Datenübertragung auf dem öffentlichen Telefonnetz

Autor(en): **Zumstein, H.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **70 (1979)**

Heft 3

PDF erstellt am: **30.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-905347

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

BULLETIN des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
de l'Association Suisse des Electriciens
des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke
de l'Union des Centrales Suisses d'Electricité

Elektrotechnik – Electrotechnique

Datenübertragung auf dem öffentlichen Telefonnetz

Von H. Zumstein

681.327.8:621.395.38;

Der nachstehende Aufsatz richtet sich in erster Linie an die EDV-Verantwortlichen von Mittel- und Kleinbetrieben, die sich je länger je mehr auch mit Anwendungen der Datenübertragung konfrontiert sehen. Welches sind die Eigenschaften der üblichen Telefonleitungen? Welches sind die Möglichkeiten, die Telefonleitungen für die Datenübertragung zu benützen? Der Autor möchte mit nachstehendem Aufsatz einen allgemeinen Überblick geben.

Cet article est destiné avant tout aux personnes chargées du traitement électronique de l'information dans de moyennes ou petites entreprises et qui ont de plus en plus souvent à s'occuper également de la transmission d'informations. L'auteur donne un aperçu général des propriétés des lignes téléphoniques publiques et de leurs possibilités d'utilisation pour cette transmission.

1. Ursprünglicher Zweck des Telefonnetzes

Das Telefonnetz hatte bis vor ca. 10 Jahren keinem andern Zweck zu dienen als für die Übertragung von Sprachsignalen, um die gegenseitige Verständigung zweier oder eventuell auch mehrerer Gesprächspartner zu gewährleisten. Obwohl die Hörempfindlichkeit des menschlichen Ohres zwischen ca. 16 und 16000 Hz liegt, haben Versuche gezeigt, dass bei einer Übertragungsbandbreite von 300...2700 Hz eine absolut genügende Silbenverständlichkeit und eine Erkennung des Gesprächspartners gewährleistet ist. Aus wirtschaftlichen Gründen wurde deshalb bei der Konzipierung der Übertragungswege die Übertragungsbandbreite so eng wie möglich gehalten. Darum steht heute in der Regel maximal eine Bandbreite von 300...3400 Hz zur Verfügung.

2. Die Gliederung des heutigen Telefonnetzes

Das heutige Telefonnetz kann von den Übertragungseigenschaften her gesehen in grundsätzlich drei Bereiche – Ortsnetz, Bezirksnetz und Fernnetz – unterteilt werden.

Das *Ortsnetz* ist eine technische Bezeichnung und hat nichts zu tun mit dem Taxkreis. Üblicherweise bilden die sternförmig und in der Regel pro Teilnehmer autonom geführten Teilnehmeranschlussleitungen, welche zu einer Ortszentrale führen, das Ortsnetz. Diese Teilnehmerleitungen bestehen aus verdrillten durchgehenden Kupferleitungen (NF-Kabel).

Das *Bezirksnetz* verbindet Orts- und Knotenämter mit der Netzgruppenhauptzentrale oder unter sich selbst. In der Hauptsache bestehen diese Verbindungen aus NF-Kabeln, welche jedoch infolge der grösseren zu überbrückenden Distanz mit sog. Pupinspulen ausgerüstet sind. Ein nicht unbedeutender Teil der Verbindungen wurde mittels 6kanäligen FDM-Systemen [1]) abgedeckt, und neuerdings kommen 30kanälige PCM-Systeme [2]) zum Einsatz.

Das *Fernnetz* verbindet die Fernknoten- und Fernendämter miteinander. Um die notwendige grosse Zahl Kanäle bereitstellen zu können, ist das Fernnetz hauptsächlich mit FDM-Systemen realisiert. FDM-Systeme sind hierarchisch aufgebaut, d.h. Gruppen von 12 Telefonkanälen sind jeweils zu Systemen höherer Ordnung zusammengefasst. Diese Systeme arbeiten auf paarsymmetrischen Trägerkabeln, auf Koaxialkabeln und über Richtstrahlanlagen. In Zukunft werden jedoch auch auf dem Fernnetz immer mehr PCM-Systeme zum Einsatz kommen.

3. Die Übertragungseigenschaften der vorhandenen Leitungen

Eine Telefonleitung, die zwei im Dialog verkehrende Datenstationen verbindet, ist meistens aus mehreren Abschnitten des Orts-, Bezirks- und Fernbereichs zusammengeschaltet. Dämpfungs- und Gruppenlaufzeitverzerrungen, Unterbrechungen, Störspannungen, Quantisierungsgeräusche, welche innerhalb von Grenzen liegen, dass sie die Sprachübertragung nicht wesentlich stören, können die Datenübertragung beträchtlich verschlechtern bzw. ganz verunmöglichen. Gruppenlaufzeitverzerrungen können die Datenübertragung stark stören, Dämpfungsverzerrungen wirken sich erst dann wesentlich negativ aus, wenn sie bandbegrenzenden Charakter haben. Grundsätzlich interessieren diese zwei wichtigsten Leitungs-

[1]) FDM = Frequency Division Multiplexing.
[2]) PCM = Pulse Code Modulation.

charakteristiken im Bandbereich 300...3400 Hz, dem Sprachbandbereich. Eine Ausnahme bildet die Ortsleitung, welche es dank der grösseren Bandbreite erlaubt, mit Gleichstrom-Datenübertragungsgeräten relativ einfach höhere Übertragungsgeschwindigkeiten zu erreichen.

Dämpfungsverzerrung, Restdämpfung sowie die Gruppenlaufzeitverzerrung sollen im folgenden für die verschiedenen Netzbereiche näher betrachtet werden.

NF-Kabel

Die Adernpaare von Niederfrequenzkabeln (NF-Kabel) werden elektrisch symmetrisch ausgeführt, d.h. nur die Potentialdifferenz zwischen den Adern wird ausgewertet, womit Störspannungen gegenüber Erde unwirksam werden. NF-Kabel werden vieladrig ausgeführt. Um das Nebensprechen zwischen den einzelnen Adern klein zu halten, werden je zwei Adern miteinander verdrillt. Bei der Anordnung als Sternvierer werden zwei Adernpaare gemeinsam verdrillt, wobei durch Phantomkreisschaltung ein dritter Übertragungsweg geschaffen werden kann.

Fig. 1 und 2 zeigen den spezifischen Wellendämpfungsbelag und die spezifische Gruppenlaufzeit über einen grösseren Frequenzbereich, wie sie im Bereich der Basisbandmodems relevant sind. Der Wellendämpfungsbelag steigt proportional mit der Wurzel aus der Frequenz an. Durch den Skineffekt erhöht er sich im Bereich 10 kHz bis 100 kHz. Die Gruppenlaufzeit nimmt mit steigender Frequenz ab und erreicht bei ca. 50 kHz den konstanten Wert von rund 5 µs/km.

Beide Diagramme geben Effektivwerte unter der Voraussetzung, dass Sender und Empfänger als Anschlussimpedanz den Leitungs-Wellenwiderstand aufweisen. Dieser wird bei ca. 100 kHz rein ohmisch und beträgt ca. 150 Ω. Basisbandgeräte werden entsprechend ihrer Übertragungsgeschwindigkeit impedanzmässig angepasst. In gewissen Geräten bis zu ca. 9,6 kbit/s Übertragungsrate wird jedoch eine Unteranpassung gewählt, weil damit die Gruppenlaufzeitverzerrung geringer wird.

Die Figuren 3 und 4 zeigen die Frequenzabhängigkeit der Dämpfung und der Gruppenlaufzeit bei 600 Ω Leitungsabschluss. Trägerfrequenzsysteme haben eine Leitungsimpedanz von 600 Ω, und auch die Sprachbandmodems arbeiten mit dieser in der Telefonie üblichen Abschlussimpedanz. Die angegebenen Werte für Dämpfung und Laufzeit sind als mittlere Richtwerte zu verstehen, denn die Betriebsgrössen sind stark davon abhängig, ob es sich um paarverseilte oder sternverseilte Stamm- oder Phantomstromkreise handelt. Als Beurteilungsgrössen sei auf die in den Figuren 7 und 8 gezeigten Grenzwertdiagramme nach CCITT M 1020[3]) verwiesen.

Als Bezugspunkt für die Dämpfung wird normalerweise 800 Hz gewählt. Die bei dieser Frequenz gemessene Dämpfung ist massgebend für die Restdämpfung der Telefon-Zubringerabschnitte. Die oberhalb und unterhalb von 800 Hz auftretenden Abweichungen der Dämpfung werden als Dämpfungsverzerrung bezeichnet. Der Vergleich zum M-1020-Toleranz-

[3]) CCITT = Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique.

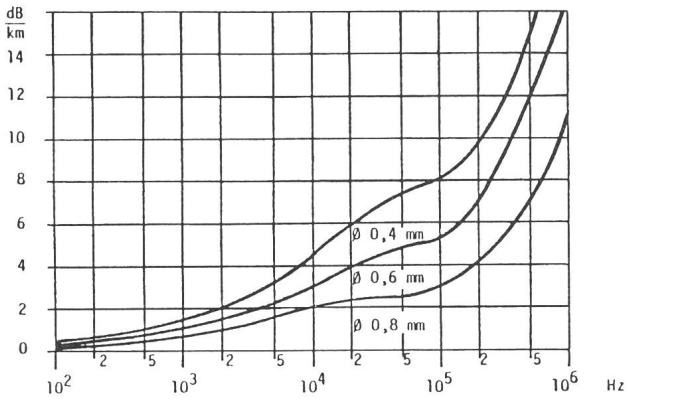


Fig. 1 Wellendämpfungsbelag von NF-Kabeln

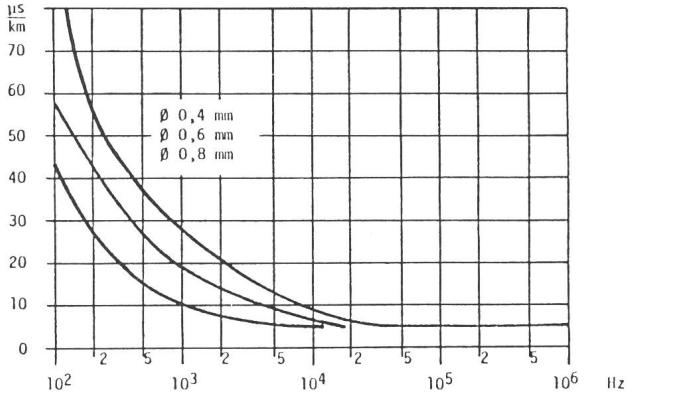


Fig. 2 Spezifische Gruppenlaufzeit von NF-Kabeln

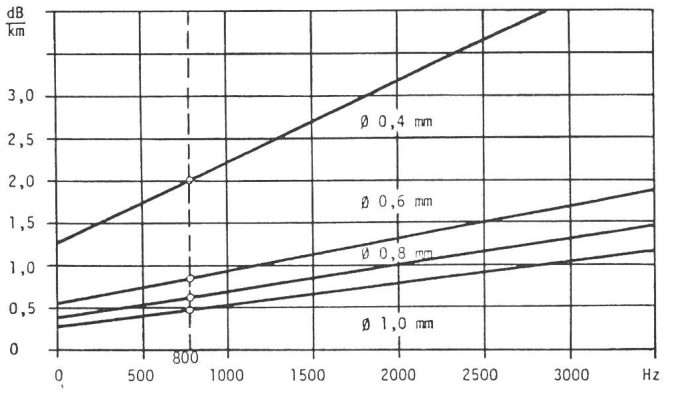


Fig. 3 Typischer Dämpfungsverlauf pro km von unpupinisierten Leitungen (Ortsleitungen)

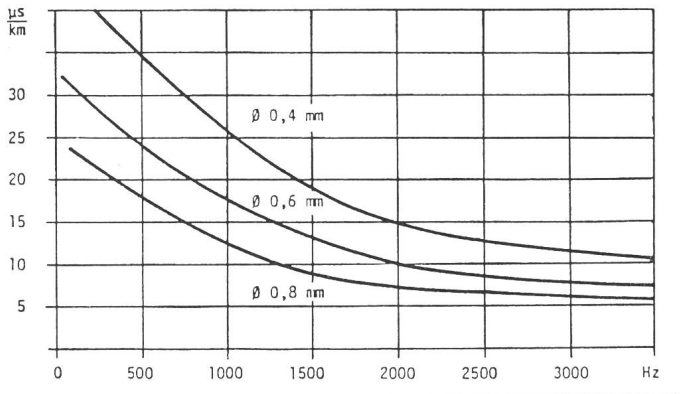


Fig. 4 Typischer Verlauf der Gruppenlaufzeit pro km von unpupinisierten Leitungen (Ortsleitungen)

schema zeigt, dass bereits einige Kilometer Ortsleitungsanschluss ins Gewicht fallende Dämpfungsverzerrungen bringen können.

Demgegenüber ist die Gruppenlaufzeitverzerrung der NF-Kabel, welche bei den üblichen Ortsleitungslängen max. 300 µs beträgt, vernachlässigbar.

Durch Einfügen von Spulen in bestimmten Abständen – Pupinisierung – kann die Dämpfung im Sprachbandbereich vermindert werden. Dadurch lässt sich die Reichweite von NF-Kabeln erhöhen. Pupinkabel werden daher im Übergang vom Ortsleitungsbereich zum Fernbereich eingesetzt. Fig. 5 und 6 zeigen die charakteristischen Eigenschaften von Pupinkabeln. Kritisch sind diese Kabel nur im oberen Frequenzbereich, wo sie bei schwerer Pupinisierung (H-177, H-200) den Übertragungs-Bandbereich stark einschränken (H-177 = 1 Spule à 177 mH pro ca. 1,8 km).

FDM- und PCM-Systeme im Fernbereich

Bei grösseren Entfernungen, wo Pupinkabel nicht mehr ausreichen, müssen die Signale in bestimmten Abständen verstärkt werden. Da in der Telefonie pro Drahtpaar normalerweise in beiden Richtungen übertragen wird, Verstärker aber nur für eine Richtung konzipiert sind, muss die Übertragung im Fernbereich «vierdrähtig» erfolgen.

Im Fernbereich werden die Leitungen (Koaxialkabel) mehrfach ausgenutzt; dazu stehen heute grundsätzlich Frequenzmultiplex-Systeme (FDM) und Zeitmultiplex-Systeme (PCM) zur Verfügung. FDM-Systeme sind hierarchisch aufgebaut, wobei bei einem Kanalabstand von 4 kHz jeder Kanal einen Durchlassbereich von 300...3400 Hz aufweist. Ein FDM-System kann je nach Verkehrsvolumen bis zu 10800 Telefoniekanäle beinhalten. Ausgehend von der Primärgruppe, welche im Bereich 60...108 kHz 12 Telefoniekanäle umfasst, wird die Sekundärgruppe zu 60 Kanälen im Frequenzband 312 bis 552 kHz gebildet; 3 Hauptgruppen zu je 15 Sekundärgruppen bilden das 12-MHz-System mit total 2700 Kanälen. Das 60-MHz-System schliesslich fasst 10800 Kanäle zusammen.

Die Filter, die zur Trennung der einzelnen Kanäle einer Primärgruppe nötig sind, sowie in kleinerem Masse die Umsetzeinrichtungen, verursachen Dämpfungs- und Gruppenlaufzeitverzerrungen. Fig. 7 und 8 zeigen deren typische Grössen für einen Trägerfrequenzabschnitt. Die Dämpfungsverzerrung ist relativ gering. Die Gruppenlaufzeitverzerrung, besonders im unteren Frequenzbereich, ist jedoch beachtlich und muss in der Datenübertragung berücksichtigt werden.

In zunehmendem Masse werden im Bereich mittlerer Entfernungen auch PCM-Systeme eingesetzt. In der PCM-Technik wird die Amplitude der analogen Sprachsignale im 8-kHz-Takt abgetastet und der Amplitudenwert mit einem 8-Bit-Wort codiert. Damit ist für einen Sprachkanal die Geschwindigkeit von 64 kbit/s notwendig. Diese digitalen Sprachkanäle werden im Zeitmultiplexverfahren gebündelt. Zusammen mit Zusatzinformation für Synchronisierung und Signalisierung bilden 30 Kanäle eine PCM-Ausrüstung 1. Ordnung mit 2,048 Mbit/s Übertragungsrate. PCM-Systeme höherer Ordnung werden mit 8,448 Mbit/s oder mit 34,368 Mbit/s arbeiten. Die Figuren

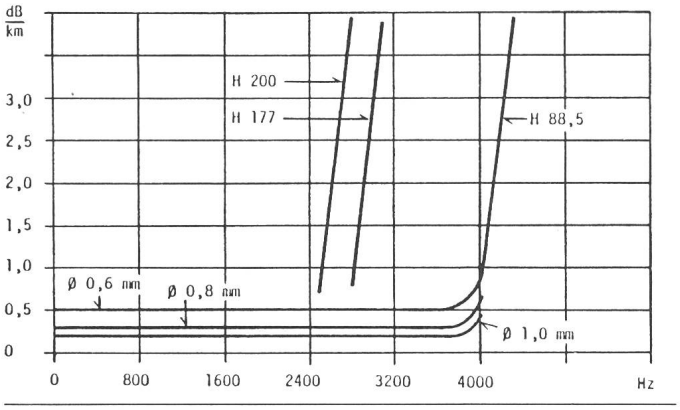


Fig. 5 Typischer Dämpfungsverlauf pro km von pupinisierten Leitungen

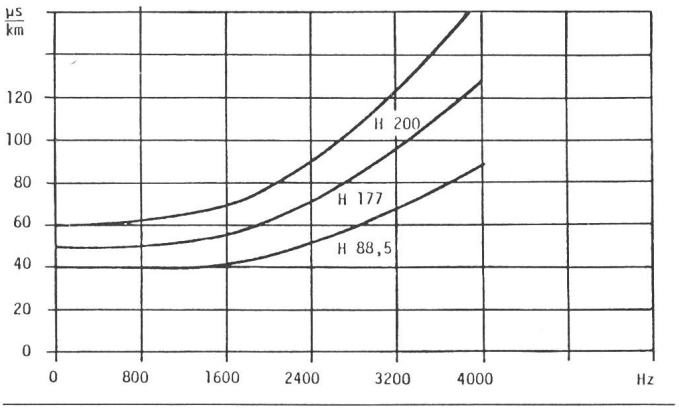


Fig. 6 Typischer Verlauf der Gruppenlaufzeit pro km von pupinisierten Leitungen

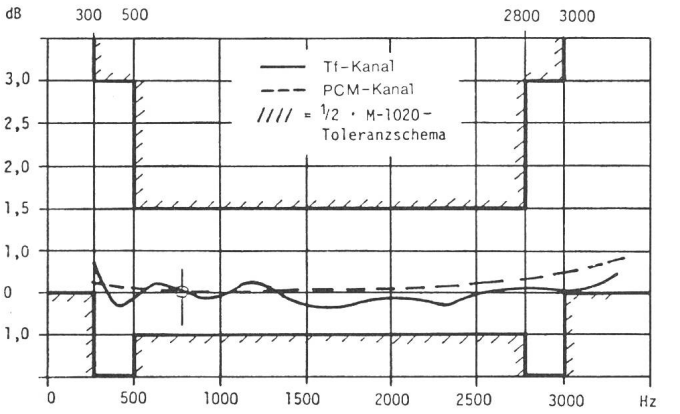


Fig. 7 Typischer Verlauf der Restdämpfungsabweichung (Bezugspunkt = 800 Hz) im Vergleich zu der halben M-1020-Toleranzgrenze

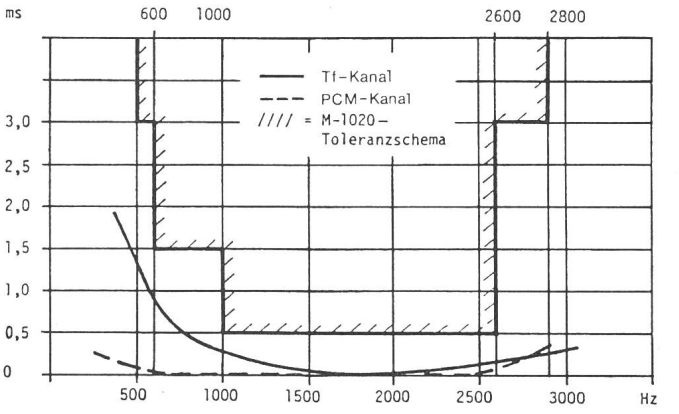


Fig. 8 Typischer Verlauf der Gruppenlaufzeitverzerrung bezogen auf das Minimum im Vergleich zur M-1020-Toleranzgrenze

7 und 8 zeigen auch für ein PCM-System den typischen Verlauf der Dämpfungs- und Gruppenlaufzeitverzerrung, bezogen auf das ursprüngliche Analogsignal.

4. Die Restdämpfung

Für die Störsicherheit der Datenübertragung ist der minimale Empfangspegel wichtig. Je geringer der Signal/Stör-Abstand wird, um so schlechter wird die Übertragungsqualität. Beim maximalen Sendepegel von −6 dBm[4]) und bei einem minimalen Empfangspegel von ca. −40 dBm der Modems können maximal ca. 34 dB Restdämpfung überwunden werden. Als Restdämpfung versteht man die kilometrische Dämpfung bezogen auf eine bestimmte Frequenz zwischen zwei Teilnehmern. Ist im Übertragungsweg ein Fernleitungsabschnitt (FDM) vorhanden, dann ist die Restdämpfung nur zwischen Verstärkeramt und Teilnehmer zu betrachten. Der Sendepegel vom Verstärkeramt zum Teilnehmer beträgt normalerweise −16 dBm. Bei den meisten Mietleitungen ist der Empfangspegel grösser als −26 dBm, was es erlaubt, die Empfangsempfindlichkeit für das Ansprechen der Empfangspegelschaltung des Modems zu erhöhen. Eine zu tiefe Ansprechschwelle kann eine Fehlerquelle darstellen.

5. Störungen

Neben den Dämpfungs- und Gruppenlaufzeitverzerrungen, welche nicht als Störungen bezeichnet werden können, sondern Leitungscharakteristiken sind, treten noch andere Grössen in Erscheinung. Bei Störungen im eigentlichen Sinne muss zwischen dauernd vorhandenen und stochastisch auftretenden Störungen unterschieden werden. Es ist zu beachten, dass nicht jede Störeigenschaft als einzelne Grösse betrachtet werden kann, weil sich deren Effekte kumulieren können.

Das *Grundgeräusch,* welches dauernd vorhanden ist, entsteht durch Rauschen der Bauelemente von Filtern und Verstärkern sowie durch Nebensprechen zwischen Adernpaaren und Beeinflussung durch das Stromversorgungsnetz oder durch Senderausrüstungen. Nur in extremen Fällen überschreitet dieser Störpegel beim Teilnehmer −45 dBm, so dass ein falsches Ansprechen der Empfangspegelschaltung ausgelöst würde. Wichtiger als dieser Absolutwert ist der Störabstand, als Differenz zwischen Nutzsignalpegel und dem Pegel dieses Grundgeräusches. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass ein Signal/Stör-Abstand von ca. 22 dB bei allen Modulationsverfahren eine akzeptierbare Übertragungsqualität ergibt (besser 10^{-6}).

Impulsartige Störungen können durch Erschütterung mechanischer Kontakte auftreten. Ferner werden durch die Wahlimpulse impulsartige Störungen auf die Nachbaradern eingekoppelt. Auswertbare Messungen über die Störimpulshäufigkeit sind möglich; deren Einfluss auf die Übertragungsqualität ist jedoch nur schwerlich zu definieren.

Frequenzverwerfungen (Abweichungen von der Nennträgerfrequenz) treten hauptsächlich auf Übertragungsleitungen mit FDM-Abschnitten auf. Sie wirken sich bei synchronen Modems praktisch nicht negativ aus. Am schlechtesten sind die Auswirkungen bei geschwindigkeitstransparenten frequenzmodulierten Übertragungsgeräten, wie z. B. Asynchronmodems für 300 und 1200 baud.

[4]) dB = relativer Pegel = 20 log U_a/U_e.
dBm = absoluter Pegel: 0 dBm = 1 mW bzw. 775 mV an 600 Ω.

Phasenschwankungen treten ebenfalls nur auf Übertragungsleitungen mit FDM-Abschnitten auf. Bei quarzgesteuerten Trägersystemen betragen solche Schwankungen normalerweise weniger als 2^0 und wirken sich nicht nachteilig aus. Das automatische Umschalten auf Ersatzsysteme bewirkt jedoch meistens einen fehlerverursachenden Phasensprung.

6. Die Entzerrung der Telefonleitung

Die behandelten Eigenschaften der Übertragungswege können verbessert werden, wenn die praktisch konstanten Eigenschaften – Dämpfungs- und Gruppenlaufzeitverzerrungen – möglichst klein gehalten werden. Diese beiden Eigenschaften führen zur Verformung des Empfangssignales und damit je nach Modulationsverfahren und Übertragungsgeschwindigkeit zu einer grösseren Empfindlichkeit gegenüber stochastischen Störungen.

Modems langsamerer Übertragungsgeschwindigkeit (1200 bis 2400 bit/s) sind normalerweise mit einem *Kompromissentzerrer* ausgerüstet. Dabei können mittels Lötbrücken Entzerrungsfunktionen aktiviert werden, welche einem Mittelwert von bekannten Leitungsabschnitten entsprechen (z. B. Anzahl Trägerfrequenzstrecken und mittlere Länge eines Orts- oder Bezirksleitungsabschnittes).

In Modems mittlerer Geschwindigkeit (4800 bit/s) werden vielfach *manuell einstellbare Entzerrer* verwendet. Dabei wird der Frequenzbereich durch eine Anzahl einzeln verstellbarer Bandpässe möglichst gut entzerrt. In dieser Geschwindigkeitsklasse ist dieses Verfahren jedoch nur auf Mietleitungen anwendbar.

Modems für 4800 bit/s auf dem Wählleitungsnetz sowie Modems für Bitraten von über 4800 bit/s auf dem Mietleitungsnetz erfordern einen *adaptiven automatischen Entzerrer.* Automatische Entzerrer passen sich zeitlichen Änderungen der Übertragungscharakteristiken an und berücksichtigen ebenfalls die ungleichmässige Energieverteilung über das Spektrum, da diese wesentlich von der Bitfolge des Datensignals abhängt. Um eine möglichst gute Pseudo-Zufallsbitfolge und damit eine möglichst gleichmässige Energieverteilung im Sendespektrum der gesendeten Daten zu erreichen, werden die Daten mittels eines Verwürflers (Scrambler) umcodiert. Ein wesentliches Kriterium eines automatischen Entzerrers ist dessen Einstellzeit, da diese bei Halbduplexverfahren die effektive Übertragungskapazität schmälert. Leistungsfähige Entzerrer erreichen ihre optimale Einstellung in ungefähr 50 ms.

Keiner der genannten Entzerrer ist in der Lage, Dämpfungs- und Laufzeitverzerrungen in einem beliebigen Masse zu korrigieren. Abschnitt 9 gibt für einige spezifische Modemtypen eine Übersicht über ihre Einsatzgrenzen. Genügt die geschaltete Leitung nicht diesen Anforderungen, dann ist es möglich, von den PTT-Administrationen eine «Leitung besonderer Qualität» bereitstellen zu lassen. Üblicherweise werden solche Leitungen in den Verstärkerämtern speziell entzerrt, so dass die in Fig. 7 und 8 gezeigten M-1020-Toleranzgrenzen eingehalten werden.

7. Übertragung digitaler Signale

Jedes pulsförmige Signal besteht aus einem Frequenzspektrum (Sinusschwingungen), welches neben der Grundschwingung (Taktfrequenz) alle ungeradzahligen Oberwellen sowie einen Gleichstromanteil enthält. Wie jedoch erwähnt, ist der Bandbereich einer Telefonleitung meistens auf 300...3400 Hz

beschränkt. Die zur Rückgewinnung der ursprünglichen Impulsfolge notwendigen Frequenzanteile müssen daher in diesen Frequenzbereich zu liegen kommen. Eine Verschiebung längs der Frequenzachse wird *Mo*dulation genannt, eine Rückverschiebung *Dem*odulation. Daher stammt denn auch die für Datenübertragungsgeräte übliche Benennung «Modem».

8. Datenübertragungsgeräte

8.1 Basisbandmodems

Basisbandmodems arbeiten auch auf der Leitungsseite in binärer Form; d.h. das Leitungssignal besteht weiterhin aus fortlaufenden Impulsformen. Das Basisband-Übertragungsverfahren kann nur auf Leitungen im Nahbereich (Ortsleitungen) eingesetzt werden, da hier üblicherweise die Übertragungsbandbreite nicht durch Übertrager und Verstärker eingeschränkt wird.

Asynchrone Basisbandmodems arbeiten geschwindigkeitstransparent. Dabei werden die Datensignale direkt als rechteckförmige Doppelstromsignale übertragen. Da eine beliebige Bitfolge einen Gleichstromanteil enthält, müssen Sender und Empfänger galvanisch durchverbunden sein. Dieses Übertragungsverfahren kann für Bitraten bis ca. 9600 bit/s angewendet werden. Um es gegenüber Störungen unempfindlich zu machen, arbeiten Sender und Empfänger bei einer Leitungsunteranpassung (z.B. Sender 20 Ω, Empfänger 200 Ω). Für eine Vollduplexübertragung ohne besondere Zusatzeinrichtung ist eine 4-Draht-Leitung notwendig.

Synchrone Basisbandmodems erfordern eine Umcodierung der Datenfolge derart, dass aus dem Empfangssignal jederzeit die dazugehörige Taktfrequenz zurückgewonnen werden kann. Aus vielen möglichen Codierungsarten hat sich das «Coded-Diphase-Verfahren» durchgesetzt. Die zu übertragenden Daten werden so codiert, dass jedesmal beim Abtastzeitpunkt (Bitmitte) für ein «0»-Bit ein Phasensprung (Polaritätswechsel) beim Sendesignal bewirkt wird. Diese Codierungsart hat den Vorteil, dass sich ein durch eine Störung verursachter Übertragungsfehler nicht bis zum Eintreffen einer nächsten Störung fortpflanzt. Synchrone Basisbandmodems werden der Leitungsimpedanz entsprechend ihrer Übertragungsgeschwindigkeit angepasst. Die überbrückbare Distanz ist abhängig von der Dämpfung der Leitung. Ein NF-Kabel von 0,8 mm ⌀ erlaubt bei 4800 bit/s eine Distanz von ca. 25 km zu überbrücken. Für eine Vollduplexübertragung ist eine 4-Draht-Leitung notwendig.

8.2 Sprachbandmodems

Sprachbandmodems haben die Aufgabe, den digitalen Informationsgehalt in ein analoges Signal umzuformen, damit dieses innerhalb der zur Verfügung stehenden Bandbreite übertragen werden kann. Die Modulationsverfahren für die gebräuchlichen Bitraten wurden durch das CCITT standardisiert. Dies bedeutet jedoch nicht, dass jedes Modemfabrikat, das diesen Empfehlungen entspricht, dieselben Empfangseigenschaften hat. Die Empfangsqualität hängt wesentlich vom Aufbau des Empfängers und vom angewendeten Entzerrungsprinzip ab. Neben den standardisierten Modulationsverfahren haben sich jedoch besonders für höhere Bitraten auch andere Modulationsverfahren bewährt.

Modem für 300 bit/s: Das entsprechende Modulationsverfahren ist in den CCITT-Empfehlungen V.21 spezifiziert. Der Modem arbeitet mit binärer Frequenzmodulation. Im Sprachband werden zwei getrennte Frequenzbereiche mit den Mittelfrequenzen 1080 Hz und 1750 Hz benutzt. Der Frequenzhub beträgt ± 100 Hz. Dank den beiden Kanälen ist es möglich, auf einer 2-Draht-Leitung im Vollduplexbetrieb zu arbeiten. Das Übertragungsverfahren ist geschwindigkeitstransparent (Asynchronbetrieb).

Modem für 1200 bit/s: Das entsprechende Modulationsverfahren ist in den CCITT-Empfehlungen V.23 spezifiziert. Der Modem arbeitet mit binärer Frequenzmodulation. Die Mittelfrequenz beträgt 1700 Hz, der Frequenzhub ± 400 Hz. Da nur ein Kanal zur Verfügung steht, benötigt eine Vollduplexverbindung eine 4-Draht-Leitung. Das Übertragungsverfahren ist geschwindigkeitstransparent (Asynchronbetrieb). Mittels einer zusätzlichen Taktschaltung ist ein 1200-bit/s-Synchronbetrieb möglich.

Modem für 2400 bit/s: Das entsprechende Modulationsverfahren ist in den CCITT-Empfehlungen V.26 und V.26bis spezifiziert. Der Modem arbeitet mit einer vierwertigen Phasendifferenzmodulation. Die Trägerfrequenz liegt bei 1800 Hz. Wegen der vierwertigen Codierung (d.h. Zusammenfassen von 2 Bit zu einem Modulationsschritt) muss die Übertragung taktgebunden (Synchronbetrieb) erfolgen. Der Modem beinhaltet keinen Verwürfler, daher muss für die Übertragung ungünstiger Bitfolgen das Modulationsschema B der genannten Empfehlungen verwendet werden, da sonst das Empfangssignal keine Taktinformation mehr beinhaltet. Eine Vollduplexverbindung erfordert eine 4-Draht-Leitung.

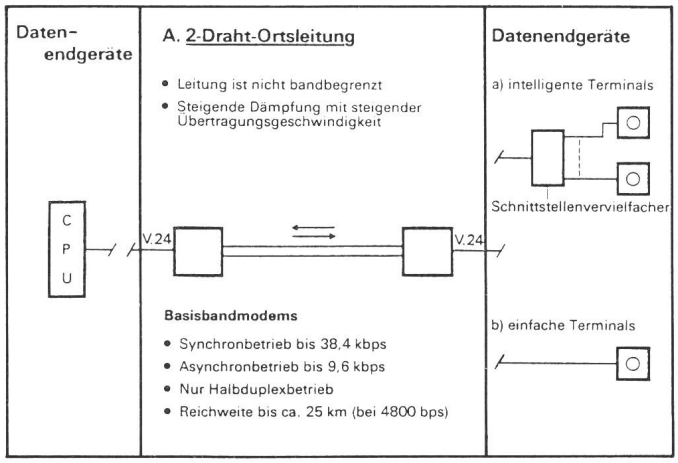
Modem für 4800 bit/s: Das entsprechende Modulationsverfahren ist in den CCITT-Empfehlungen V.27, V.27bis und V.27ter spezifiziert. Der Modem arbeitet mit einer achtwertigen Phasendifferenzmodulation. Die Trägerfrequenz liegt bei 1800 Hz. Wegen der achtwertigen Codierung (d.h., dass 3 Bit zu einem Modulationsschritt zusammengefasst werden) ist nur eine taktgebundene Übertragung möglich. Der Modem ist mit einem Verwürfler (Scrambler) ausgerüstet, womit ungünstige Bitfolgen für die Taktrückgewinnung vermieden werden. Er kann mit einem manuell einstellbaren oder mit einem automatischen Leitungsentzerrer ausgerüstet sein. Für eine Vollduplexverbindung ist eine 4-Draht-Leitung erforderlich.

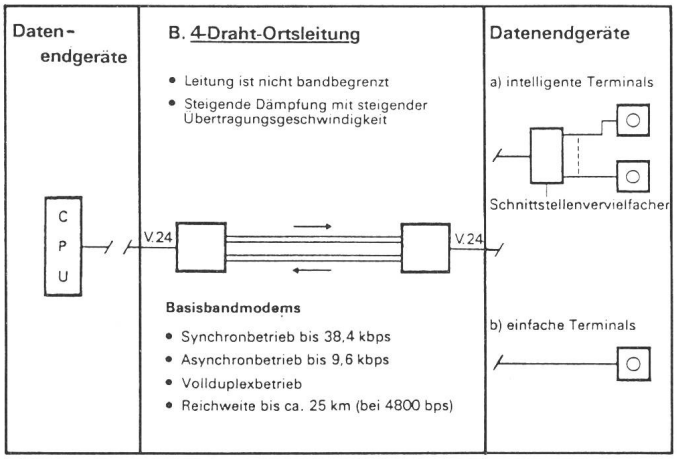
Neben Modems entsprechend den CCITT-Empfehlungen haben sich jedoch auch Modems mit Quadraturamplitudenmodulation sehr bewährt. Dieses Modulationsverfahren wird auch in Modems für 9600 bit/s angewendet. Vorteilhafter ist dabei bei 4800 bit/s der verringerte Bandbreitenbedarf, womit die Störeinflüsse an den unteren und oberen Bandgrenzen weniger Übertragungsfehler bringen.

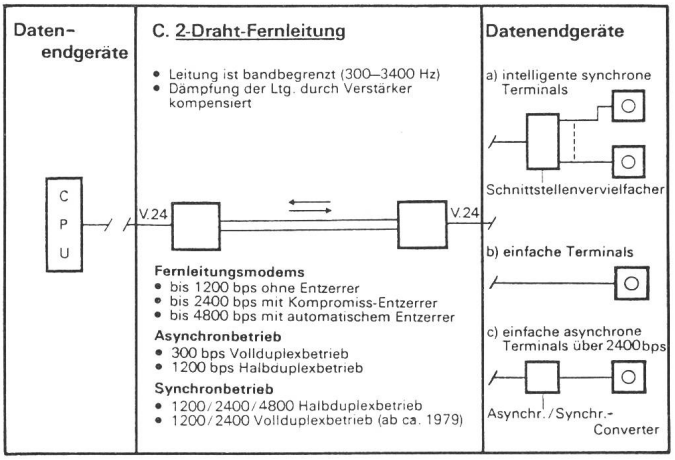
Modem für 9600 bit/s: Das entsprechende Modulationsverfahren ist in den CCITT-Empfehlungen V.29 spezifiziert. Der Modem arbeitet mit einer 16wertigen Quadraturamplitudenmodulation, wobei je 4 Bit zu einem Modulationsschritt zusammengefasst werden. Es ist nur eine taktgebundene Übertragung möglich. Die Trägerfrequenz beträgt 1700 Hz. Der Modem ist mit einem Verwürfler ausgerüstet. Für eine qualitativ gute Übertragung ist ein automatischer adaptiver Entzerrer erforderlich.

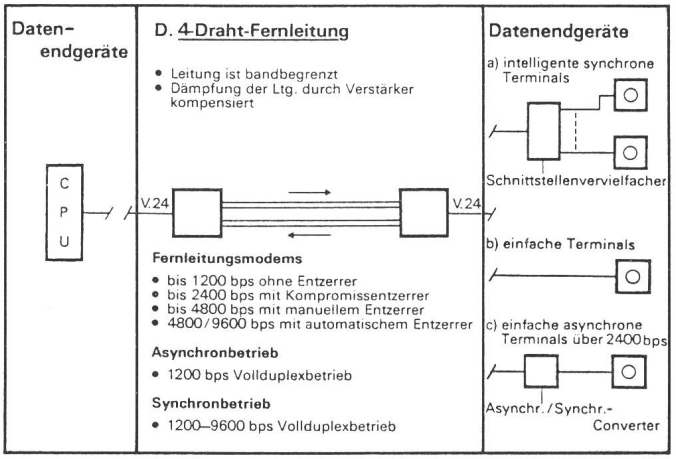
9. Einsatzkriterien bezüglich der Telefonleitung

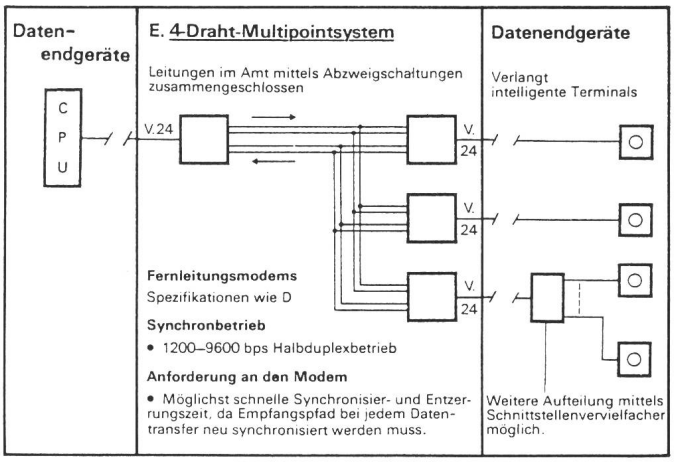
Wie in Abschnitt 6 vermerkt, verlangt jeder der erwähnten Sprachband-Modemtypen eine gewisse minimale Leitungsqualität mit einer minimalen Bandbreite. Diese Forderungen

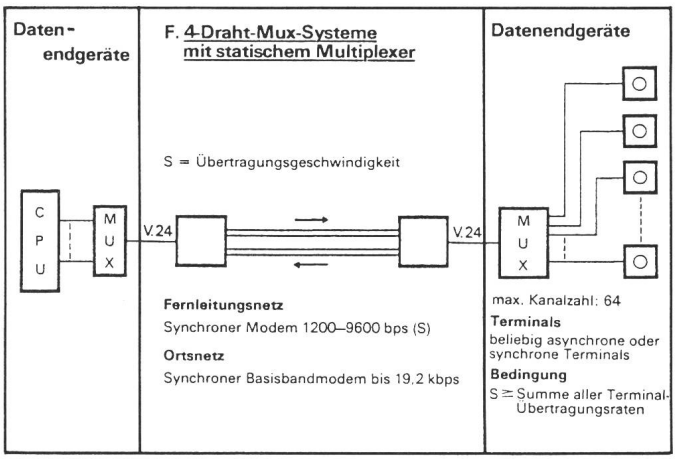












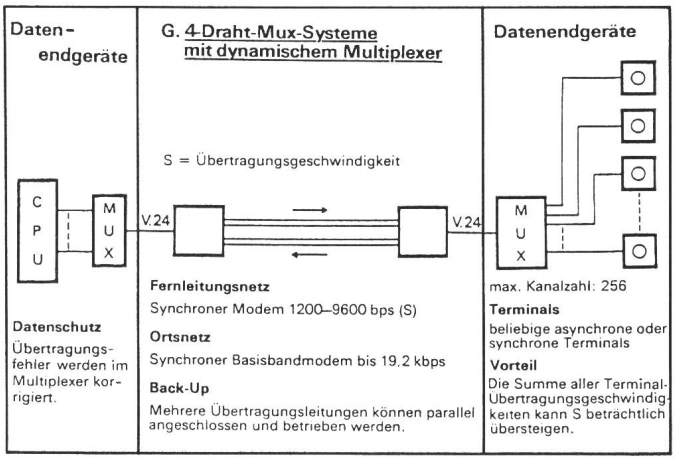


Fig. 9 Einsatzmöglichkeiten von Datenübertragungsgeräten über Telefon-Mietleitungen

bps im angelsächsischen Sprachbereich üblich für bit/s

Leitungsanforderungen von Modems Tabelle I

Modemtyp	Modulation	Minimale Arbeits-Bandbreite	Maximal zulässige Amplituden-Verzerrung	Maximal zulässige Laufzeit-Verzerrung
Sematrans 311	V.21	800...2000 Hz	3 dB 980...1180 Hz	0,7 ms 980...1180 Hz
Sematrans 1211	V.23	900...2400 Hz	11 dB 900...2400 Hz	0,5 ms 1200...2000 Hz
Sematrans 2403	V.26	800...2900 Hz	16 dB 800...2900 Hz	2 ms 800...2900 Hz
Sematrans 4802	V.27	600...3000 Hz	−3...+10 dB 600...3000 Hz	4 ms 600...3000 Hz
Codex LSI 4800	QAM	900...2500 Hz	−4...+12 dB 900...2500 Hz	3 ms 900...2500 Hz
Codex LSI 9600	V.29	500...2900 Hz	−3...+8 dB 500...2900 Hz −2...+4 dB 500...2800 Hz	3,5 ms 500...2900 Hz

können je nach Fabrikat verschieden sein. Tabelle I gibt bei einigen bewährten Modemtypen über die Leitungsanforderungen Auskunft. Anhand dieser Tabelle und im Vergleich mit den Leitungscharakteristiken (Fig. 3...8) ist ersichtlich, dass nur für Modems höherer Bitraten, welche das Frequenzband unterhalb ca. 800 Hz und oberhalb ca. 2800 Hz belegen, kritische Situationen entstehen können. Solange eine Datenleitung aus weniger als 3 Trägerfrequenzabschnitten und aus weniger als ca. 8 km Ortsleitung mit 0,6 mm ⌀ aufgebaut ist, ist auch für eine 9600-bit/s-Übertragung mit einem Codex 9600-V.29-Modem keine Leitung besonderer Übertragungsqualität notwendig. Jedem Anwender sei jedoch empfohlen, sich betreffend der tatsächlich geschalteten Leitungsführung und deren Charakteristik bei den PTT-Auskunftsstellen beraten zu lassen.

10. Modem-Zusatzfunktionen

Ein wesentliches Merkmal bei der Auswahl von Modems sind neben den besprochenen Übertragungseigenschaften die Zusatzfunktionen.

Der *Hilfskanal* oder *Rückkanal* kann in erster Linie zur Übertragung einer Information ausserhalb des Hauptkanales dienen. Hilfskanäle arbeiten geschwindigkeitstransparent mit Bitraten von max. 75, 100 oder 150 bit/s. In vielen Modems wird der Hilfskanal auch zur Steuerung von Testschlaufen verwendet.

Der *eingebaute Multiplexer* ist meistens als zusätzliche, in den Modem integrierbare Elektronikkarte aufgebaut. Die Übertragungsbitrate lässt sich dabei je nach Modemtyp variabel auf mehrere Kanäle unterteilen, z. B. 9600 bit/s in 4 × 2400 bit/s, in 2 × 4800 bit/s oder in weitere Konfigurationen.

Testeinrichtungen dienen zum Prüfen der Modemfunktion. Im Minimum sollten sich Empfangsdaten und Sendedaten auf der Interface-Seite (V.24) und auf der Leitungsseite schlaufen lassen. Zusätzlich sollte der Modem einen Testgenerator aufweisen, welcher dazu dient, ein Datensignal zu generieren, damit die einwandfreie Funktion des Modems ohne fremde Datenquelle geprüft werden kann.

Anzeigeelemente dienen zur visuellen Funktionskontrolle. Im Minimum sollten die Sende- und Empfangsdaten eine Leuchtanzeige haben. Empfehlenswert ist auch die Anzeige der Empfangspegelüberwachung (Signal 109), des Sendebefehlssignales (Signal 105) und des Sendebereitschaftssignales (Signal 106).

11. Schlussbetrachtung

Die vorgängigen Kapitel geben eingehend über die charakteristischen Eigenschaften der Telefonleitungen und auf die darauf zugeschnittenen Übertragungsgeräte Auskunft. Die in Fig. 9A...9G aufgeführten Applikationsbeispiele informieren praktisch über alle möglichen Datenübertragungs-Applikationen.

Die Fig. 9A...D zeigen, dass eine 2-Draht- oder 4-Draht-Telefonleitung je nach den Anforderungen an die Übertragungsgeschwindigkeit mit Modems der besprochenen Klassen ausgerüstet werden kann. Fig. E zeigt eine Multipoint-Konfiguration, bei der mehrere Datenendgeräte auf der Telefonleitungsseite zusammengeschlossen werden. Die impedanzmässig und pegelmässig korrekte Zusammenschaltung wird durch die PTT-Betriebe gewährleistet. Ein Multipointsystem verlangt immer, dass die Datenendgeräte in der Übertragungsprozedur aufeinander abgestimmt sind. Die Fig. 9F und 9G vermitteln einen Überblick über die Möglichkeit, die Übertragungskapazität der Modems mittels Multiplexerausrüstungen auf mehrere Kanäle zu unterteilen.

Adresse des Autors
Heinrich Zumstein, El.-Ing. HTL, Philips AG, Abt. Telecommunication, Postfach, 8027 Zürich.