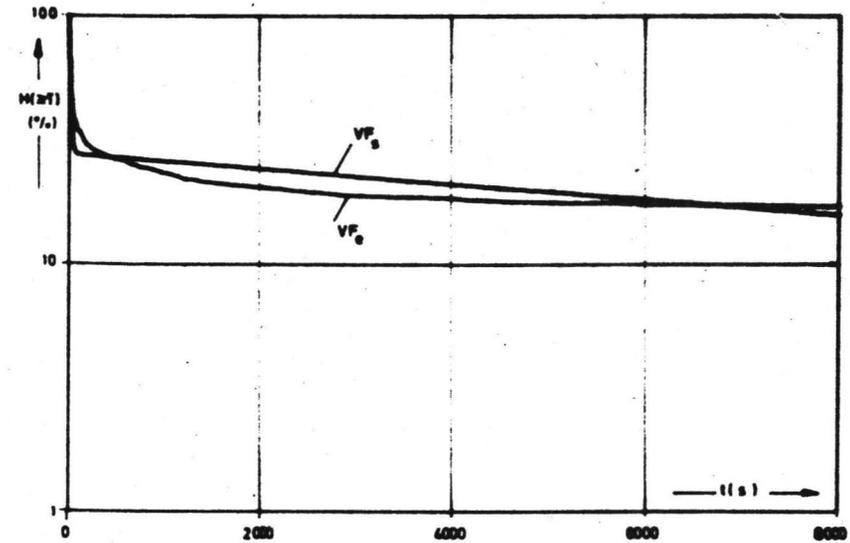
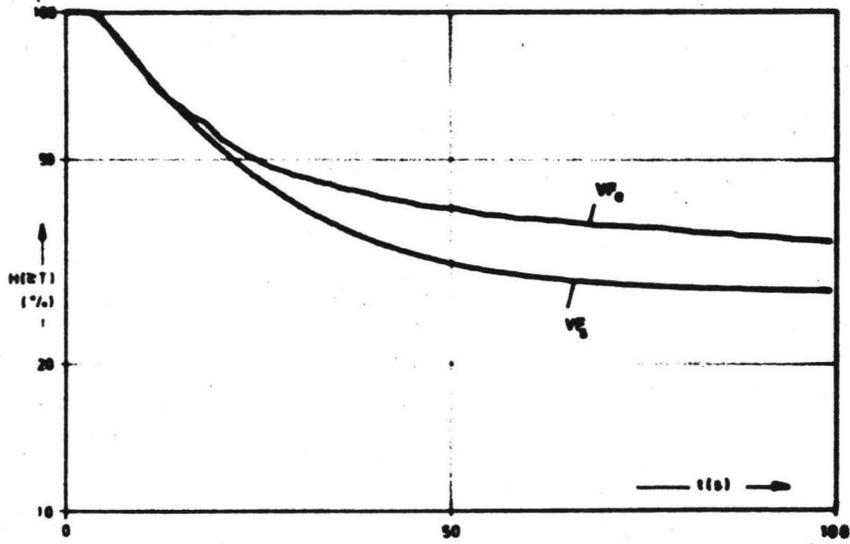


Abb.26 : Wahrscheinlichkeit, daß nach Ortsanrufen
 ohne Erfolg insgesamt eine Zeit $\geq T$
 ohne Eintreffen einer Wiederholung vergeht
 Beobachtungszeitraum 8³⁰ - 16³⁰ Uhr
 VF_e empirische Verteilung, VF_s Schätzfunktion

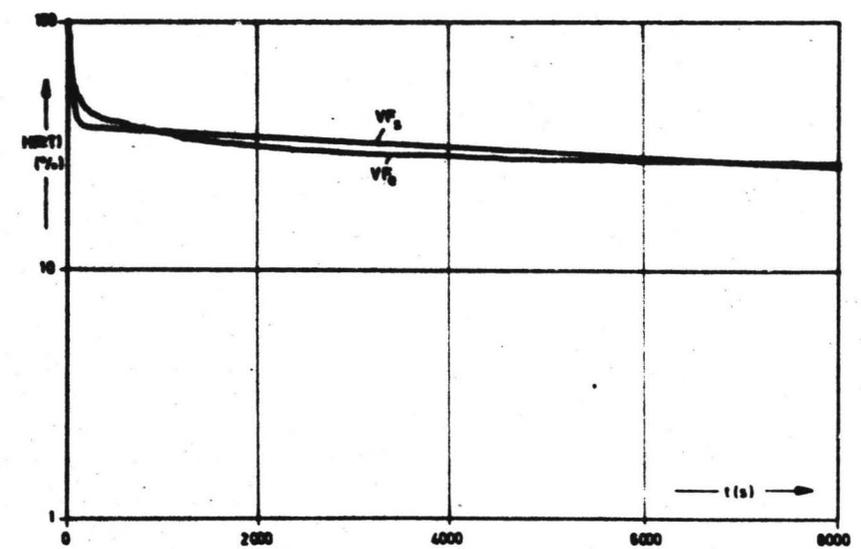
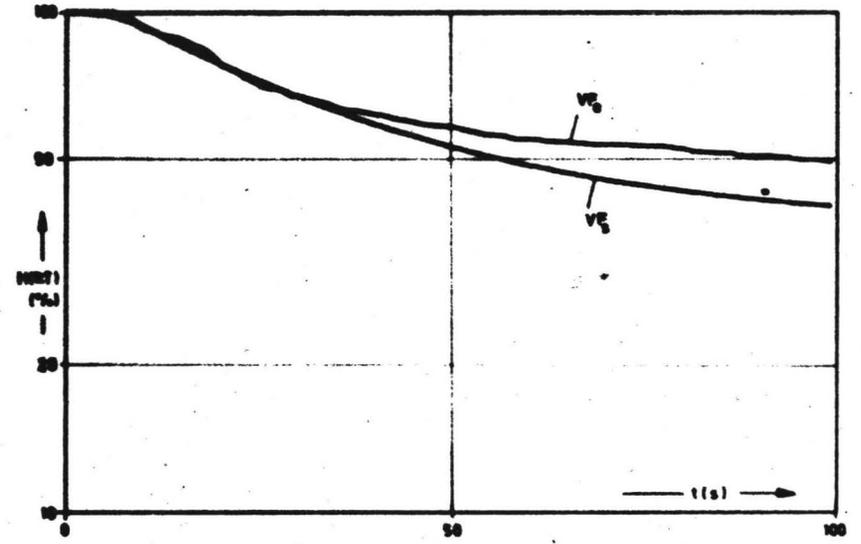


Abb.27 : Wahrscheinlichkeit, daß nach Ortsanrufen
 ohne Erfolg mit Ausnahme von Gassenbesetzt eine Zeit $\geq T$
 ohne Eintreffen einer Wiederholung vergeht
 Beobachtungszeitraum 8³⁰ - 16³⁰ Uhr
 VF_e empirische Verteilung, VF_s Schätzfunktion

3.2. Diskussion der für die Belegungs- und Wiederholungsabstände errechneten Kenngrößen

In Tabelle 3 sind für die Belegungs- und Wiederholungsabstände die errechneten Kenngrößen zusammengestellt.

Spalte 1 enthält die 1%-Vertrauensgrenzen nach dem Kolmogorofftest. In den Spalten 2 bis 4 wird die Signifikanz der Unterschiede zwischen 1. Versuchen und Wiederholungen sowie zwischen Anrufen während des ganzen Tages und denen in Zeiten mit starker Verkehrsbelastung mit Hilfe des Smirnoftests überprüft. Die Unterschiede zwischen Belegungsabständen nach 1. Versuchen und Wiederholungen sind bei oE-Anrufen und bei allen Anrufen insgesamt signifikant. Das ist leicht erklärlich, denn Anrufe verschiedener Klassifikation haben sehr unterschiedliche Belegungsabstände, und der Anteil der einzelnen Klassifikationen ist abhängig von der Ordnungszahl des Versuchs (siehe /1/, Tabelle 2). Von den einzelnen Klassifikationen zeigen nur Ortsanrufe mit GB und TF signifikante Unterschiede; nach Wiederholungen sind die Abstände kürzer als nach 1. Versuchen. Weshalb dagegen bei TF-Anrufen im Internverkehr die Abstände nach 1. Versuchen kürzer sind, läßt sich ohne eine genauere Analyse der Fehlertypen nicht sagen.

Auch Wiederholungsabstände sind - wiederum mit Ausnahme der internen TF-Anrufe - nach Wiederholungen kürzer als nach 1. Versuchen; die Unterschiede sind hier mit einer Ausnahme signifikant. Das bedeutet, daß der Teilnehmer seine Bemühungen verstärkt, die gewünschte Verbindung zu bekommen, wenn die ersten Versuche keinen Erfolg gehabt haben. Das stimmt überein mit Ergebnissen an anderer Stelle durchgeführter Untersuchungen (siehe /4/). Differenzen zwischen der gesamten Meßzeit und den Zeiten starker Verkehrsbelastung sind wesentlich geringer. Um über ein unterschiedliches Verhalten der Teilnehmer in den beiden betrachteten Zeitabschnitten sichere

Aussagen machen zu können, müßte die Zahl der Meßwerte vergrößert werden.

Die Parameter der Näherungsfunktion wurden für alle Versuche während der gesamten Tageszeit bestimmt, da für 1. Versuche oder Wiederholungen allein oder für Zeitabschnitte mit starker Verkehrsbelastung zu wenig Meßwerte zur Verfügung standen. Da das Schätzverfahren eine Glättung der empirischen Verteilung vornimmt (siehe S. 22), wenn es die Schranke aufsucht, ab der der Einfluß der ersten Funktion abgeklungen ist, gelingt es bei einer zu kleinen Stichprobe und entsprechenden Streuungen nicht, die Trennung in die beiden Anteile vorzunehmen.

Um das angewendete Schätzverfahren zu prüfen, wurde die resultierende Näherungsfunktion mit den Kolmogoroffgrenzen der empirischen Verteilung verglichen. In den beiden letzten Spalten sind die Grenzen der Abschnitte angegeben, in denen die Näherungsfunktion außerhalb des Vertrauensbereichs der empirischen Verteilung verläuft. Man sieht, daß das Näherungsverfahren für Wiederholungsabstände besser geeignet ist als für Belegungsabstände. Bei den Wiederholungsabständen ist die Übereinstimmung nur nach TB-Anrufen schlecht. Offenbar gibt es hier drei Verhaltensweisen, die sofortige Wiederholung, die - wenn überhaupt - nach sehr langer Zeit und die Wiederholung im Abstand von ein bis zwei Minuten, um sozusagen abzutasten, wann die gewünschte Leitung wieder frei ist. Daneben ist auch bei oE-Anrufen die Näherung nicht gut, da hier mehrere Ursachen der Erfolglosigkeit und daher mehrere unterschiedliche Verhaltensweisen zusammengefaßt sind.

Die angegebenen Parameter der Näherungsfunktion zeigen, daß zwischen dem Mittelwert der ersten und dem der zweiten enthaltenen Funktion ein Unterschied von ca. 3 Größenordnungen besteht. Der Anteil der ersten Verteilung schwankt zwischen ca. 90% bei GB und 10 bis 30% bei oA-Anrufen.

Tabelle 3 : Kenngrößen der Verteilungsfunktion $VF (\geq T)$ für Belegungs- und Wiederholungsabstände, Messung 1970 in einer Nebenstellenanlage

$VF (\geq T)$	Wahrscheinlichkeit, daß nach Einfallen einer Belegung eine Zeit $\geq T$ vergeht, ohne daß eine neue Belegung bzw. Wiederholung eintrifft.
$VF_S (\geq T) = \exp \{-a (t - T_0) - b\} + \exp \{-c (t - T_0) - d\}$	Schätzfunktion für $VF (\geq T)$ $VF_S (\geq T) = 1$ für $0 \leq t \leq T_0$
A_1	$= \exp(-b)$ Anteil der 1.Exponentialverteilung an VF_S , $A_2 = \exp(-d) = 1 - A_1$
$t_{m1} (s)$	$= a^{-1} + T_0$ Mittelwert der 1.Exponentialverteilung
$t_{m2} (s)$	$= c^{-1} + T_0$ Mittelwert der 2.Exponentialverteilung
$\epsilon (\%)$	1 % -Vertrauensgrenze der Verteilung nach Kolmogoroff-Test
$D_1 (\%)$	Maximale Differenz zwischen den Verteilungen der 1.Versuche und der Wiederholungen
$T_1 (s)$	Zeitwert, bei dem die maximale Differenz zwischen 1.Versuchen und Wiederholungen auftritt
$D_2 (\%)$	Maximale Differenz zwischen den Verteilungen aller Versuche am ganzen Tag und während der Verkehrsspitzen
$T_2 (s)$	Zeitwert T , bei dem die maximale Differenz zwischen allen Versuchen am ganzen Tag und während der Verkehrsspitze auftritt
$ D_S (\%)$	1 % -Grenze nach Smirnow-Test zur Prüfung der Unterschiede zwischen zwei Verteilungen *
$T_{Ai} (s)$	Anfangszeitwert des i-ten Abschnitts, in dem VF_S außerhalb des Vertrauensbereiches von VF verläuft
$T_{Ei} (s)$	Endzeitwert des i-ten Abschnitts, in dem VF_S außerhalb des Vertrauensbereiches von VF verläuft

$\epsilon (\%)$	$D_1 (\%)$	$T_1 (s)$	$ D_{S1} (\%)$	$T_0 (s)$	$a \cdot 10^3 (s^{-1})$	b	$c \cdot 10^3 (s^{-1})$	d	A_1	$t_{m1} (s)$	$t_{m2} (s)$	$T_{Ai} (s)$	$T_{Ei} (s)$
-----------------	------------	-----------	-----------------	-----------	-------------------------	-----	-------------------------	-----	-------	--------------	--------------	--------------	--------------

Belegungsabstände, Meßzeit 8³⁰ - 16³⁰ Uhr

Anrufe im Ortsnetz, Abstände nach Anrufen mit Erfolg:

nach													
1.Versuchen	6,5	4,2	281	7,2									
Wiederholungen	8,0												
allen Versuchen	5,0	-2,7	566	6,5	29,2	2,634	0,724	0,125	0,664	0,485	409,2	8029	
	mit Gassenbesetzt:												
nach													
1.Versuchen	9,4	16,7	9	9,7									
Wiederholungen	7,3												
allen Versuchen	5,8	2,9	12	7,4	3,4	149,1	0,072	0,195	2,671	0,931	10,1	5133	
	mit B-Teilnehmerbesetzt:												
nach													
1.Versuchen	16,1	-10,9	34	16,9									
Wiederholungen	10,6												
allen Versuchen	8,9	4,5	895	11,7	14,5	50,78	0,221	0,401	1,618	0,802	34,2	2508	1 52 112
	mit A-Teilnehmerfehlern:												
nach													
1.Versuchen	15,4	20,9	17	15,8									
Wiederholungen	11,4												
allen Versuchen	9,1	5,7	10	12,6	4,5	144,2	0,091	0,191	2,442	0,013	11,4	5240	
	ohne Antwort des B-Teilnehmers:												
nach													
1.Versuchen	12,7	-9,9	16,6	13,8									
Wiederholungen	14,1												
allen Versuchen	9,4	7,3	867	12,6	20,5	12,93	0,519	0,138	0,905	0,596	97,8	7267	1 178 180 2 181 504
	erfolglos insgesamt:												
nach													
1.Versuchen	5,9	13,6	10	6,1									
Wiederholungen	4,8												
allen Versuchen	3,7	4,3	12	4,8	2,6	63,10	0,188	0,202	1,762	0,829	18,4	4953	1 20 162

* Der Unterschied ist signifikant mit 1 % Irrtumswahrscheinlichkeit, wenn $|D_1|$ bzw. $|D_2| > |D_S|$

$E(\%)$	$D_1(\%)$	$T_1(s)$	$ D_{S1}(\%)$	$T_2(s)$	$ D_{S2}(\%)$	$T_0(s)$	$a \cdot 10^3$ (s^{-1})	b	$c \cdot 10^3$ (s^{-1})	d	A_1	t_{m1} (s)	t_{m2} (s)	i	T_{Ai} (s)	T_{Ei} (s)
---------	-----------	----------	---------------	----------	---------------	----------	--------------------------------	-----	--------------------------------	-----	-------	-----------------	-----------------	-----	-----------------	-----------------

mit und ohne Erfolg insgesamt:

nach																	
1. Versuchen	4,3	18,6	38	4,6													
Wiederholungen	4,1																
allen Versuchen	3,0	5,6	168	3,9	2,5	47,34	0,444	0,170	1,027	0,642	23,6	5885	1	19	405		
														2	1040	3390	
														3	3400	3440	
														4	9990	∞	

Anrufe innerhalb der Nebenstellenanlage, Abstände nach Anrufen mit Erfolg:

nach																	
1. Versuchen	5,1	-4,1	72	7,8													
Wiederholungen	11,0																
allen Versuchen	4,6	2,9	2890	5,9	21,9	5,387	0,629	0,152	0,762	0,534	207,5	6601	1	133	1400		

mit B-Teilnehmerbesetzt:

nach																	
1. Versuchen	12,0	12,0	9	13,1													
Wiederholungen	11,5																
allen Versuchen	8,3	-6,3	37	11,2	5,1	59,88	0,250	0,272	1,507	0,779	21,8	3682	1	24	140		
														2	141	142	

mit A-Teilnehmerfehlern:

nach																	
1. Versuchen	16,0	-25,3	39	21,9													
Wiederholungen	27,2																
allen Versuchen	13,8	9,4	10	19,5	0,7	73,34	0,218	0,306	1,632	0,804	14,3	3269					

ohne Antwort des B-Teilnehmers:

nach																	
1. Versuchen	7,4	-7,6	152	9,7													
Wiederholungen	12,5																
allen Versuchen	6,4	8,4	1570	8,2	13,4	23,30	0,625	0,153	0,766	0,534	56,3	6549	1	72	469		

erfolglos insgesamt:

nach																	
1. Versuchen	5,7	8,9	619	6,9													
Wiederholungen	7,9																
allen Versuchen	4,6	4,5	1570	6,1	3,6	30,79	0,429	0,170	1,054	0,652	36,1	5886	1	38	356		

mit und ohne Erfolg insgesamt:

nach																	
1. Versuchen	3,8	10,3	488	5,0													
Wiederholungen	6,4																
allen Versuchen	3,3	3,2	1340	4,2	1,7	12,49	0,562	0,166	0,844	0,570	81,8	6026	1	65	890		
														2	902	903	

Wiederholungsabstände, Meßzeit $8^{30} - 16^{30}$ Uhr

Anrufe ins Ortsnetz, Abstände nach Anrufen mit Gassenbesetzt:

nach																	
1. Versuchen	9,6	15,9	9	9,7													
Wiederholungen	7,4																
allen Versuchen	5,9	3,3	15	7,4	3,4	147,8	0,121	0,096	2,177	0,886	10,2	10420					

mit B-Teilnehmerbesetzt:

nach																	
1. Versuchen	18,0	14,7	2909	16,1													
Wiederholungen	11,1																
allen Versuchen	9,4	6,0	2560	11,7	13,2	33,71	0,308	0,092	1,329	0,735	42,9	10883	1	63	157		

mit A-Teilnehmerfehlern:

nach																	
1. Versuchen	15,9	23,9	15	15,9													
Wiederholungen	11,6																
allen Versuchen	9,4	6,0	10	12,6	4,5	150,2	0,143	0,076	2,019	0,867	11,2	13162					

ohne Antwort des B-Teilnehmers:

nach																	
1. Versuchen	19,5	23,6	5280	13,8													
Wiederholungen	17,4																
allen Versuchen	13,0	7,1	3520	12,6	18,8	11,40	1,214	0,028	0,352	0,297	106,5	35733					

erfolglos insgesamt:

nach																	
1. Versuchen	6,6	15,8	2910	6,1													
Wiederholungen	5,0																
allen Versuchen	4,0	5,7	4360	4,8	2,7	73,36	0,326	0,062	1,281	0,722	16,3	16132	1	20	126		

erfolglos ohne Gassenbesetztfälle:

nach																	
1. Versuchen	9,7	22,6	3530	7,8													
Wiederholungen	7,0																
allen Versuchen	5,7	6,8	3520	6,4	2,8	34,68	0,466	0,049	0,988	0,627	31,6	20411	1	62	207		

E (%)	D_1 (%)	T_1 (s)	D_{S1} (%)	T_2 (s)	D_{S2} (%)	T_0 (s)	$a \cdot 10^3$ (s^{-1})	b	$c \cdot 10^3$ (s^{-1})	d	A_1	t_{m1} (s)	t_{m2} (s)	T_{Ai} (s)	T_{Ei} (s)
---------	-----------	-----------	--------------	-----------	--------------	-----------	--------------------------------	-----	--------------------------------	-----	-------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

Anrufe innerhalb der Nebenstellenanlage, Abstände nach Anrufen mit B-Teilnehmerbesetzt:

nach																
1. Versuchen	14,1	17,7	427	13,1												
Wiederholungen	12,4															
allen Versuchen	9,3	-8,2	76	11,3	5,4	63,49	0,486	0,074	0,955	0,614	21,2	13519	1	20	131	

mit A-Teilnehmerfehlern:

nach																
1. Versuchen	18,6	-23,9	20	21,9												
Wiederholungen	29,3															
allen Versuchen	15,7	-4,4	7	19,5	2,8	106,3	0,463	0,047	0,994	0,630	12,2	21279				

ohne Antwort des B-Teilnehmers:

nach																
1. Versuchen	12,5	11,3	8510	9,8												
Wiederholungen	18,2															
allen Versuchen	10,3	4,3	2610	8,2	-1,0	4,147	2,187	0,029	0,128	0,112	240,1	34482				

erfolglos insgesamt (ohne Gassenbesetztfälle):

nach																
1. Versuchen	8,0	21,1	6840	6,9												
Wiederholungen	9,4															
allen Versuchen	6,1	-2,7	26	6,1	3,9	46,93	1,041	0,034	0,435	0,352	25,2	29416	1	27	219	

Wiederholungsabstände, Meßzeit 10³⁰ - 11³⁰ und 14³⁰ - 15³⁰ Uhr

Anrufe ins Ortsnetz, Abstände nach Anrufen, erfolglos ohne Gassenbesetztfälle:

nach																
1. Versuchen	14,9	20,4	2650	12,9												
Wiederholungen	10,9															
allen Versuchen	8,8															

Anrufe innerhalb der Nebenstellenanlage, Abstände nach Anrufen, erfolglos (ohne Gassenbesetztfälle):

nach																
1. Versuchen	13,6	23,9	9590	11,4												
Wiederholungen	15,2															
allen Versuchen	10,1															

4. Zusammenfassung der Ergebnisse der Messung von 1970

Mit der 1970 in der Nebenstellenanlage der Technischen Universität Berlin durchgeführten Messung wurde versucht, einen einigermaßen genauen Einblick in das Verhalten der Teilnehmer bei erfolgreichen und erfolglosen Anrufversuchen zu gewinnen. Die Methode, den Zustand auf der Fernsprechleitung möglichst genau festzustellen, um das Verhalten der Teilnehmer in Abhängigkeit von diesem Zustand zu ermitteln, erbrachte eine Reihe interessanter Ergebnisse, hatte aber den Nachteil, daß wegen des hohen Aufwandes die Anzahl der Meßwerte sehr klein gehalten werden mußte.

Trotzdem lassen sich eine Reihe von Erkenntnissen als Ergebnis der Meßreihe angeben:

- (1) Die Erfolgswahrscheinlichkeit eines Anrufs hängt von der Dimensionierung des Systems (Verlustwahrscheinlichkeit) und von der Struktur des Teilnehmerkreises ab (Wahrscheinlichkeit von B-Teilnehmerbesetzt und Nichtmelden des B-Teilnehmers). In der beobachteten Anlage zeigen sich infolge unterschiedlicher Dimensionierung und infolge der unterschiedlichen Zusammensetzung des Teilnehmerkreises innerhalb und außerhalb der Anlage erhebliche Unterschiede zwischen dem Internverkehr und dem Verkehr in das Ortsnetz. In jedem Fall sinkt die Erfolgswahrscheinlichkeit mit der Ordnungszahl des Versuchs; d.h. der Teilnehmer wiederholt so schnell, daß im allgemeinen die Ursache des Mißerfolgs noch nicht beseitigt ist.

- (2) Die Dauer des Intervalls von Wählende bis Auflegen bei erfolglosen Versuchen und damit auch die Belegungsdauer hängen von der Ursache der Erfolglosigkeit ab: das Intervall ist sehr kurz bei Gassenbesetzt und bei Wählfehlern, etwas länger bei B-Teilnehmerbesetzt und sehr lang bei Nichtmelden des B-Teilnehmers. Die kurzen Intervalle bei Gassen- und Teilnehmerbesetzt sind im Mittel in Wiederholungen kürzer als in 1. Versuchen; d.h. der Teilnehmer erwartet beim wiederholten Versuch, den Besetztton zu hören, erkennt ihn schneller und legt sofort auf, um einen neuen Versuch zu starten. Die Wartezeit des Rufenden bei Nichtmelden und der Meldeverzug bei erfolgreichen Versuchen hängen von der Verkehrsart ab; die beiden Intervalle sind im Internverkehr wesentlich kürzer als im Verkehr ins Ortsnetz. Entsprechendes gilt für die Gesprächsdauern und damit auch für die Belegungsauern. Infolge der unterschiedlichen Erfolgswahrscheinlichkeit ist die mittlere Belegungsdauer von Wiederholungen erheblich kürzer als die von 1. Versuchen.

- (3) Das Verhalten des Teilnehmers nach erfolglosen Anrufversuchen hängt stark von der Ursache der Erfolglosigkeit ab. Die Wiederholungsintensität ist am höchsten nach Gassenbesetzt und nach Wählfehlern, weniger hoch nach B-Teilnehmerbesetzt und sehr gering bei Nichtmelden des B-Teilnehmers. Die Wahrscheinlichkeit, daß nach einem erfolglosen Versuch eine Zeit $\geq T$ vergeht, ohne daß eine neue Wiederholung eintrifft, läßt sich durch eine Mischung zweier negativer Exponentialfunktionen annähern, wobei das Mischungsverhältnis und die Parameter von den Ursachen des Mißerfolgs abhängen. Wiederholungsabstände nach Wiederholungen sind kürzer als nach 1. Versuchen; offenbar steigt die Ungeduld und damit die Wiederholungsintensität mit der Ordnungszahl des Versuchs.

Die Untersuchung zeigt, daß Wiederholungen erfolgloser Anrufversuche einen erheblichen Anteil am Fernsprechverkehr haben und infolge des erhöhten Arbeits- und Zeitaufwandes für den Verbindungsaufbau auch für den Teilnehmer sehr störend sind. Selbst bei ausreichender Dimensionierung des Netzes bleibt ein erheblicher Anteil übrig, der hauptsächlich durch den gerufenen Teilnehmer hervorgerufen wird. Dieser Anteil könnte nur verringert werden durch die Einführung oder stärkere Verbreitung neuer Dienste wie das "Anklopfen", den automatischen Anrufbeantworter oder die automatische Anrufumlenkung.

Mein Dank gilt

den Herren H. Brüggener und M. Konitzer für ihre Mitarbeit bei der Auswertung und Darstellung der Ergebnisse, dem Fachbereich 20 der Technischen Universität Berlin für die Genehmigung zur Benutzung der Rechenanlage CAE 9040, den Mitarbeitern der Rechenanlage für ihre Unterstützung und der SIEMENS AG, Geschäftsbereich Fernsprechtechnik, München, für die finanzielle Förderung des Forschungsvorhabens.

5. Literatur

1. R. Evers
Das Verhalten der Teilnehmer einer Nebenstellenanlage -
Teil 1: Die Häufigkeit von Wiederholungen nach Anrufversuchen
Heinrich-Hertz-Institut Berlin-Charlottenburg, Technischer Bericht Nr. 143 (1971)
2. R. Evers
Das Verhalten der Teilnehmer einer Nebenstellenanlage -
Teil 2: Zeitintervalle innerhalb der Belegungen
Heinrich-Hertz-Institut Berlin-Charlottenburg, Technischer Bericht Nr. 146 (1971)
3. B.L. van der Waerden
Mathematische Statistik (1965)
4. A. Myskja
O.O. Walmann
An Investigation of Telephone User Habits by Means of Computer Technics
Proc. of the 6th Int. Symp. on Human Factors in Telecom., Stockholm 1972

