Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe

Band: 45 (1967)

Heft: 10

Artikel: Die Belastung von Mehrkanal-Trägerfrequenz-Telephonieanlagen

Autor: Pfyffer, Hans Karl

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-874907

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Die Belastung von Mehrkanal-Trägerfrequenz-Telephonieanlagen

Hans Karl Pfyffer, Bern

621.395.31:621.395.44
621.395.44:621.317.614

Zusammenfassung. *Die Belastungs- und Belegungsverhältnisse von Trägerfrequenz-Telephonieanlagen wurden untersucht; dabei wurden besonders die Primär- und Sekundärgruppen in Betracht gezogen. Einige Messungen wurden auch an einer Einheit von drei Sekundärgruppen und an einem Koaxialsystem durchgeführt. Die auf Grund der Messungen ermittelten Resultate werden mit den vom CCITT empfohlenen Richtwerten für die Dimensionierung der Systeme verglichen und die Resultate diskutiert.*

La charge des installations de téléphonie multivoies à courants porteurs

Résumé. *On examine ici les conditions de charge et d'occupation des installations de téléphonie à courants porteurs, en considérant particulièrement les groupes primaires et secondaires. Quelques mesures ont été exécutées sur une unité de trois groupes secondaires et sur un système coaxial. Les résultats obtenus à l'aide des mesures sont comparés aux valeurs indicatives recommandées par le CCITT pour le dimensionnement des systèmes et les résultats sont discutés.*

L'occupazione degli impianti per la telefonia multipla a frequenze vettrici

Riassunto. *Sono stati esaminati i fattori di utilizzazione e di occupazione della telefonia a frequenze vettrici; si è tenuto conto in particolar modo dei gruppi primari e secondari. Alcune misurazioni sono state effettuate anche su unità con tre gruppi secondari e ad un sistema coassiale. I risultati accertati con le misurazioni vengono confrontati con i valori indicativi raccomandati dal CCITT per il dimensionamento dei sistemi ed i risultati vengono discussi.*

1. Einleitung

Für die Dimensionierung und den Test von Vielkanal-Trägerfrequenzsystemen ist es wichtig, dass die Signale, die von den Systemen übertragen werden müssen, bekannt sind. Die Signale bestehen hier aus der Kombination der durch das Frequenzmultiplexverfahren zusammengeschalteten Ströme oder Spannungen, die ihren Ursprung im Mikrophon des einzelnen Telephoniesprechers haben.

Die folgenden Eigenschaften der Telephoniesignale sind von Interesse:

a) Langzeitlicher Mittelwert der Leistung
b) Statistische Angaben über das kurzzeitige Verhalten der Leistung (Statistik des Summenpegels)
c) Zeitliche Amplitudenverteilung
d) Spitzenwerte

Die Angaben sind von besonderem Interesse während der sogenannten Hauptverkehrsstunden (HVS), in denen die Belastung am grössten ist.

Holbrook und *Dixon* [1] haben umfangreiche Untersuchungen angestellt über die Statistik der Vielkanalsignale. Sie sind dabei von der Signalstatistik einzelner Sprecher ausgegangen und haben durch Superposition die zu erwartenden Vielkanalsignale hergeleitet. Dabei mussten gewisse, auf Messungen basierende Annahmen getroffen werden. So wurde eine Aktivität von 0,25 angenommen, das heisst, ein Vierdrahtkanal ist in einer Richtung im Mittel während nur 25% der Zeit (in der Hauptverkehrsstunde) mit Sprachenergie belastet. Die übrigen 75% schliessen die Sprechpausen, die Sprechdauer des Gesprächspartners, den Aufbau einer Verbindung und die Ruhezeit zwischen zwei Verbindungen ein.

Weiter wurde den Berechnungen ein Medianwert des Sprachpegels von —10 dBm0 zugrunde gelegt. Unter Berücksichtigung des Aktivitätskoeffizienten ergibt sich ein zeitlicher Mittelwert von —16 dBm0.

In verschiedenen Kurven sind in Abhängigkeit der Zahl aktiver Kanäle oder der Zahl der Kanäle im System unter anderem die zu erwartende mittlere Leistung, jene Leistung, die nur während eines bestimmten Bruchteils der Zeit überschritten wird, der Vielkanal-Spitzenwert (Multichannel peak factor) sowie weitere Grössen dargestellt.

Von besonderem Interesse ist sodann das Intermodulationsgeräusch, das durch die Belastung des mit Nichtlinearitäten behafteten Systems durch die komplexen Vielkanalsignale entsteht. Theoretische Betrachtungen sind in [2] angestellt worden. Weitere Beiträge zum Studium des Problems der Intermodulationsgeräusche sind in der CCITT-Dokumentation [3] enthalten.

Für die Berechnung des zu erwartenden Intermodulationsgeräusches (siehe zum Beispiel [4, 5, 6]) empfiehlt das CCITT [7] im Abschnitt G 223 eine durch Weisses Rauschen simulierte Belastung, die in Abhängigkeit von der Anzahl Kanäle im System festgelegt ist. Ferner liegen, ebenfalls vom CCITT enpfohlen, Forderungen bezüglich der Spitzenwerte vor, die vom System übertragen werden müssen, ohne eine Übersteuerung zu verursachen (siehe Fig. 24, Seite 84 in [7]).

Es ist nun von Interesse, zu untersuchen, ob die zur Dimensionierung der Systeme verwendeten Annahmen bezüg-

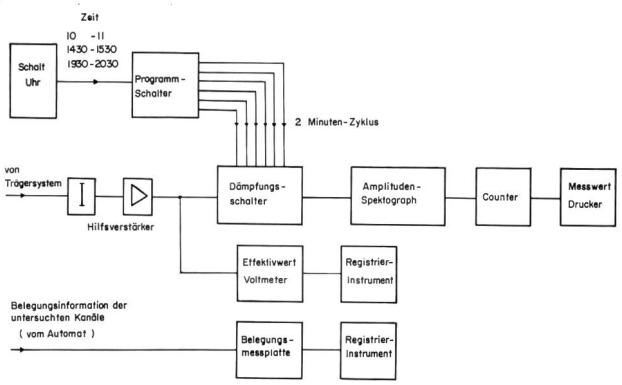


Fig. 1
Messanordnung zur Belastungs- und Belegungsmessung von Trägerfrequenzsystemen

lich der Belastung im schweizerischen Telephonnetz gerechtfertigt sind. Mit Hilfe der in [8] beschriebenen Apparaturen, bestehend aus Amplitudenspektrograph, Belegungsmessplatz und zugehörigen Geräten, können die auf den im Betrieb stehenden Vielkanal-Telephoniesystemen herrschenden Verhältnisse untersucht werden (*Fig. 1*).

2. Untersuchte Anlagen

Es bestand die Absicht, Einheiten verschiedener Kanalzahlen in bezug auf die Belegung und die Belastung zu untersuchen. Die Messungen wurden an den in *Tabelle I* erwähnten Primär- und Sekundärgruppen durchgeführt; ferner wurden gewisse Untersuchungen am Koaxialsystem Bern–Zürich durchgeführt. An einigen weiteren Primärgruppen wurde nur die Belegung untersucht.

Tabelle I

System No.	Anzahl angeschalteter Leitungen
1. Primärgruppe 1234, Bern–Zürich	12 TP
2. Primärgruppe 908, Bern–Genf	12 TP
3. Primärgruppe 902, Bern–Lugano	12 TP
4. Sekundärgruppe 6002, Bern–Zürich	59 TP, 1 TG
5. Drei Sekundärgruppen 6001/2/5, Bern–Zürich	162 TP, 2 TG
6. Koaxialsystem 6 MHz, Bern–Zürich	932 TP, 8 TG, 2 R

(TP: Telephonie, TG: Telegraphie, R: Rundspruch)

3. Die Belegung

Mit Hilfe des Belegungsmessplatzes wurde die Belegung der Primärgruppen, Sekundärgruppen sowie die Summenbelegung von drei Sekundärgruppen registriert. Beispiele, die als typisch bezeichnet werden können, zeigen den Verlauf während eines Tages und sind in *Figur 2a...c* dargestellt. Es ist ersichtlich, dass es drei Hauptverkehrszeiten mit hoher Belegung gibt. Diese Zeiten erstrecken sich etwa von 0900...1130, 1400...1700 und 1930...2100 Uhr. In der Folge wurden folgende Hauptverkehrsstunden angenommen,

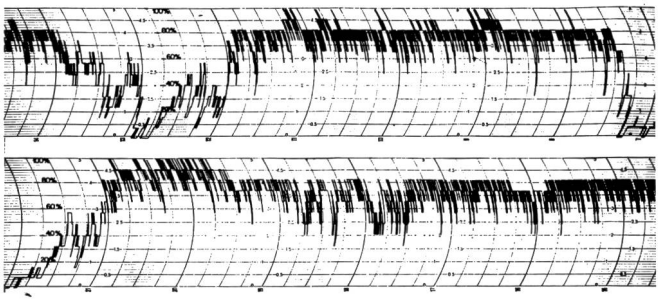
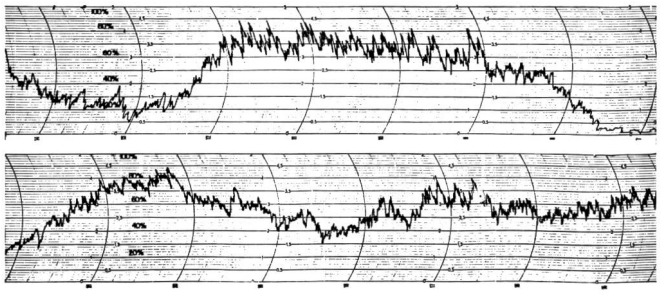
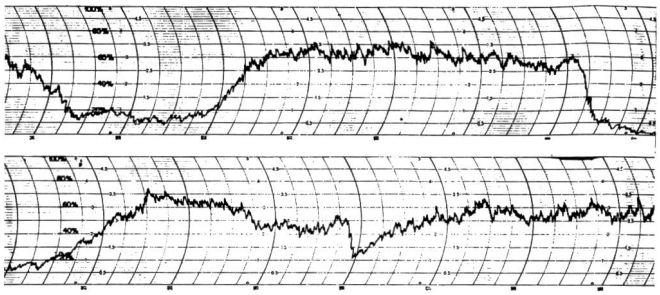


Fig. 2
a) Belegung einer Primärgruppe (12 Kanäle)



b) Belegung einer Sekundärgruppe



c) Belegung von drei Sekundärgruppen Bern–Zürich

in denen die Belastungsmessungen durchgeführt wurden: 1000...1100, 1430...1530, 1930...2030 Uhr.

Die auf den Registrierstreifen aufgezeichneten Belegungswerte wurden statistisch ausgewertet. In *Figur 3* sind die über eine grössere Zahl *h* Hauptverkehrsstunden gemittelten Belegungswerte in Form von Wahrscheinlichkeitskurven aufgetragen.

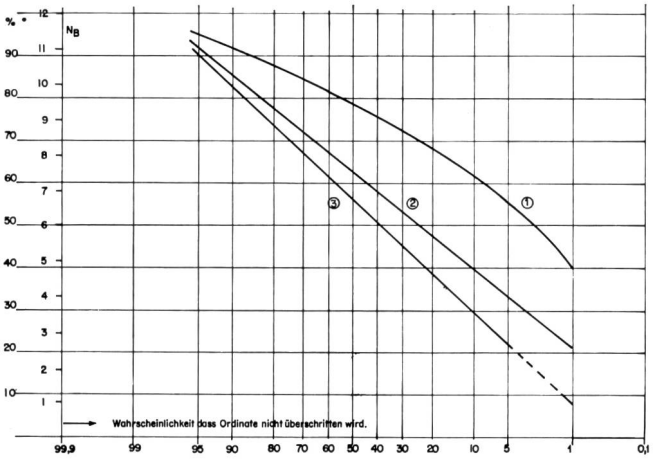


Fig. 3
a) Wahrscheinlichkeitsverteilung der Belegung von Primärgruppen Durchschnitt über h Hauptverkehrsstunden
① Gruppe 1234 Bern–Zürich (h = 23)
② Gruppe 908 Bern–Genf (h = 12)
③ Gruppe 902 Bern–Lugano (h = 18)

3.1 Primärgruppen

Figur 3a stellt die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Belegung der untersuchten Primärgruppen dar. Die Primärgruppe Bern–Zürich fällt mit einem hohen Mittelwert von 9,5 Kanälen auf, das heisst, dass während einer Hauptverkehrsstunde im Mittel 9,5 Kanäle oder 79% belegt sind. Alle drei Kurven zeigen, dass mit einer Wahrscheinlichkeit von etwa 1% alle Kanäle belegt sind.

3.2 Sekundärgruppen

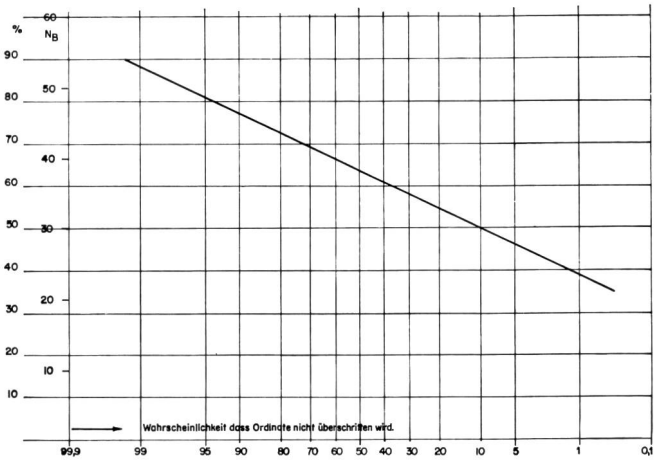
Die Figuren 3b und 3c zeigen, dass die Verhältnisse im Falle von einer und drei Sekundärgruppen nicht so extrem liegen. Eine Belegung von 100% wurde nie festgestellt.

3.3 Zusammenhang zwischen Belegung und Aktivität

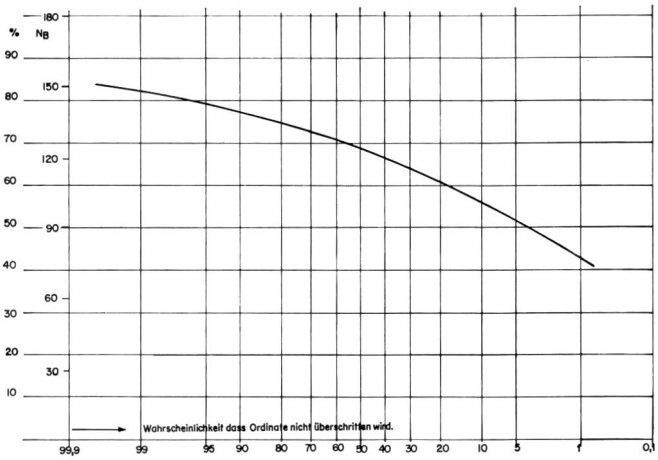
Im Falle der drei Sekundärgruppen wurde während mehrerer Hauptverkehrsstunden jeder Kanal auf der Trägerfrequenzseite etwa 30mal in der Stunde abgetastet und festgestellt, ob Sprachsignale vorhanden waren. Die so gewonnene Information wurde mit der entsprechenden registrierten Belegung in Zusammenhang gebracht. Dabei ergaben sich folgende Verhältniszahlen (in %) zwischen mittlerer Aktivität und mittlerer Belegung:

53,5%, 47%, 50,0%, 50,5%, 54,5%

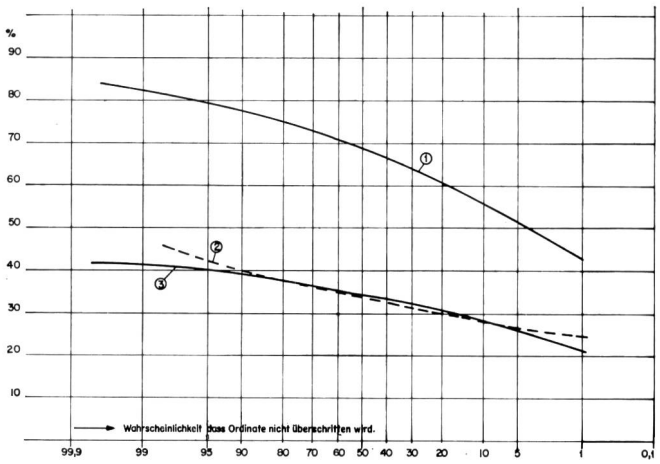
Die Grössenordnung liegt bei 50%. Anhand von Figur 3d kann festgestellt werden, dass die Annahme von 50% berechtigt ist. Die Beziehung zwischen Aktivität und Belegung ist weitgehend von den Sprechgewohnheiten der Telephonbenützer, nicht aber vom System abhängig. Deshalb wurde diese Untersuchung auf den Fall der drei Sekundärgruppen beschränkt.



b) Wahrscheinlichkeitsverteilung der Belegung einer Sekundärgruppe (SG 6002 Bern–Zürich)
Durchschnitt über 51 Hauptverkehrsstunden



c) Wahrscheinlichkeitsverteilung der Belegung von drei Sekundärgruppen (SG 6001, 6002, 6005 Bern–Zürich)
Durchschnitt von 32 Hauptverkehrsstunden



d) Wahrscheinlichkeitsverteilung der Belegung und Aktivität von drei Sekundärgruppen
① Belegung
② Statistisch erfasste Aktivität
③ 50% Ordinaten der Kurve ①

3.4 Zusammenstellung

Die an den verschiedenen Gruppen erhaltenen Belegungsresultate sind in *Tabelle II* zusammengestellt.

Tabelle II

	Mittlere Belegung	σ*)	Aktivität = ½ Belegung	Zahl beobachteter Stunden
3 Sekundärgruppen	67%	7%	33,5%	38
1 Sekundärgruppe	63%	10%	31,5%	51
1 Primärgruppe	77%	11%	38,5%	26
1 Primärgruppe	57%	20%	28,5%	18
1 Primärgruppe	63%	17%	31,5%	12
Mittel	65%		32,5%	

* Die Verwendung der Streuung σ ist nur bedingt richtig, da es sich nicht genau um eine Normalverteilung handelt.

Die in der Kolonne «Aktivität» eingetragenen Werte sind mit der von Holbrook und Dixon verwendeten Grösse von 25% zu vergleichen. Im Falle der Primärgruppe Zürich–Bern liegt der tatsächlich auftretende Mittelwert beträchtlich über dem allgemein den Berechnungen zugrunde liegenden Werte.

4. Die Belastung

Unter Verwendung des Amplitudenspektrographen wurde das Vielkanaltelephoniesignal an den in Tabelle I aufgeführten Gruppen und Sekundärgruppen untersucht. Innerhalb einer Hauptverkehrsstunde wurde jeder der sechs wählbaren Amplitudenschwellwerte dreissigmal abgetastet und der Prozentsatz der Zeit festgestellt, währenddem der eingestellte Schwellwert überschritten ist. Für jeden Schwellwert können Mittelwerte, Streuungen und 1-%-Werte der Überschreitungswahrscheinlichkeit ermittelt werden. Auf diese Weise wurden Amplitudenverteilungskurven bestimmt, die dem stündlichen Mittelwert des Signales entsprechen sowie Grenzkurven, die während höchstens 1% der Zeit überschritten werden.

4.1 Primärgruppen

In *Figur 4a* sind die zeitlich gemittelten Kurven der Primärgruppe 1234 Zürich–Bern dargestellt. Für die Kurve 1 betrug die Abtastzeit eines jeden einzelnen Messwertes 10 s, für Kurve 2 war sie 1 s. Da kein nennenswerter Unterschied

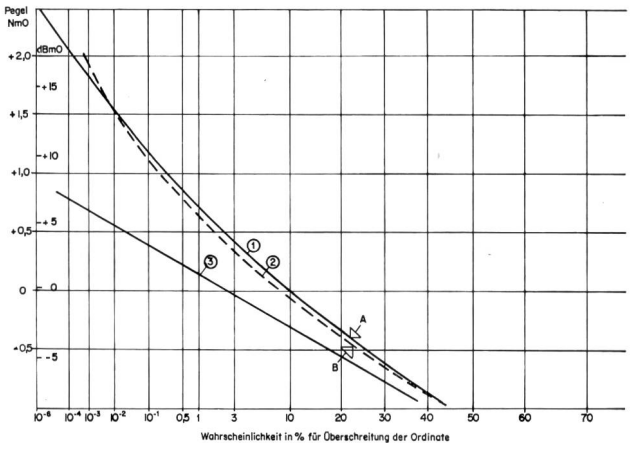
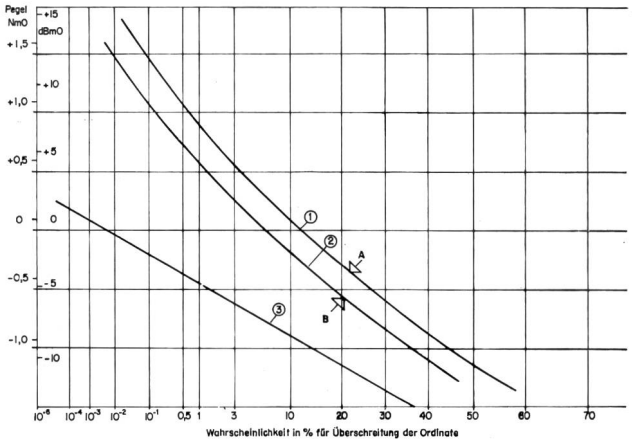


Fig. 4

a) Amplitudenverteilung der Belastung einer Primärgruppe (PG 1234 Bern–Zürich)
Mittelwerte
① Abtastzeit 10 s (Mittel von 6 HVS)
Mittlerer Effektivwert: —0,40 NmO
② Abtastzeit 1 s (Mittel von 9 HVS)
Mittlerer Effektivwert: —0,45 NmO
Mittlere Belegung: $\overline{N}_B$ = 8, 7 Kanäle
③ Theoretischer Verlauf für weisses Rauschen



b) Amplitudenverteilung der Belastung von Primärgruppen-Mittelwerten
① PG 902 Bern–Lugano (Mittel von 6 HVS)
Mittlerer Effektivwert: A: —0,45 NmO
Mittlere Belegung $\overline{N}_B$ = 6,8 Kanäle
② PG 908 Bern–Genf (Mittel von 9 HVS)
Mittlerer Effektivwert: B: —0,65 NmO
Mittlere Belegung $\overline{N}_B$ = 7,5 Kanäle
③ Theoretischer Verlauf für Weisses Rauschen

festgestellt werden konnte, wurde in der Folge ausschliesslich mit 10 s Abtastzeit gearbeitet.

Figur 4b zeigt die Mittelwertskurven für zwei weitere Primärgruppen. Zum Vergleich ist der theoretische Verlauf für Weisses Rauschen ebenfalls dargestellt.

Durch graphisch-numerische Integration kann der Effektivwert des den Kurven entsprechenden Signales bestimmt werden. Der Effektivwert ist gegeben durch die Beziehung

$$V_{\text{eff}}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T [v(t)]^2 \, dt. \qquad (1)$$

Die Abszisse der Kurven, die in Wahrscheinlichkeitswerten geeicht ist, kann als Zeitachse interpretiert werden; somit kann die Amplitudenverteilungskurve als Zeitfunktion aufgefasst werden.

Über den Charakter der Kurven lässt sich folgendes aussagen: Während bei Weissem Rauschen der Effektivwert in 31,74% der Zeit überschritten wird, ist dies für Primärgruppensignale (bestehend ausschliesslich aus Sprache) in nur 20...25% der Zeit der Fall. Ein Amplitudenwert, der zum Beispiel 15 dB oberhalb des Effektivwertes liegt, wird in einer Primärgruppe mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,05% überschritten; bei Weissem Rauschen liegt die Überschreitungswahrscheinlichkeit bei 10^{-6} %.

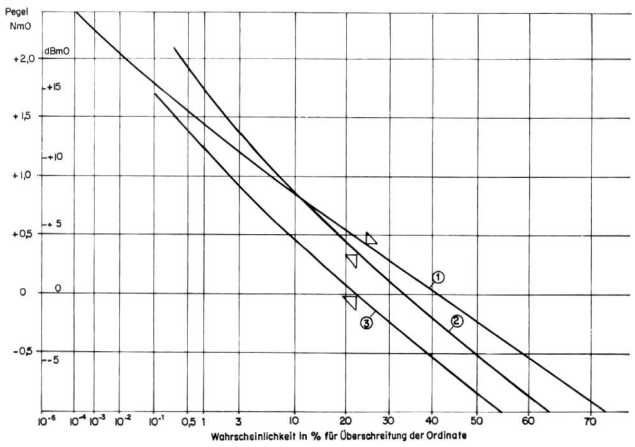
Tabelle III

Untersuchtes System	Datum der Untersuchungen	Mittlerer Effektivwert (Summenpegel) A		Streuung der Summenpegelmesswerte	Mittlere Belegung		Mittlere Leistung im belegten Kanal A-10 log $\overline{N}_B$	Mittlere Leistung pro Systemkanal A-10 log N_o	Summenpegel, (Effektivwert) der 1% der Zeit überschritten wird
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
		Nm0	dBm0	dB	$\overline{N}_B$	%	dBm0	dBm0	dBm0
A. Primärgruppe Zürich–Bern	27. 4. 66... 2. 5. 66	—0,45	— 3,9	2,2	8,7	72,5	—13,3	—14,7	+ 3,5
B. Primärgruppe Zürich–Bern	3. 5. 66... 6. 5. 66	—0,53	— 4,6	2,0	9,2	78,6	—14,2	—15,4	— 0,08
C. Primärgruppe Zürich–Bern	31. 5. 66... 2. 6. 66	—0,36	— 3,1	2,0	—	—	—	—13,9	+ 3,5
D. Primärgruppe Bern–Lugano	17. 5. 66...24. 5. 66	—0,44	— 3,7	2,4	7,0	58,5	—12,2	—14,0	+ 3,0
E. Primärgruppe Bern–Genf	10. 5. 66...16. 5. 66	—0,53	— 4,6	3,0	6,4	53,0	—13,6	—15,4	0,0
F. Sekundärgruppe Zürich–Bern	29. 3. 66...23. 4. 66	+0,53	+ 4,6	0,7	38	62	—11,2	—13,2	+ 6,5
G. 3 Sekundärgruppen Zürich–Bern	16. 3. 66...21. 3. 66	+0,89	+ 7,75	0,7	109	67	—12,65	—14,4	+ 9,5
H. Koaxialsystem 6 MHz Bern–Zürich	Oktober 64/März 65	1,45	+12,6	0,45	—	—	—	—17,0	+14,0

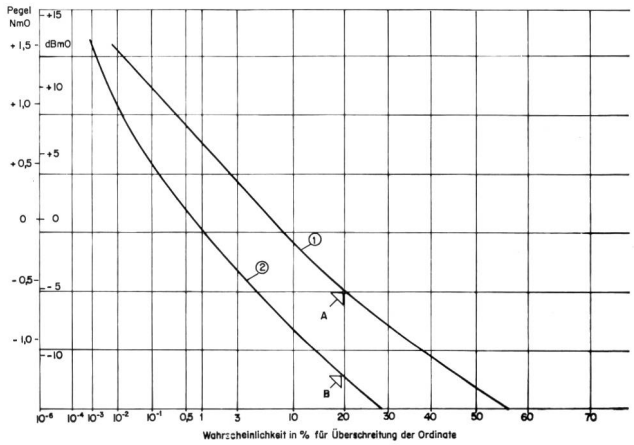
In *Tabelle III*, Kolonnen 3, 4, 5, sind die mittleren Effektivwerte (stündliche Mittelwerte) sowie die Streuung σ um die Mittelwerte aufgeführt. Die Verteilung der Überschreitungszeiten eines bestimmten Schwellwertes im Bereich des Effektivwertes folgt angenähert dem Gesetz einer Normalverteilung.

Ausser den bis jetzt erwähnten Daten ist ebenfalls jene Grenzkurve der Amplitudenverteilung von Interesse, die während höchstens 1% der Zeit überschritten wird. Solche Kurven sind für die untersuchten Primärgruppen in *Figur 4c* dargestellt.

In *Figur 4d* ist schliesslich die Amplitudenverteilung (zeitlich gemittelte Kurve während je einer Hauptverkehrsstunde)



c) Amplitudenverteilung der Belastung von Primärgruppen: —1%-Grenzkurven
① 1%-Kurve (Bern–Zürich ①)
[1%-Kurve (Bern–Zürich ②) ist praktisch gleich wie Kurve ①]
② 1%-Kurve (Bern–Lugano)
③ 1%-Kurve (Bern–Genf)
△ Effektivwert, der mit einer Wahrscheinlichkeit von 1% überschritten wird



d) Amplitudenverteilung der Belastung bei kleiner Zahl aktiver Kanäle (1 HVS)
① Mittlere Belegung: 5,4 Kanäle
Mittlere Leistung A: —0,6 NmO
② Mittlere Belegung: 2,2 Kanäle
Mittlere Leistung B: —1,3 NmO

bei einer kleinen Zahl von aktiven Kanälen aufgetragen. Diese Kurven zeigen eine noch grössere Abweichung vom theoretischen Verlauf des Weissen Rauschens.

4.2 Sekundärgruppen

Wie bei den Primär-, wurde auch an einer Sekundärgruppe die zeitliche Amplitudenverteilung untersucht. Die sich ergebende mittlere Kurve, die 1%-Grenzkurve und der theoretische Verlauf für Weisses Rauschen sind in *Figur 5* dargestellt. Die gemessene Kurve weicht nicht mehr stark von jener des Weissen Rauschens ab. Der durch graphische Integration bestimmte Effektivwert liegt auf der Abszisse bei etwa 30%.

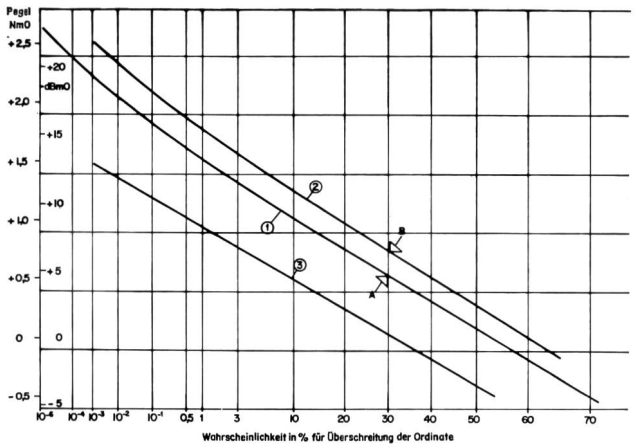


Fig. 5
Amplitudenverteilung der Belastung von Sekundärgruppen
① SG 6002 Bern–Zürich (Mittel von 10 HVS)
Mittlerer Effektivwert: A: +0,53 NmO
Mittlere Belegung: $\overline{N}_B = 38$
② 1%-Grenzkurve. B: Effektivwert = +0,75 NmO
③ Theoretischer Verlauf für Weisses Rauschen

4.3 Summe dreier Sekundärgruppen

Figur 6 zeigt die Resultate für diesen Fall; der Effektivwert liegt hier zeitlich bei 31%, also sehr nahe dem Wert, der für Weisses Rauschen gilt.

Aus Tabelle III sind in Kolonnen 4 und 5 die Effektivwerte und die Streuung ablesbar. Ein Vergleich mit den Ergebnissen für Primärgruppen zeigt, dass hier die Streuung bedeutend kleiner ist.

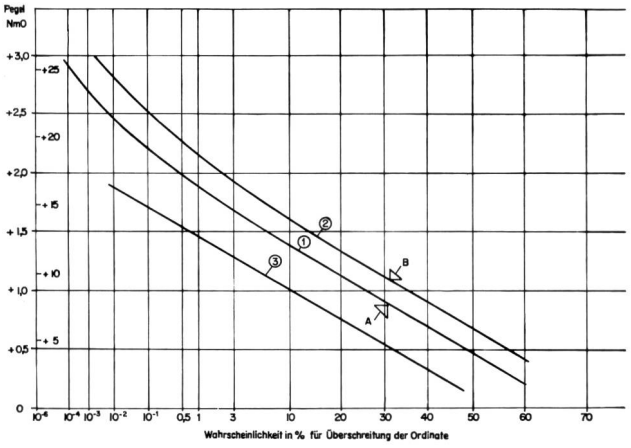


Fig. 6
Amplitudenverteilung der Belastung von drei Sekundärgruppen
① SG 6001, 6002, 6005 Bern–Zürich
Mittel von 7 HVS
Mittlerer Effektivwert A: +0,89 NmO
Mittlere Belegung $\overline{N}_B = 109$ Kanäle
② 1%-Grenzkurve Effektivwert: B = +1,1 NmO
③ Theoretischer Verlauf für Weisses Rauschen

4.4 Koaxialkabelsystem 6 MHz Bern–Zürich

Das System mit einer Kapazität von 1260 Telephoniekanälen war zur Zeit der Messungen gemäss Tabelle I beschaltet. Es wurde deshalb als 940-Kanalsystem betrachtet. Die Amplitudenverteilungskurve folgt praktisch jener für Weisses Rauschen. Die Kurven sind in *Figur 7* dargestellt.

Die Abtastzeit eines einzelnen Messwertes wurde bei diesen Messungen zwischen 0,1 s, 1,0 s und 10 s variiert. Abgesehen davon, dass bei kurzen Abtastzeiten die Streuung der Messwerte etwas grösser ist, zeigen sich keine nennenswerten Unterschiede zwischen den auf die drei Arten erhaltenen Resultaten.

4.5 Registrierte Summenpegel

Wie in [8] erwähnt, kann der Effektivwert des Summenpegels mit einem Effektivwertvoltmeter und einem Registrierinstrument aufgezeichnet werden. Typische Resultate von ganzen Tagen sind aus *Figur 8* ersichtlich. Bei Primärgruppen

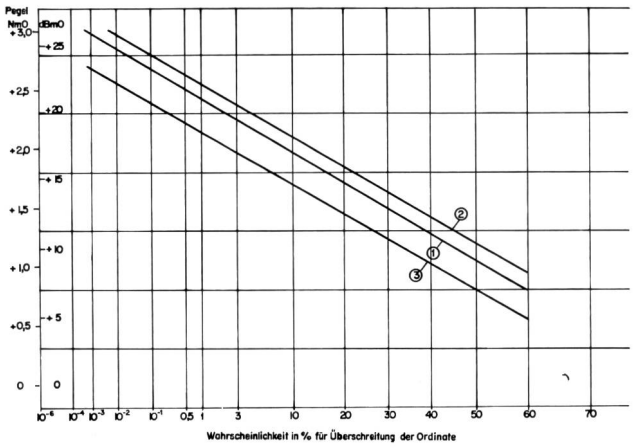


Fig. 7
Amplitudenverteilung der Belastung eines 6-MHz-Koaxialsystems
① Mittelwert von 9 HVS
② 1%-Grenzkurve
③ Theoretischer Verlauf für Weisses Rauschen

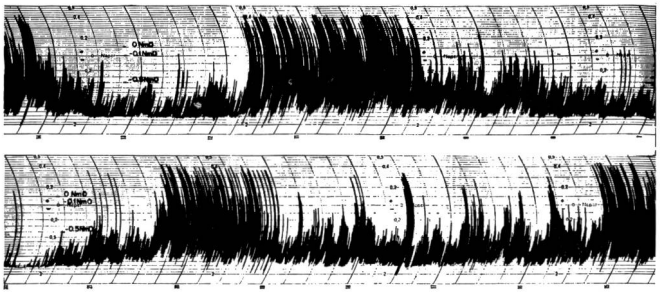
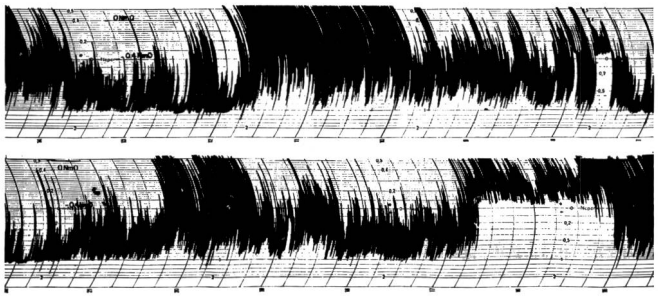
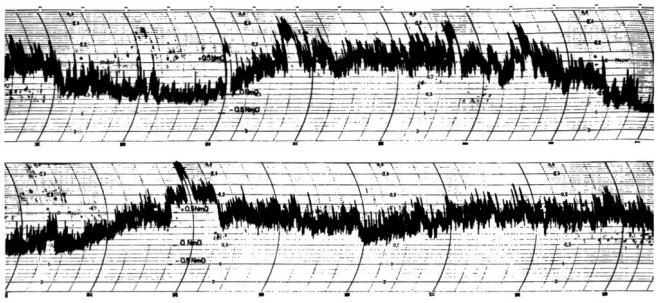


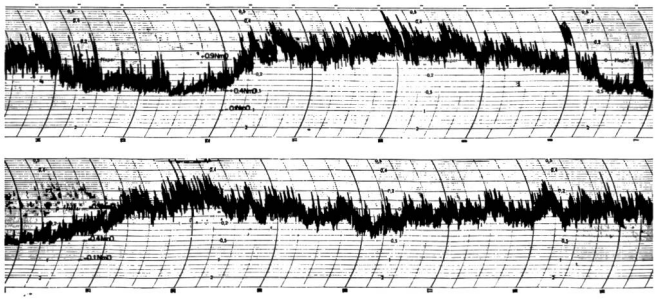
Fig. 8
a) Summenpegel einer Primärgruppe (I)



b) Summenpegel einer Primärgruppe (II)



c) Summenpegel einer Sekundärgruppe



d) Summenpegel dreier Sekundärgruppen

ist auffallend, wie verhältnismässig häufig grosse Spitzen auftreten, während bei zunehmender Kanalzahl die Kurven ausgeglichener werden.

4.6 Zusammenstellung und Diskussion

Eine Zusammenstellung typischer Kurven der mittleren Amplitudenverteilung für verschiedene Zahl $\bar{n}$ aktiver Kanäle befindet sich in *Figur 9*. Dabei wurde $\bar{n}$ als die Hälfte der gemessenen mittleren Belegung $\bar{N}_B$ angesetzt. Diese Annahme ist auf Grund der in Abschnitt 3.3 erwähnten Beobachtungen gerechtfertigt.

Werden die Kurven für kleine $\bar{n}$ mit jenen in [1], Figur 2, und [2], Figur 3 und 4, verglichen, so fällt auf, dass die an Primärgruppen gemessenen Kurven im Bereiche niedriger Pegel

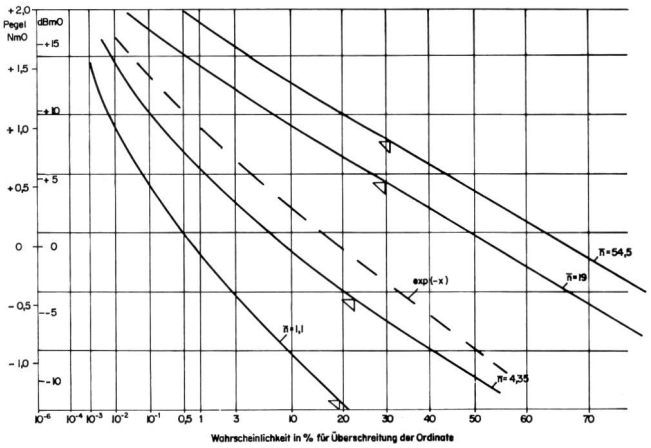


Fig. 9
Mittlere Amplitudenverteilung der Belastung in Abhängigkeit der Zahl $\bar{n}$ der aktiven Kanäle

weniger steil sind. Diese Erscheinung dürfte ihre Erklärung darin finden, dass eine Primärgruppe mit Trägerrestsignalen und Primärgruppenpilot «vorbelastet» ist. Die von Holbrook und Dixon durchgeführten Untersuchungen beziehen sich jedoch ausschliesslich auf Sprachsignale.

Bei einem Primärgruppenpilotpegel von —20 dBm0 und einer gesamten Kanalträgerrestleistung von —20 dBm0 ergibt sich eine totale Vorbelastung von —17 dBm0. Je nach den Phasenverhältnissen zwischen den einzelnen Kanalträgersignalen können sich kurzzeitige, periodisch wiederkehrende Spitzenwerte [9] ergeben, die bis —9 dBm0 gehen können.

Anderseits lässt sich feststellen, dass die Kurve für $\bar{n}$ = 4,35 eine grosse Ähnlichkeit mit einer exp (-x)-Funktion besitzt. Diese Annahme wurde in [2] getroffen, um die Amplitudenverteilung von vier aktiven Kanälen analytisch darzustellen. Die Annahme wäre also im vorliegenden Fall ebenfalls gerechtfertigt.

In Tabelle III, Kolonne 10, sind die Pegel (Effektivwerte) angegeben, die während nur 1% der Zeit überschritten werden. Diese Werte sind in *Figur 10* aufgetragen und können mit der entsprechenden Kurve nach [1], Fig. 6, B, verglichen werden. (Es wurde berücksichtigt, dass Holbrook und Dixon mit einer —16 dBm0 entsprechenden mittleren Leistung je Kanal gerechnet haben; die Kurve in Figur 10 bezieht sich auf —15 dBm0.) Alle gemessenen Werte liegen unterhalb der Kurve.

Figur 10 enthält weiter die stündlichen Mittelwerte der Leistung (nach Tabelle III, Kolonne 4), die mit der von CCITT empfohlenen Belastung von —15+10 log N dBm0 zu vergleichen sind.

Schliesslich sind noch Punkte eingetragen, die mit der vom CCITT angegebenen Sinus-Übersteuerungskurve ver-

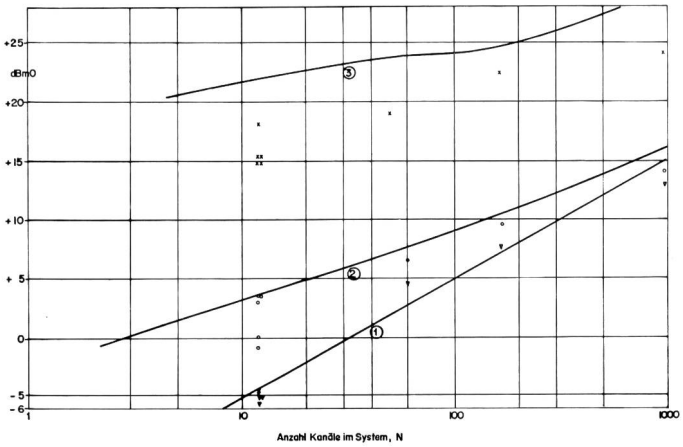


Fig. 10
Wirkliche Belastung der Systeme:
Kurve ① —15+10 log N dBmO
② Effektivwert, der in 1% der Zeit überschnitten wird, nach Holbrook and Dixon, Fig. 6, Kurve B (korrigiert auf —15 dBmO)
③ Spitzenwert des Multiplexsignales nach CCITT, G 223 (um 3 dB verschoben)
○○ Effektivwert, der in 1% der Zeit überschritten wird
▽▽ Mittlerer Effektivwert
XX Spitzenwert, der mit 10^{-5} Wahrscheinlichkeit auftritt

glichen werden können (siehe [7], Seite 84). Die CCITT-Kurve wurde in Figur 10 um 3dB nach oben verschoben und stellt somit den Spitzenwert des Sinussignales dar. Die eingezeichneten Punkte entsprechen jenen Amplitudenwerten der 1-%-Grenzkurven, die mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,1% auftreten; sie werden also mit einer totalen Wahrscheinlichkeit von 10^{-5} erreicht.

Nach den Untersuchungen von Holbrook und Dixon liegen die maximal erreichten Spitzenwerte etwa 2,5 dB höher als jene, die mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,1% auftreten (siehe [1], Fig. 3.). Die durch Messungen bestimmten Spitzenwerte, die mit einer Wahrscheinlichkeit von 10^{-5} auftreten, liegen im Minimum 2 dB unterhalb der auf den CCITT-Empfehlungen basierenden Kurve (die ihrerseits auf den von Holbrook und Dixon hergeleiteten Resultaten beruhen).

Somit liegt der Schluss nahe, dass die Empfehlungen betreffend die Übersteuerungsgrenze eingehalten sind. Dabei ist aber vorausgesetzt, dass die Kanäle ausschliesslich oder doch grösstenteils mit Sprachsignalen belastet sind.

5. Die mittlere Leistung je Kanal

Eine weitere Grösse, die allgemein interessiert, ist die mittlere Leistung im Telephoniekanal. Die durchgeführten Messungen geben Aufschluss über die Belegung und den Summenpegel auf verschiedenen Systemen. Damit lassen sich gewisse Schlüsse ziehen in bezug auf die mittlere Leistung eines Kanales.

In Tabelle III, Kolonne 6, ist neben der mittleren, stündlichen Summenleistung auch die mittlere Belegung $\bar{N}_B$ aufgeführt. Daraus lässt sich eine mittlere Leistung eines *belegten* Kanals errechnen. Die auf diese Weise erhaltenen Werte können mit dem von —15 dBm0 um 3 dB erhöhten CCITT-Wert von —12 dBm0 verglichen werden. (Die 3 dB Erhöhung entspricht der 50-%-Beziehung zwischen Aktivität und Belegung.) In *Figur 11* ist die Verteilung der auf diese Weise für die untersuchten Hauptverkehrsstunden errechneten Mittelwerte aufgetragen.

Wird der Mittelwert der Leistung aus allen diesen Einzelwerten bestimmt, so ergibt sich ein Pegel von —10 dBm0 im *aktiven* Kanal. Unter Berücksichtigung des groben Mittelwertes von 65% für die Belegung (siehe Abschnitt 3.4) und der 50% Beziehung zwischen Aktivität und Belegung ergibt sich eine mittlere Aktivität eines Kanales von 32,5%. (Dieser Wert darf sicher als representativ für Sekundärgruppen und grössere Einheiten betrachtet werden.) Unter Anwendung dieses Wertes ergibt sich eine mittlere Leistung eines Kanales von —14,8 dBm0; sie ist praktisch gleich wie der allgemein verwendete Wert von —15 dBm0.

Die Tabelle III, Kolonne 9, enthält die Mittelwerte der Belastung eines Kanales im System; das heisst, der Summenpegel wurde durch die Anzahl Kanäle im System dividiert. Auch hier zeigt sich, dass der Pegel von —15 dBm0 ein dem praktischen Fall entsprechender Wert ist.

Nun ist aber zu beachten, dass sich die in diesem Abschnitt angeführten Betrachtungen bisher ausschliesslich auf Mittelwerte beziehen. Ihre Anwendung ist sicher gerechtfertigt im Falle der Systeme mit grösseren Kanalzahlen (beispielsweise $N_o \geq 60$). Bei kleiner Anzahl Kanäle liegen die Verhältnisse jedoch anders. Die in Figur 3a dargestellten Kurven stellen auch Mittelwerte über eine grössere Zahl Hauptverkehrsstunden dar. In einzelnen Messperioden wurde an gewissen Primärgruppen aber beobachtet, dass volle

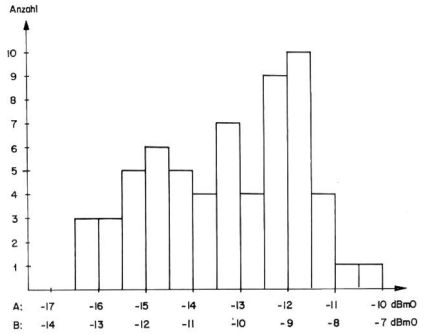


Fig. 11
Verteilung der stündlichen Mittelwerte der Leistung im Kanal auf Trägerfrequenzsystemen (Total: 62 Hauptverkehrsstunden).
A: Leistung im belegten Kanal
B: Leistung im aktiven Kanal (Aktivität während 50% der Belegungszeit)

Belegung während 20% und länger einer Hauptverkehrsstunde keine Seltenheit ist. (Bei Systemen kleiner Kanalzahl, wie C5, liegen die Verhältnisse noch extremer.) Unter Berücksichtigung dieser Tatsache drängt sich die Forderung auf, dass Primärgruppen und Systeme kleiner Kanalzahl für volle Belegung dimensioniert werden müssen. Diese Frage wird in Abschnitt 7 nochmals aufgegriffen.

6. Die Verzerrungsgeräuschleistungen

Ein wichtiges Kriterium bei der Beurteilung der Übertragungsqualität ist das Intermodulationsgeräusch. Das im Betrieb die Geräusche erzeugende Signal (nämlich das Multiplexsignal einer bestimmten Zahl Telephoniekanäle) ist bei der Entwicklung, dem Prototyptest und den Abnahmemessungen gar nicht oder nur beschränkt vorhanden. Somit ist es notwendig, die Verhältnisse auf einfache Art zu simulieren, dabei wird oft ein Signal aus Weissem Rauschen verwendet. Für gewisse Untersuchungen kommen auch Sinussignale zur Anwendung.

Wie verschiedentlich gezeigt wurde ([1], [2] sowie auf Grund der hier durchgeführten Messungen), ist das Amplitudenspektrum eines Frequenzmultiplexsignales bei grösserer Kanalzahl praktisch gleich wie jenes von Weissem Rauschen. Diese Tatsache rechtfertigt die Verwendung von Weissem Rauschen als Testsignal. Bei kleinen Kanalzahlen liegen die Verhältnisse anders, und die Benützung von Weissem Rauschen kann nur noch als eine Kompromisslösung angesehen werden.

6.1 Klirrdämpfung und Intermodulationsgeräusch

Eine nichtlineare Charakteristik kann, mit gewissen Ausnahmen, bekanntlich in der Umgebung eines Arbeitspunktes durch eine Potenzreihe dargestellt werden:

$$V_o = \mu_1 V + \mu_2 V^2 + \mu_3 V^3 + \dots \tag{2}$$

Die Leistung in einem Widerstand vom Wert 1 ist gegeben durch

$$\overline{V_0^2} = \mu_1^2 \overline{V^2} + \mu_2^2 \overline{V^4} + \mu_3^2 \overline{V^6} + \dots \tag{3}$$

Die Komponente $\mu_1^2 \overline{V^2}$ stellt die Leistung V_{eff}^2 der Grundwelle (Effektivwert) dar, während die weiteren Summanden die Verzerrungsleistungen der verschiedenen Ordnung wiedergeben.

Wenn das Signal V aus einer einzigen Sinuswelle mit Effektivwert V_{eff} besteht, dann ist die Leistung der 2. Oberwelle gegeben durch den Ausdruck $\frac{1}{2} \mu_2^2 V_{eff}^4$, jene der 3. Oberwelle durch $\frac{1}{4} \mu_3^2 V_{eff}^6$.

Ist das Signal V durch seine Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion $dP\ (V)$ gegeben, dann ist die Verzerrungsleistung der n-ten Ordnung bestimmt durch

$$\overline{V_n^2} = \frac{\mu_n^2 \int_0^1 V^{2n}\, dP}{\int_0^1 dP} \tag{4}$$

Für Weisses Rauschen gilt:

$$dP = \frac{dV}{\sqrt{2\pi\Psi}} \cdot e^{-\frac{V^2}{2\Psi}} \tag{5}$$

wobei $\Psi = V_{eff}^2$

Es kann nun gezeigt werden, dass bei gegebenem μ_n und gleichem Effektivwert die totale Verzerrungsleistung n-ter Ordnung bei Weissem Rauschen um folgende Faktoren höher ist als die entsprechende Oberwellenleistung eines einzelnen Sinussignales:

	Faktor	dB
2. Ordnung	6	7,8
3. Ordnung	60	17,8

Es ist zu beachten, dass die totale Verzerrungsleistung bei gerader Ordnung eine Gleichstromkomponente sowie Komponenten bei gerader Ordnungszahl $\leq n$, bei ungerader Ordnung bei allen ungeradzahligen $n_i \leq n$ einschliesslich der Grundwelle aufweisen. Die Gleichstrom- und die Grundwellenkomponente können, wie in [4], Tabelle I, dargestellt, meist vernachlässigt werden; sie müssen aber, wie in [2], Abschnitt 7, gezeigt wurde, bei kleinen Kanalzahlen entsprechend berücksichtigt werden.

Wie von der totalen Intermodulationsleistung ausgehend die Geräuschleistung im einzelnen Kanal errechnet wird, wurde zum Beispiel in [4], [5], [10] gezeigt; darauf soll hier jedoch nicht eingegangen werden.

6.2 Die Verzerrungsgeräuschleistung bei reeller Belastung

Das Amplitudenspektrum des Frequenzmultiplexsignales lässt sich besonders bei kleiner Kanalzahl nicht ohne weiteres in der Form einer Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion analytisch darstellen. Die auf Messungen beruhenden Kurven können aber durch eine Treppenkurve approximiert und die Integration zur Bestimmung der Verzerrungsgeräusche nach Gleichung (4) numerisch durchgeführt werden.

In *Tabelle IV* wurden zunächst Koeffizienten x_2 und x_3 aufgeführt, deren Bedeutung aus folgender Beziehung ersichtlich ist:

Tabelle IV

System	Faktor x_2	Faktor x_3	Verzerrungsleistung höher als Oberwelle von Sinus mit gleichem Effektivwert 2. Ordnung	Verzerrungsleistung höher als Oberwelle von Sinus mit gleichem Effektivwert 3. Ordnung	Verzerrungsleistung höher als jene für Weisses Rauschen, gleicher Effektivwert 2. Ordnung	Verzerrungsleistung höher als jene für Weisses Rauschen, gleicher Effektivwert 3. Ordnung	Pegel von Weissem Rauschen höher als Frequenzmultiplex-Signalpegel für gleiche Verzerrungsleistung 2. Ordnung	Pegel von Weissem Rauschen höher als Frequenzmultiplex-Signalpegel für gleiche Verzerrungsleistung 3. Ordnung	Relativpegel von Weissem Rauschen zur Erzeugung der im Betrieb zu erwartenden mittleren Verzerrungsleistung 2. Ordnung	Relativpegel von Weissem Rauschen zur Erzeugung der im Betrieb zu erwartenden mittleren Verzerrungsleistung 3. Ordnung
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
A. Primärgruppe	6,6	157	11,2 dB	28 dB	3,4 dB	10,2 dB	1,7 dB	3,4 dB	—1,6 dBm0	+0,5 dBm0
B. Primärgruppe	6,6	144	11,2	27,6	3,4	9,8	1,7	3,25	—2,4	—1,55
C. Primärgruppe	8,6	166	12,4	28,4	4,6	10,6	2,3	3,5	—0,4	+1,2
D. Primärgruppe	11,2	414	13,5	32,2	5,7	14,4	2,9	4,8	—0,3	+2,3
E. Primärgruppe	7,1	280	11,5	30,5	3,8	12,7	1,9	4,2	—1,7	+1,6
F. Sekundärgruppe	3,5	22	8,5	19,4	0,7	1,6	0,35	0,55	+4,95	+5,15
G. 3 Sekundärgruppen	3,8	27,2	8,8	20,4	1,0	2,6	0,5	0,8	+8,25	+8,55
Weisses Rauschen	3,0	15	7,8	17,8	—	—	—	—	—	—

$$T_2 = \mu_2 \; x_2 \; V^4_{eff}$$

$$T_3 = \mu_3 \; x_3 \; V^6_{eff}$$

(T_n stellt die totale Verzerrungsleistung dar)

Unter Annahme von $\mu_2 = \mu_3 = 1$ können T_2, T_3 und V^2_{eff} durch numerische Integration bestimmt werden, worauf sich x_2 und x_3 ermitteln lassen.

Die Kolonnen 3 und 4 der Tabelle IV geben Aufschluss darüber, um welchen Faktor die reelle Verzerrungsleistung höher ist als die entsprechende Oberwellenleistung eines Sinussignales mit gleichem Effektivwert. In Kolonnen 5 und 6 sind die Verhältnisse bezüglich Weissem Rauschen dargestellt. Die Kolonnen 7 und 8 schliesslich zeigen die notwendige Erhöhung des Pegels eines Signales, bestehend aus Weissem Rauschen, über den Pegel der wirklichen Belastung, damit die gleiche Verzerrungsleistung erzeugt wird.

Die in Tabelle IV, Kolonne 3 und 4, aufgeführten Resultate können mit den in [2], Fig. 8, enthaltenen Angaben verglichen werden. Diese Angaben lauten wie folgt:

	Anzahl aktiver Kanäle r	Verzerrung höher als entsprechende Oberwelle eines Sinussignals 2. Ordnung	3. Ordnung
Primärgruppe	4	11 dB	26 dB
Sekundärgruppe	20	9 dB	21 dB
3 Sekundärgruppen	60	8,2 dB	19,5 dB

Die Übereinstimmung ist recht gut; es ist dabei zu beachten, dass die in [2] gemachte Voraussetzung konstanten Volumens bei den hier durchgeführten Messungen nicht zutrifft.

6.3 Konventionelle Belastung, Vergleich mit CCITT-Empfehlungen

Bei bekanntem Effektivwert des Frequenzmultiplexsignales (siehe Tabelle III, Kolonne 3 und 4 für Mittelwert) lässt sich nun mit Hilfe der in Tabelle IV, Kolonne 7 und 8, angeführten Werte jener Pegel der Rauschbelastung bestimmen, der zur Simulierung der im Betrieb zu erwartenden Geräuschverhältnisse verwendet werden muss. Die Resultate sind in Tabelle IV, Kolonne 9 und 10, aufgeführt. Ferner sind sie in *Figur 12* eingetragen, wo sie mit der in [7], Abschnitt G. 222, angegebenen konventionellen Belastung verglichen werden können (siehe auch [3], Seiten 271 ff.).

Es zeigt sich, dass die hier durchgeführten Untersuchungen im Falle der Mittelwerte zu Ergebnissen führen, die innerhalb der vom CCITT anerkannten Grenzen liegen.

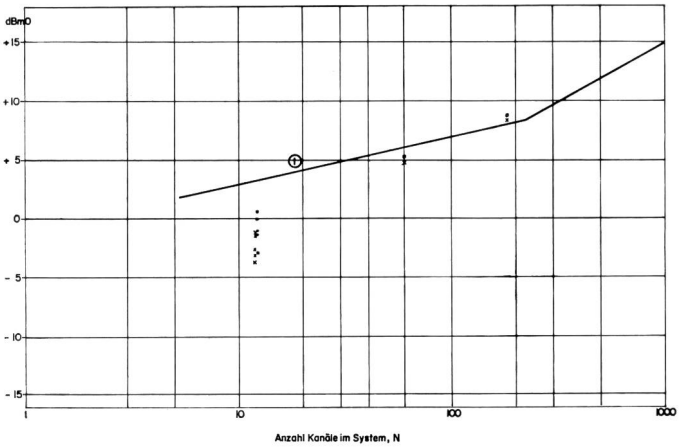


Fig. 12
Konventionelle Belastung der Systeme:
Belastung durch Weisses Rauschen
a) Kurve 1: nach CCITT, G 223
b) Punkte XX für IM 2. Ordnung
OO für IM 3. Ordnung
auf Grund der Belastungsmessungen (Mittelwerte) bestimmt

7. Vorschlag für neue Belastungsnorm für Primärgruppen

Wie in Abschnitt 5 schon erwähnt worden ist, soll untersucht werden, ob für Primärgruppen und Systeme kleiner Kanalzahl die konventionelle Belastung neu festgelegt werden muss, da eine 100-%-Belegung über längere Zeitabschnitte innerhalb einer Hauptverkehrsstunde keine Seltenheit ist. In Abschnitt 5 wurde die mittlere Leistung im aktiven Kanal zu —10 dBm0 bestimmt. Der mittlere Effektivwert des Frequenzmultiplexsignales einer Primärgruppe ist sodann

$$-10+10 \log 12-3 = -2{,}2 \text{ dBm0}.$$

(Annahme von 50% Aktivität.) Wie aus Tabelle IV, Kolonnen 7 und 8, ersichtlich ist, muss zur Simulierung der zu erwartenden Verzerrungen 3. Ordnung mit dem höhern Pegel Weissen Rauschens belastet werden. Sein Effektivwert muss etwa 5 dB oberhalb demjenigen des wirklichen Signales liegen, womit sich eine Messbelastung von +2,8 dBm0 ergibt. Dieser Wert ist 0,5 dB tiefer als die vom CCITT empfohlene Belastung. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Überlegungen in diesem Abschnitt sich so weit ausschliesslich auf Sprachsignale beziehen.

Ist einer der 12 Kanäle einer Primärgruppe mit einem Telegraphiesystem belegt, dann steigt der mittlere Summenpegel der Primärgruppe auf ungefähr 0 dBm0 (420 μW $\hat{=}$ —3,8 dBm0 des Telegraphiesystemes, 11 Kanäle für Telephonie). Die konventionelle Belastung muss für diesen Fall auf +5 dBm0 hinaufgesetzt werden.

Ähnlich liegen die Verhältnisse, wenn ein Kanal mit einem Sperrsignal von —3,5 dBm0 = —0,4 Nm0 belastet ist. Es wäre deshalb vorteilhaft, wenn der Signalisierungspegel tiefer gelegt werden könnte.

In Anbetracht dieser Ausführungen sollte eine Erhöhung der konventionellen Belastung der Primärgruppen von +3,3 dBm0 auf +5,0 dBm0 in Betracht gezogen werden.

8. Schlussbetrachtung

Die an einer beschränkten Zahl von Trägerfrequenzsystemen durchgeführten Untersuchungen haben über die im schweizerischen Netz auftretenden Belastungs- und Belegungsverhältnisse Aufschluss gegeben. Es konnte festgestellt werden, dass die vom CCITT zur Dimensionierung der Systeme empfohlenen konventionellen Belastungen und die Übersteuerungsgrenzen im Falle grösserer Kanalzahlen (von der Sekundärgruppe aufwärts) die schweizerischen Betriebsverhältnisse auf angemessene Weise nachbilden und sogar noch etwas Reserve vorhanden ist. Bei kleinen Kanalzahlen hingegen, namentlich bei Primärgruppen, wurde festgestellt, dass eine Erhöhung der konventionellen Belastung durch Weisses Rauschen um 1,7 dB auf +5 dBm0 wünschenswert ist.

Bibliographie

[1] *Holbrook B. D.* and *Dixon J. T.* Load Rating Theory for Multi-Channel Amplifiers. Bell Syst. Techn. Journal 18 (1939), Nr 4, p. 624...644.

[2] *Jacobsen B. B.* The Effect of Non-Linear Distortion in Multi-Channel Amplifiers. Electr. Comm. 19 (1940), Nr 1, p. 29...54.

[3] CCITT Rotbuch I, S. 271 ff und 281 ff.

[4] *Brockbank R. A.* and *Wass C. A. A.* Non-Linear Distortion in Transmission Systems. Journal of the IEE, London, 92 (1945), part III, March, p. 45...56.

[5] *Janson S.* and *Stending V.* Some Problems Concerning Noise in Wideband Carrier Systems. Ericsson Technics 16 (1960), Nr 1, p. 3...42.

[6] CCITT Rotbuch III, S. 362.

[7] CCITT Blaubuch III

[8] *Fontanellaz G.*, *Pfyffer H. K.* und *Emmenegger H.* Belastungsmessungen an Trägerfrequenz-Telephoniesystemen. Techn. Mitt. PTT 45 (1967), Nr. 5, S. 237...241.

[9] *Rasch J.* Die Addition kohärenter Sinusschwingungen in Trägerfrequenz-Vielkanalssystemen und ihre Auswirkung auf die Übertragungsstrecken. Nachrichtentechn. Zeitschrift 19 (1956), Nr. 5, S. 262...266.

[10] *Fontanellaz* G. Die nichtlinearen Verzerrungen in Mehrkanalübertragungssystemen. Techn. Mitt. PTT 37 (1959), Nr. 7, S. 253...262.