

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

**Band:** 59 (1968)

**Heft:** 5

**Artikel:** Pulscodemodulierte Übertragungssysteme für Richtstrahl- und Kabelverbindungen

**Autor:** Stolz, Th.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-916027>

#### **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:** 23.02.2026

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

In [5] ist nun ein sehr bemerkenswerter Vorschlag gemacht worden, um den Treibstoffaufwand für die Positionskorrektur ganz wesentlich herabzusetzen. Berechnet man nämlich für ein bestimmtes Datum und verschiedene Abschussstunden die Bahnneigung  $i$  unter Berücksichtigung möglichst aller Störkräfte — also nicht nur von Sonne und Mond sondern auch vom Strahlungsdruck der Infrarot- und Albedostrahlung der Erde und der Sonnenstrahlung —, wobei die Sollposition ( $\lambda_0$  und  $i_0$ ) des Satelliten vorgegeben ist, so erhält man für das erste Betriebsjahr ohne Korrekturen einen Verlauf von  $i$ , wie er in Fig. 12 gezeigt ist. Während bei einem Abschuss um 12 h die Bahnneigung fast konstant ( $i = 2^\circ$ ) bleibt, nimmt bei einem Abschuss um 6 h die Bahnneigung  $i$  im Laufe eines Jahres stetig ab mit  $\Delta i/\Delta t \approx 0,9^\circ/\text{Jahr}$ . Wenn man für die Empfangsantennen eine tägliche Nachführung von  $\pm 2,5^\circ$  in der Elevation zulässt, so kommt man bei einer Anfangsposition von  $i = +2,25^\circ$  nach  $2\frac{1}{2}$  Jahren bis  $i = 0^\circ$  und nach weiteren  $2\frac{1}{2}$  Jahren also am Ende der Betriebszeit wieder bis

$i = -2,25^\circ$ . Man hat damit den Aufwand für die Korrektur vom Satelliten weg zur Bodenstation hin verlegt, wo er aber bedeutend weniger ins Gewicht fällt.

## Literatur

- [1] E. Schlägl: Die himmelsmechanischen Grundlagen für Fernmelde-Satelliten. Fernmelde-Ing. 17(1963)11 und 12.
- [2] A. Bohrman: Bahnen künstlicher Satelliten. Mannheim, Bibliographisches Institut, 1963.
- [3] B. P. Blasingame: Astronautics. New York a. o., McGraw-Hill, 1964.
- [4] H. Paul: Bahnstörungen bei nichtstationären Nachrichten-Satelliten. Bull. SEV 57(1966)3, S. 101...109.
- [5] Organisation européenne de recherches spatiales: Etude concernant un programme de développement de satellites expérimentaux de télécommunications. Delft-Noordwijk, ESRO, 1967.
- [6] S. Glasstone: Sourcebook on the Space Sciences. Princeton a. o., Van Nostrand, 1965.
- [7] G. E. Müller and E. R. Spangler: Communication Satellites. New York a. o., Wiley, 1964.

## Adresse des Autors:

Dr. H. Paul, Wissenschaftlicher Mitarbeiter der AG Brown, Boveri & Cie., 5401 Baden.

# Pulscodemodulierte Übertragungssysteme für Richtstrahl- und Kabelverbindungen

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 20. September 1967 in Zürich,

von Th. Stolz, Bern

65.011.56: 621.39: 621.31

Vorerst werden das Prinzip der Pulscodemodulation (PCM) sowie der grundsätzliche Aufbau eines PCM-Systems gezeigt und anschliessend die übertragungstechnischen Vorteile der Pulscodemodulation gegenüber andern Modulationsverfahren hervorgehoben. Diese Vorteile der PCM-Systeme müssen mit einer relativ grossen Bandbreite erkauft werden. Für die Übertragung von PCM-Signalen werden daher vor allem Richtstrahl- und Kabelverbindungen eingesetzt. In der Folge wird die Konzeption eines digitalen Übertragungssystems dargelegt, das sowohl der Sprachübertragung, wie auch der Übermittlung von Daten und Telegraphicsignalen dient. Ein Kostenvergleich zwischen analogen und digitalen Systemen wird durchgeführt. Schliesslich werden Bilder von realisierten Ausrüstungen, nämlich eine PCM-Endausrüstung für 30 Kanäle, ein PCM-Repeaterpaar und eine Richtstrahlaurüstung für PCM-Signale gezeigt und kurz beschrieben.

L'exposé illustre d'abord le principe de la modulation par impulsions codées (PCM), ainsi que la structure de principe d'un système PCM, en exposant ensuite les avantages de la modulation par impulsions codées par rapport aux autres procédés de modulation au point de vue de la technique de transmission. Ces avantages des systèmes PCM exigent toutefois une grande largeur de bande. Pour la transmission de signaux PCM on utilise de ce fait essentiellement des faisceaux dirigés et des câbles. L'article relate ensuite la conception d'un système de transmission digitale, susceptible de servir aussi bien à la transmission de la parole qu'à la transmission de dates et de signaux télégraphiques. On établit une comparaison des frais entre le système analogique et digital. Pour terminer on présente et on commente rapidement des illustrations se rapportant à des équipements réalisés, soit un équipement terminal PCM à 30 canaux, un couple répétiteur PCM et une installation à faisceaux dirigés servant à la transmission des signaux PCM.

## 1. Einleitung

Die Pulscodemodulation (PCM) stellt heute ein kraftvolles Mittel der Übertragungstechnik dar und wird in den kommenden Jahren ohne Zweifel eine weite Verbreitung finden. Zwar wurde das PCM-Prinzip bereits vor 30 Jahren erfunden; das Fehlen geeigneter Schaltelemente behinderte jedoch während Jahrzehnten seine praktische Verwirklichung. Erst vor etwa 5 Jahren hatte die Schaltungstechnologie den erforderlichen Stand erreicht, um zuverlässige und wirtschaftliche PCM-Systeme für den zivilen Bedarf zu fertigen. Seit diesem Zeitpunkt wird die Pulscodemodulation in immer grösserem Umfange zur Schaffung zusätzlicher Sprechkanäle im Orts- und Nahverkehr angewandt. Der Einsatz von PCM-Systemen im Fernverkehr wird in den USA im Moment eingehend studiert und vorbereitet [1; 2<sup>1)</sup>].

## 2. Das Prinzip der Pulscodemodulation

Die Pulscodemodulation verwandelt ein analoges Signal in digitale Form. Folgende Teiloperationen müssen dabei durchgeführt werden:

Abtastung  
Quantisierung  
Codierung

Unter Abtastung eines Signals versteht man die Entnahme der momentanen Amplitude in bestimmten regelmässigen Zeitabschnitten. Die Abtastfrequenz muss dabei mindestens doppelt so hoch sein wie die höchste Frequenzkomponente des Signals. Unter dieser Bedingung ist das Signal vollständig durch seine Abtastwerte dargestellt.

Für Sprachsignale hat sich eine Abtastfrequenz von 8 kHz durchgesetzt. Das bedeutet, dass 8000mal in der Sekunde die momentane Amplitude herausgegriffen wird.

In Fig. 1 sind die zur Pulscodemodulation gehörenden Teiloperationen dargestellt. Anschliessend an die Abtastung erfolgt die Quantisierung, d.h. jedem Abtastwert wird ein möglichst gleicher Wert aus einer endlichen Anzahl diskreter Amplituden zugeordnet. Die abgebildete Quantisierungsskala umfasst 8 verschiedene Amplitudenstufen, die durch binäre Zahlen bezeichnet sind. Die gestrichelten Linien bedeuten die normierten Werte der einzelnen Stufen.

Jedem Abtastwert wird somit ein sog. Codewort, das im gezeigten Beispiel aus 3 binären Elementen besteht, zugeordnet.

<sup>1)</sup> Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

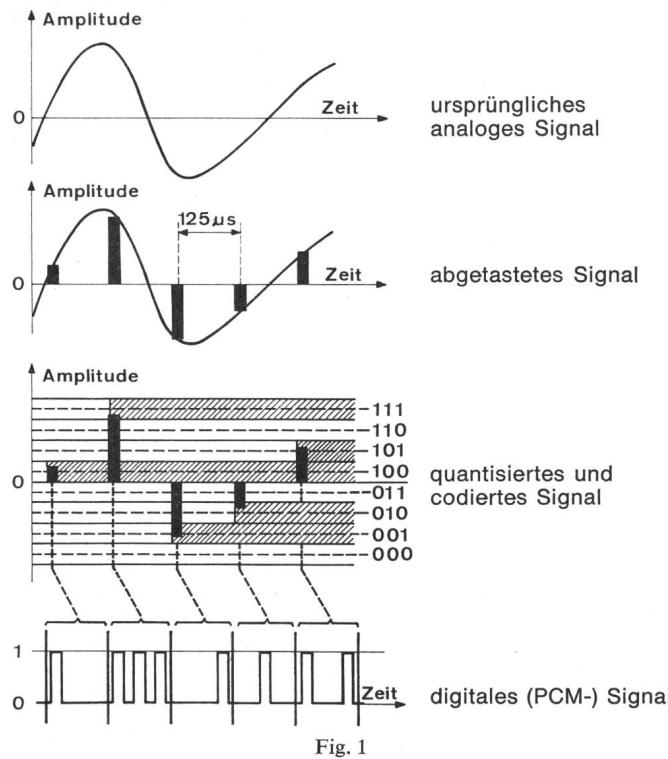
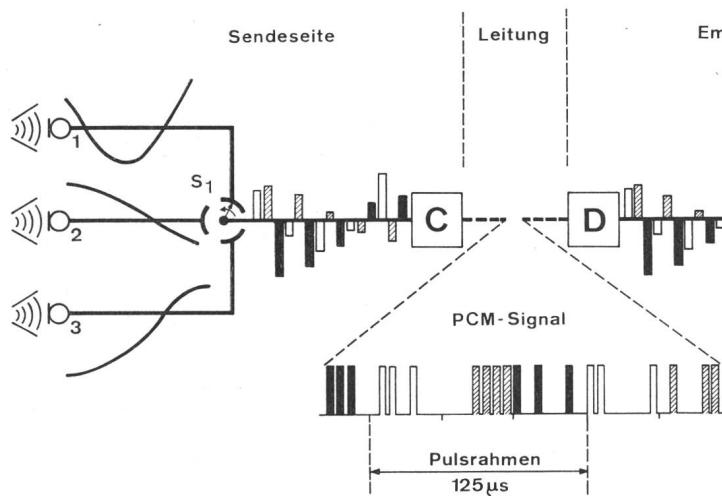


Fig. 1  
Prinzip der Pulscodemodulation

Übertragen wird schliesslich eine Impulsfolge, welche die einzelnen Codewörter darstellt.

Durch den Quantisierungsprozess entstehen Rundungsfehler. Aus den Codewörtern können somit nicht mehr die genauen, ursprünglichen Abtastwerte zurückgewonnen werden. Dies ist die Ursache des sog. Quantisierungsgeräusches [3]. Je feiner die Stufen der Amplitudenquantisierung jedoch gewählt werden, desto kleiner wird dieses Geräusch, da der Rundungsfehler im Maximum eine halbe Stufenhöhe erreichen kann.

Die im Beispiel der Fig. 1 gezeichneten acht Stufen wären für die Sprachübertragung absolut ungenügend. Zur Erreichung der erforderlichen Übertragungsqualität müsste der totale Amplitudenbereich bei linearer Teilung in ca. 2000 Stufen unterteilt werden. Zur Vermeidung dieser sehr grossen Stufenzahl wird nun der Amplitudenbereich nicht gleichmässig unterteilt, sondern dermassen, dass die Stufung für kleine Amplituden wesentlich feiner wird als für grosse. Dadurch wird die notwendige Stufenzahl auf etwa 100 bis 250 reduziert. Zur Kennzeichnung der Stufen (Codierung) genügt somit ein 7- bis 8-stelliges, binäres Codewort ( $2^7 = 128$ ,  $2^8 = 256$ ).



Praktisch werden Rundung und Codierung miteinander verbunden, beispielsweise mit dem Wägungsprinzip. An einem Beispiel sei das erläutert:

Man will einen Gegenstand wägen und hat je ein Gewicht zu 2 kg, 1 kg und 0,5 kg zur Verfügung. Zunächst nimmt man das grösste Gewicht und stellt fest, dass es nicht genügt. Man fügt das zweite Gewicht bei, merkt aber, dass es viel zu gross ist. Also nimmt man es wieder weg und legt statt dessen das dritte dazu. Die Wägung stimmt jetzt ungefähr, der Gegenstand ist somit rund 2,5 kg schwer. Das entsprechende Codewort lautet 101 und bedeutet:

$$1 \cdot 2 \text{ kg} + 0 \cdot 1 \text{ kg} + 1 \cdot 0,5 \text{ kg}$$

Die Rückgewinnung der Abtastwerte aus den Codewörtern wird mit Decodierung bezeichnet. Der Schaltungsaufwand für Quantisierung, Codierung und Decodierung ist beträchtlich. In einer PCM-Ausrüstung, die mit 243 ( $3^5$ ) Amplitudenstufen realisiert wurde, sind z. B. 14 verschiedene Gewichte und 10 Wägungen pro Abtastwert notwendig. Dank dem Zeitmultiplexverfahren ist es jedoch möglich, viele Sprechkanäle, z. B. 24 oder 30, zu einem System zusammenzufassen. Allen diesen Kanälen kann die gleiche Codierungs- und Decodierungseinrichtung zugeteilt werden. Erst durch dieses Prinzip der Mehrfachausnutzung durch Zeitteilung wird das PCM-Verfahren auch wirtschaftlich. Die Verarbeitungszeit, die im Coder und Decoder für einen Abtastwert zur Verfügung steht, wird dabei aber ausserordentlich kurz und beträgt nur 4 bis 5 µs.

### 3. Der Aufbau eines PCM-Systems

In Fig. 2 ist das Prinzip eines PCM-Systems aufgezeichnet. Der Einfachheit halber wurde ein 3-Kanalsystem gewählt. Die Mikrophone der 3 Teilnehmer sind links auf der Sendeseite dargestellt. Durch den rotierenden Schalter  $S_1$  werden die 3 Kanäle zyklisch abgetastet. Auf der Sammelschiene zwischen dem Schalter  $S_1$  und dem Coder C sind die zeitlich ineinander verschachtelten Abtastwerte der 3 Kanäle erkennbar, die dem Coder zugeführt werden. Dort werden sie in eine Impulsfolge, welche sich aus den einzelnen Codewörtern zusammensetzt, verarbeitet. Dies ist das PCM-Signal, das auf der Leitung übertragen wird. Es ist durch einen periodisch wiederkehrenden Zyklus, den sog. Pulsrahmen gekennzeichnet, dessen Länge 125 µs beträgt. In diesem Zyklus ist jeder Kanal mit einem Abtastwert enthalten.

Im Decoder D auf der Empfangsseite werden aus dem PCM-Signal wieder die Abtastwerte abgeleitet, die durch den Schalter  $S_2$  den entsprechenden Kanälen zugeführt werden.

Dort wird aus den Abtastwerten durch Filterung das ursprüngliche NF-Signal gewonnen, welches zu den einzelnen Hörern geleitet wird. Es ist nur eine Übertragungsrichtung aufgezeichnet, da beide Richtungen genau gleich aufgebaut sind.

Fig. 2  
Prinzip eines PCM-Systems  
S Schalter; C Coder; D Decoder

Das dargestellte Prinzipschema ist stark vereinfacht und bedarf daher noch folgender Ergänzungen:

Der Schalter  $S_2$  muss so rotieren, dass er genau im richtigen Moment auf den entsprechenden Kanal schaltet. Zur Erfüllung dieser Forderung muss dem PCM-Signal auf der Sendeseite ein in bestimmten Zeitintervallen wiederkehrendes Synchronzeichen beigefügt werden.

Ferner handelt es sich bei  $S_1$  und  $S_2$  nicht um mechanische, sondern um elektronische Schalter. Sie werden, gleich wie der Codierungs- und Decodierungsprozess, durch eine zentrale Impulsversorgung gesteuert.

Für jeden Sprechkanal muss auch eine Signalisierungsmöglichkeit vorgesehen werden, da die Teilnehmer in Wirklichkeit über Telephonzentralen an die PCM-Ausrüstung angeschaltet werden. Die Signalisierinformation kann z. B. durch ein zusätzliches Element (Signalisierbit), das dem Codewort beigefügt wird, übertragen werden. Eine zweite Möglichkeit besteht darin, dass die Signalisierinformationen sämtlicher Sprechkanäle zusammengefasst, und während speziell reservierten Zeitintervallen, d. h. getrennt von der Sprache, übermittelt werden.

Schliesslich wird das PCM-Signal, bevor es auf die Leitung geschickt wird, derart umgeformt, dass es keine Gleichstromkomponente mehr enthält. Dadurch werden die Übertragungsprobleme auf der Leitung wesentlich vereinfacht.

#### 4. Übertragungstechnische Merkmale der PCM

Die Pulscodemodulation bietet gegenüber den übrigen, bisher üblichen Modulationsverfahren auf der Übertragungsseite wesentliche Vorteile. Jede Übertragung ist mit Wärmerauschen und andern Störsignalen behaftet. Dadurch wird das Signal auf dem Übertragungswege verfälscht. Da bei PCM-Systemen die Nachricht in digitaler Form übermittelt wird, können die eindringenden Störungen praktisch vollkommen beseitigt werden. Die Erklärung hiefür ist einfach: Werden z. B. binäre Impulse für die Übertragung verwendet, so muss am Ende der Übertragungsstrecke nur entschieden werden, ob ein Impuls angekommen ist oder nicht. Diese Unterscheidung gelingt immer, solange das Störsignal einen bestimmten, kritischen Wert nicht überschreitet. Somit kann das Signal regeneriert, d. h. wieder in seine ursprüngliche Form gebracht werden. Auf langen Strecken können mehrere Regenrateure eingesetzt werden, sodass über beliebige Distanzen ohne Qualitätsverminderung übertragen werden kann. Das einzige auftretende Geräusch ist das bereits erwähnte Quantisierungsgeräusch, das auf der Sendeseite erzeugt wird und vom Übertragungsweg unabhängig ist.

Ein weiterer Vorteil der PCM-Systeme gegenüber Übertragungssystemen für amplitudenmodulierte Signale besteht darin, dass Pegelschwankungen auf der Leitung in sehr weiten Grenzen die übertragene Information nicht beeinflussen. Diesen Vorteil zeigen allerdings auch noch andere Modulationssysteme.

Der Preis, der für alle diese Übertragungstechnischen Vorteile bezahlt werden muss, ist die relativ grosse Bandbreite welche für die Übertragung eines PCM-Signals benötigt wird. Ein Kanal, der mit  $f_0$  abgetastet wird, liefert pro Sekunde  $f_0$  Werte, die übertragen werden müssen. Verschachtelt man  $z$  Kanäle nach dem Zeitmultiplexverfahren, so ergeben sich pro Sekunde  $z f_0$  Abtastwerte. Diese Werte sollen nun mit  $r$  Binär-elementen (0 oder 1) codiert werden. Man erhält so den totalen Informationsfluss, der übertragen werden muss, mit:

$$r z f_0 \text{ bit/s}$$

Ein Bit entspricht einer Binäreinheit und ist die Einheit der Informationsmenge. Zur Übertragung dieses Informationsflusses wird eine Bandbreite  $B$  benötigt von:

$$B = \frac{1}{2} r z f_0 \text{ Hz}$$

Setzt man in dieser Formel den für  $f_0$  üblichen Wert von 8 kHz ein, so ergibt sich:

$$B = r z \cdot 4 \text{ kHz}$$

$z \cdot 4 \text{ kHz}$  stellt die Bandbreite dar, die bei Anwendung der wohlbekannten Einseitenbandmodulation benötigt würde. Verglichen mit diesem Modulationsverfahren erfordert also die PCM eine Bandbreite, die  $r$  mal, d. h. 8 bis 10 mal grösser ist. Für ein PCM-System, das beispielsweise mit 32 Kanälen und zehnstelligen Codewörtern arbeitet, ergibt sich eine benötigte Bandbreite von:

$$10 \cdot 32 \cdot 4 \cdot 10^3 \text{ Hz} = 1,28 \text{ MHz}$$

Diese Bandbreite ist recht beachtlich. Für die Anwendung der PCM wird man also zunächst an breitbandige Übertragungssysteme, z. B. Mikrowellenverbindungen, denken. Der weitaus grössere Teil der heute im Einsatz stehenden PCM-Systeme wird jedoch über normale Telefonkabel betrieben. Auf Hochspannungsleitungen ist wegen der beschränkten Bandbreite nur der Einsatz von PCM-Ausrüstungen kleiner Kanalzahl denkbar. Zudem wäre für eine angemessene Homogenität der Leitung zu sorgen.

#### 5. Das digitale Übertragungsnetz

Man kann sich mit Recht fragen, welche Bedeutung der PCM im Übertragungsnetz der Elektrizitätsbetriebe eigentlich zukommt. Bündel von 24 oder noch mehr Sprechkanälen sind sicher selten. Nebst der reinen Sprachübertragung bietet das PCM-Prinzip jedoch neue, attraktive Möglichkeiten, da die Übertragung in digitaler Form erfolgt. Dank dem PCM-Verfahren kann ein digitales Übertragungsnetz aufgebaut werden, das sowohl der Sprachübertragung, wie auch der Telegraphie- und Datenübertragung dient [1; 4]. Auf einem solchen Übertragungsnetz können Daten und Telegraphiesignale viel wirksamer übermittelt werden, als in den bisher üblichen, analogen Systemen. Ein PCM-Kanal weist eine Übertragungskapazität von 56000 bis 64000 bit/s auf, während auf einem entsprechenden Trägerfrequenzkanal höchstens etwa 2000 bit/s übermittelt werden können. Zudem ist die Daten- und Telegraphieübertragung in einem analogen System relativ aufwendig. Die digitale Information muss vorerst einem NF-Träger aufmoduliert werden, und der modulierte Träger wird anschliessend nach dem bekannten Trägerfrequenzverfahren in das für die Übertragung vorgesehene Frequenzband verschoben.

Demgegenüber müssen in einem digitalen Übertragungssystem die zu den einzelnen Datenquellen gehörenden Elemente lediglich im richtigen Moment in den zu übertragenden Impulsstrom eingefügt werden. Will man die hohe Übertragungskapazität der digitalen Leitung möglichst voll ausnutzen, so müssen die verschiedenen Datenquellen über Pufferspeicher an die PCM-Endausrüstung angeschlossen werden. Zudem muss unter Umständen das ganze Übertragungsnetz synchronisiert werden.

Daneben ist aber auch der asynchrone Betrieb möglich, wobei für die Daten- und Telegraphikanäle ebenfalls das Abtastprinzip angewandt wird. Das asynchrone Verfahren gestattet zwar nicht mehr die optimale Ausnutzung der Übertragungskapazität der Leitung; es ist jedoch einfach und fle-

xibel, da Pufferspeicher und Netzsynchronisierung wegfallen. Die pro Kanal erreichbare Übertragungsgeschwindigkeit ist bei diesem Verfahren immer noch beträchtlich höher als in Analogsystemen.

Ein wesentlicher Vorteil des digitalen Übertragungssystems besteht darin, dass schnelle Datenkanäle einfach in Teilkanäle kleinerer Übertragungsgeschwindigkeit unterteilt werden können. Zudem besteht die Möglichkeit, sehr schnelle Datenkanäle von 40 bis etwa 2000 kbit/s zu realisieren.

## 6. Kostenvergleich zwischen digitalen und analogen Übertragungssystemen

Eine PCM-Endausrüstung gliedert sich in die einzelnen Kanaleinheiten und in die allen Kanälen gemeinsamen Geräte wie Impulsversorgung, Coder, Decoder, Synchronisierung, etc. Der Preis eines PCM-Kanals setzt sich somit zusammen aus dem Preis einer Kanaleinheit und dem Anteil, welcher sich aus dem Preis der gemeinsamen Geräte pro Kanal ergibt. Eine Kostenanalyse an der bereits erwähnten PCM-Endausrüstung für 30 Sprechkanäle zeigt, dass die gemeinsamen Geräte gerade die Hälfte der totalen Kosten bewirken, während die andere Hälfte auf die 30 Kanaleinheiten fällt. Zudem kostet ein PCM-

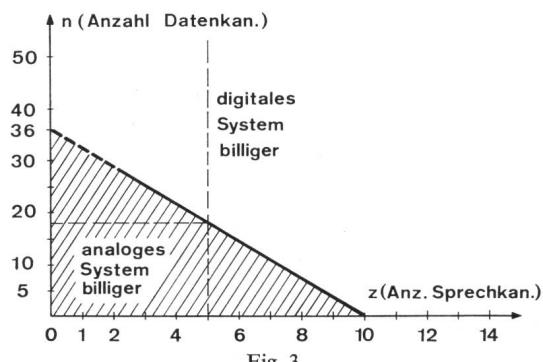


Fig. 3  
Wirtschaftlicher Anwendungsbereich von analogen und digitalen Übertragungssystemen

Kanal des 30-Kanalsystems beim heutigen Stand der Technik halb so viel wie ein konventioneller Trägerkanal.

Wählt man den Trägerkanalpreis als Einheit, so resultieren die folgenden relativen Preise:

$$\begin{aligned} \text{Preis eines Trägerkanals} &: 1 \\ \text{Preis eines PCM-Kanals} & \left\{ \begin{array}{l} \text{30-Kanalsystem} : \frac{1}{2} \\ z\text{-Kanalsystem} : \frac{1}{4} + \frac{15}{2z} \end{array} \right. \end{aligned}$$

Der Preis eines PCM-Kanals sinkt somit mit zunehmender Kanalzahl pro System, da die Kosten der gemeinsamen Geräte sich auf mehr Kanäle verteilen (Summand  $15/2z$ ). Für den Kostenvergleich ist es gleichgültig, ob man von Telegraphie- oder Datenkanälen ausgeht. Im Gegensatz zum Sprechkanal umfasst ein Daten- oder Telegraphiekanal jedoch nur eine Übertragungsrichtung.

Es wurden 200 Baud-Kanäle angenommen; aber auch mit andern Übertragungsgeschwindigkeiten würden ähnliche Kostenverhältnisse resultieren, sofern ca. 1000 Baud nicht überschritten werden. Im digitalen Übertragungssystem wurde das asynchrone Verfahren gewählt. Unter diesen Voraussetzungen ergeben sich die folgenden relativen Preise:

$$\begin{aligned} \text{Preis eines Wechselstrom-Telegraphiekanals} &: \frac{1}{3} \\ \text{Preis eines Datenkanals für digitale Übertragung} &: \frac{1}{8} \end{aligned}$$

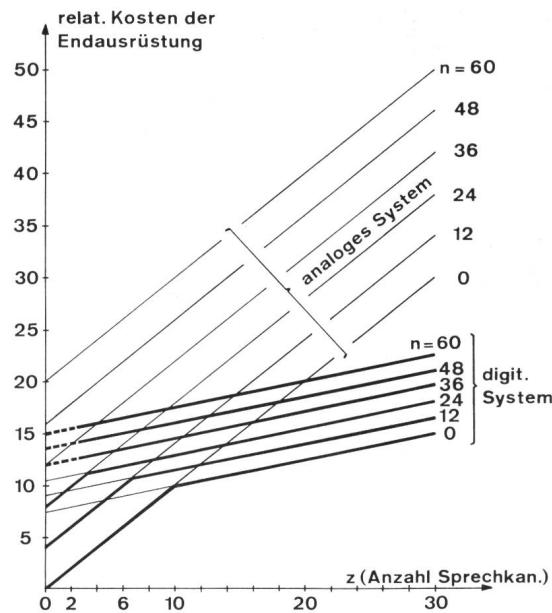


Fig. 4  
Ausrüstungskosten für analoge und digitale Übertragungssysteme  
n Anzahl Datenkanäle

Es ist zu beachten, dass ein wesentlicher Teil der PCM-Endausrüstung für den Aufbau der digitalen Datenkanäle mitbenutzt werden kann. Der angegebene Preis umfasst somit nur noch die zusätzlich benötigten Ausrüstungsteile.

Damit sind sämtliche Elemente für die Kostenberechnung der Endausrüstung vorhanden. Als Übertragungsmedium sei sowohl für das analoge, wie für das digitale Übertragungssystem, eine Richtstrahlverbindung vorausgesetzt. Da die Preise der Richtstrahlsysteme für beide Übertragungsarten nicht wesentlich differieren, müssen sie im Kostenvergleich nicht weiter beachtet werden.

Bezeichnet man die Anzahl der Sprechkanäle mit  $z$  und diejenige der Daten- oder Telegraphiekanäle mit  $n$ , so ergeben sich folgende relative Preise der Endausrüstungen:

Preis der Endausrüstung eines analogen Systems (Frequenzmultiplex):

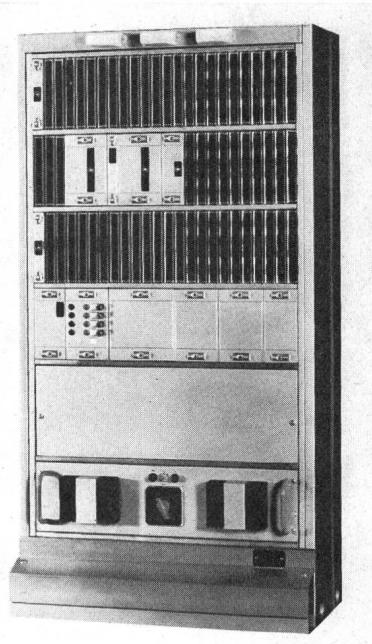


Fig. 5  
PMC-Endausrüstung für 30 Telefonkanäle

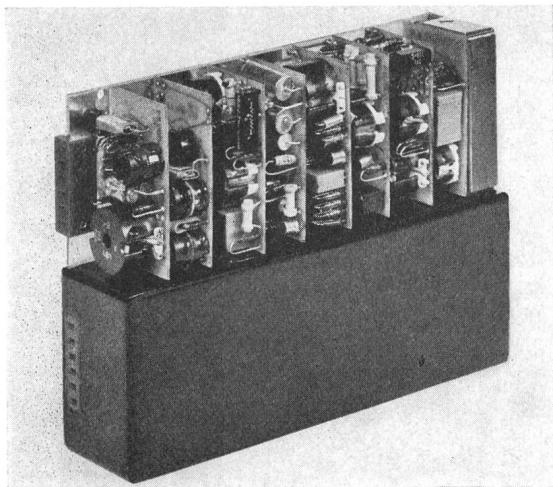


Fig. 6  
Repeaterpaar für symmetrische Kabel

$$z + \frac{1}{3}n \quad (1)$$

Preis der Endausrüstung eines digitalen Systems (Zeitmultiplex):

$$\frac{1}{4}z + \frac{15}{2} + \frac{1}{8}n \quad (2)$$

Durch Gleichsetzen beider Preise erhält man den Grenzfall gleicher Ausrüstungskosten für die beiden Übertragungsarten:

$$z + \frac{1}{3}n = \frac{1}{4}z + \frac{15}{2} + \frac{1}{8}n$$

Durch Umformung resultiert hieraus:

$$n = 36 - \frac{18}{5}z \quad (3)$$

Diese Gleichung stellt eine Gerade dar, die in Fig. 3 aufgezeichnet ist. Im schraffierten Dreieck ist das analoge Übertragungssystem billiger, während oberhalb der Geraden die digitale Übertragungsart wirtschaftlicher ist. Bei 5 Sprechkanälen ist beispielsweise das digitale System preislich überlegen, sofern mehr als 18 Datenkanäle benötigt werden. Unterhalb von 2 Sprechkanälen sind die für den Kostenvergleich gemachten Voraussetzungen nur noch schlecht erfüllt, weshalb die Gerade in diesem Bereich nur gestrichelt dargestellt ist. Auch im übrigen Bereich können aus Fig. 3 lediglich Richtwerte abgelesen werden, da die Preise bekanntlich gewissen Streuungen unterworfen sind.

In Fig. 4 sind schliesslich die relativen Kosten der Endausrüstungen für beide Übertragungsarten gemäss den Gl. (1) und (2) in Funktion der Anzahl Sprechkanäle aufgezeichnet. Dabei wurde die Anzahl  $n$  der Datenkanäle als Parameter gewählt. Man erkennt aus dieser Darstellung, dass PCM-Systeme im Verein mit der digitalen Datenübertragung bereits für relativ kleine Kanalzahlen wirtschaftlich eingesetzt werden können.

## 7. Realisierte Ausrüstungen

Eine PCM-Endausrüstung kann sehr kompakt aufgebaut werden. Fig. 5 zeigt ein 30-Kanalsystem, das den Platz von 3

Gestelltagen einnimmt. Dies entspricht einem Bruttovolumen von knapp 50 dm<sup>3</sup>. Auf der rechten Seite der Etagen befinden sich die 30 Kanaleinheiten und links die gemeinsamen Geräte. Zur Erzielung der nötigen Schaltgeschwindigkeit wurden integrierte Schaltungen verwendet. Die vierte Etage, von oben gezählt, enthält den Grundoszillator, Überwachungs- und Leistungsaurüstungen. Unten im Gestell ist das Speisegerät angeordnet.

Bei der Übertragung auf Telefonkabeln müssen normalerweise alle 1,8 km sog. Repeater eingesetzt werden. In diesen Geräten wird vorerst die Kabeldämpfung entzerrt. Hierauf werden die PCM-Signale verstärkt und anschliessend regeneriert. Fig. 6 stellt ein Repeaterpaar dar für ein 30-Kanal-System. Die einzelnen Funktionsblöcke sind auf Druckschaltungsplättchen angeordnet. Die Impulsfolgefrequenz beträgt 2,56 Mbit/s. Pro Repeater wird eine Speisespannung von nur 3,2 V benötigt.

Fig. 7 zeigt schliesslich eine Richtstrahlaurüstung für PCM-Signale. Ausgehend von einem quarzgesteuerten Oszillator wird nach mehreren Vervielfacherstufen ein Mikrowellen-

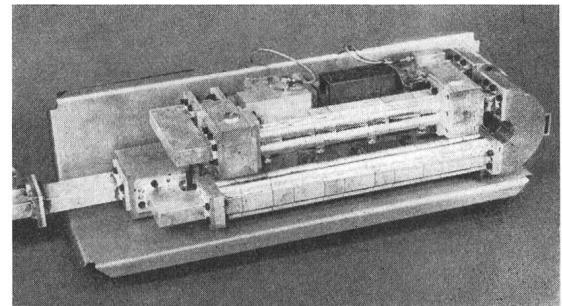


Fig. 7  
Richtstrahlaurüstung (Sender und Empfänger) für PCM-Signale

träger von ca. 7000 MHz erzeugt. Dieser wird durch das PCM-Signal amplitudenmässig getastet. Die verfügbare Antennenleistung beträgt 100 mW. Falls Parabolantennen mit einem Durchmesser von ca. 1 m verwendet werden, kann je nach Funkfeldverhältnissen eine Strecke von 50 bis 100 km überbrückt werden. Auf der Empfangsseite beträgt die Zwischenfrequenz 70 MHz. Als aktive Elemente sind nur Halbleiter eingesetzt. Der ganze Aufbau ist ca. 50 cm lang und wird direkt mit der Antenne zusammengebaut.

## Literatur

- [1] D. F. Hoth: Digital Communication. Bell Laboratories Record 45(1967)2, S. 39...43.
- [2] R. A. Kelly: An Experimental High-Speed Digital Transmission System. Bell Laboratories Record 45(1967)2, S. 45...48.
- [3] W. Bleickardt: Der Einfluss der Quantisierung in PMC-Systemen. Dissertation der ETH Nr. 3425. Zürich, Juris-Verlag, 1963.
- [4] R. H. Franklin and H. B. Law: Trends in Digital Communication by Wire. IEEE Spectrum 3(1966)11, S. 52...58.

## Adresse des Autors:

Th. Stolz, Entwicklungschef für Übertragungstechnik, Hasler AG, 3000 Bern.