

# Fragen der Systemwahl und der Wirtschaftlichkeit breitbandiger Weitverkehrssysteme = Problèmes relatifs au choix et à la rentabilité de systèmes de transmission à grande distance et à large bande de fréquence

Autor(en): **Gfeller, Max**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **46 (1968)**

Heft 2

PDF erstellt am: **11.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-875632>

## **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.

## II. Fragen der Systemwahl und der Wirtschaftlichkeit breitbandiger Weitverkehrssysteme

### Problèmes relatifs au choix et à la rentabilité de systèmes de transmission à grande distance et à large bande de fréquence

Max GFELLER, Bern

621.395.51.003.1

Zusammenfassung. Vorerst werden die Gründe dargelegt, die ausser der Wirtschaftlichkeit, zur Wahl des Kleinkoaxialsystems für den Ausbau des schweizerischen Fernleitungsnetzes führten. Nach der Erläuterung der für die verschiedenen Wirtschaftlichkeitsvergleiche angewandten Berechnungsgrundlage folgt eine Untersuchung über den Einfluss der Rohbmessungen von Koaxialkabeln auf die Wirtschaftlichkeit, und schliesslich werden die jährlichen Kosten verschiedener Weitverkehrssysteme miteinander verglichen. Den Abschluss bilden einige Gedanken über die künftige Entwicklung im Ausbau des schweizerischen Fernleitungsnetzes.

Résumé. On expose tout d'abord les raisons, abstraction faite de la rentabilité, qui ont conduit à adopter le système à paires coaxiales de petit diamètre pour l'extension du réseau interurbain suisse. Un exposé relatif aux bases de calcul utilisées pour les diverses comparaisons économiques, est suivi de considérations sur l'influence de la dimension des paires coaxiales sur la rentabilité. Enfin on compare entre eux les coûts annuels de différents systèmes de transmission à grande distance. On trouve pour terminer quelques réflexions sur l'évolution future du développement du réseau interurbain suisse.

#### Problemi economici e inerenti alla scelta del sistema di trasmissione a banda larga per il traffico a grande distanza

Riassunto. Dapprima vengono espone le ragioni, che, a prescindere dal fattore economico, hanno determinato la scelta del sistema dei piccoli cavi coassiali per l'ulteriore estensione della rete telefonica interurbana svizzera. Dopo aver discusso le basi di calcolo che servirono a confrontare il lato economico dei diversi sistemi, vien esaminata l'influenza che esercita sul fattore economico il dimensionamento dei tubi nei cavi coassiali e per terminare vengono confrontati tra di loro i costi annui di vari sistemi di traffico a grande distanza. L'articolo conclude con alcune considerazioni sullo sviluppo futuro della rete telefonica interurbana svizzera.

#### 1. Fragen der Systemwahl

Die grundlegenden Studien zum weitem Ausbau des schweizerischen Fernleitungsnetzes im Anschluss an den Bau des Normalkoaxialnetzes (2,6/9,5 mm Leiterdurchmesser), das 1963 fertiggestellt worden ist, sind in den Jahren 1959 und 1960 durchgeführt worden. Es ist angezeigt, vorerst einige Überlegungen anzuführen, die ausser der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit gemacht worden sind, und die schliesslich mit dazu beigetragen haben, dem Kleinkoaxialkabel 1,2/4,4 mm den Vorzug zu geben.

Rufen wir uns als erstes den Stand des Leitungsnetzes Ende der fünfziger Jahre in Erinnerung. In *Tabelle II* sind die im Jahre 1960 in Betrieb stehenden Stromkreislängen des Fernleitungsnetzes für die verschiedenen Leitungsarten aufgeführt [1].

*Tabelle II.* Leitungslängen im schweizerischen Fernleitungsnetz Ende Oktober 1960

Leitungsart	Leitungslänge	
	Leitungs-km	%
Niederfrequenzkabel	362 000	31,7
Koaxialkabel 2,6/9,5 mm	210 000	18,4
Paarsymmetrische Trägerkabel	485 000	42,5
Richtstrahlverbindungen	23 000	2,2
C5-Trägeranlagen	60 000	5,2
Total	1 140 000	100

Ferner ist von Bedeutung, dass Ende 1960 von den 52 Fernbetriebsämtern der Schweiz und des Fürstentums Liechtenstein nur deren 18, nämlich sämtliche 11 Fernknotenämter sowie 7 auf den Hauptachsen liegende Fernend-

#### 1. Choix du système

C'est au cours des années 1959 et 1960 que l'on procéda aux études fondamentales relatives à la poursuite de l'extension du réseau interurbain suisse pour la phase suivant l'achèvement du réseau de câbles à paires coaxiales normalisées 2,6/9,5 mm, effectivement terminé par la suite en 1963. Il est utile de rappeler tout d'abord les considérations, abstraction faite des problèmes d'ordre économique, qui contribuèrent finalement à faire accorder la préférence au câble à paires coaxiales de petit diamètre 1,2/4,4 mm. Rappelons-nous donc premièrement l'état du réseau interurbain suisse de cette époque. A cet effet, on trouvera dans le *tableau II* des indications relatives aux longueurs des circuits composant le réseau interurbain de 1960, pour chaque système de transmission. [1]

*Tableau II:* Longueurs des circuits dans le réseau interurbain suisse à fin octobre 1960.

Système de transmission	longueurs des circuits	
	km. circuit	%
Câbles à fréquences vocales	362 000	31,7
Câbles à paires coaxiales 2,6/9,5 mm	210 000	18,4
Câbles à paires symétriques	485 000	42,5
Faisceaux hertziens	23 000	2,2
Installations à courants porteurs C-5	60 000	5,2
Total	1 140 000	100

Il faut remarquer en outre qu'à la fin de 1960, 18 seulement des 52 centres interurbains que comptent la Suisse et la Principauté de Liechtenstein étaient raccordés aux réseaux des câbles coaxiaux, à paires symétriques ou des faisceaux

ämter, an das paarsymmetrische Träger- beziehungsweise das Koaxial- und Richtstrahlnetz angeschlossen waren. Die restlichen 34 Fernendämter waren nur mit NF- und C5-Trägerleitungen (22) oder sogar ausschliesslich durch metallische Stromkreise (12) mit dem Fernnetz verbunden. Darin kommt zum Ausdruck, dass nach dem zweiten Weltkrieg der Ausbau des Fernnetzes richtigerweise auf die grossen Zentren und einige günstig gelegene Fernendämter beschränkt worden war, wogegen zusätzliche Leitungen für den grössten Teil der Fernendämter durch die Umgruppierung niederfrequenter Stromkreise und durch C5-Träger hatten bereitgestellt werden müssen. Da diese Möglichkeiten in kurzer Zeit ausgeschöpft sein werden, andererseits aber in den paarsymmetrischen Trägeranlagen und vor allem im Koaxialkabelnetz noch beträchtliche Leitungsreserven vorhanden sind, mussten neue Bauvorhaben in erster Linie auf den Anschluss der Fernendämter konzentriert werden. Es wurden sogenannte Omnibuskabel benötigt, das heisst Anlagen, die zwischen zwei grösseren Zentren eine Anzahl kleinerer Ämter erfassen. Als Beispiel sei das Jurafusskabel erwähnt, mit dem zwischen Lausanne und Olten die Fernendämter Yverdon, Neuenburg, Biel und Solothurn angeschlossen werden können.

Die Vierdraht-Durchschaltung ist ein weiterer Grund zum Anschluss der Fernendämter mit modernen Übertragungsmitteln. Sie ist in einem grossen Teil der Fernknotenämter bereits verwirklicht worden. In den Fernendämtern wird die Vierdraht-Durchschaltung für den Verkehr nach den Land- und Stadtzentralen nach und nach ebenfalls eingeführt. Diese Durchschaltung ist aber nur sinnvoll, wenn mindestens eine der beiden zusammenschaltenden Leitungen vierdrähtig ist. Zur Verbesserung der Stabilität einer Verbindung sind vor allem Tandemleitungen vierdrähtig zu führen. Somit besteht eine weitere Aufgabe der Omnibuskabel darin, die niederfrequenten Leitungen und die für längere Fernleitungsstrecken nicht besonders geeigneten C5-Trägerkanäle, die im Jahre 1960 gemäss Tabelle II mit zusammen 37% noch einen ansehnlichen Teil des gesamten Fernleitungsnetzes ausmachten, zu ersetzen oder mindestens zur Abwicklung von Terminalverkehr auf kurze Strecken zu beschränken.

Die bestehenden Übertragungsmittel waren für Omnibusleitungen nicht besonders geeignet. Paarsymmetrische Trägerkabel mit 48-Kanalsystemen sind wohl genügend flexibel, hingegen ist die Einheit von 48 Kanälen/Leitung wegen der ständig zunehmenden Bündelgrössen für die meisten Fälle zu klein. Bei den V1260-Normalkoaxialanlagen (6-MHz-System) ist umgekehrt die Kanalzahl/System – wenigstens für die ersten Jahre – für Omnibusleitungen eher zu gross, ihre Flexibilität unzureichend; denn zwei Systeme je Kabel sind für Anlagen, über die mehrere Fern-

hertziens. Il s'agissait des 11 centres nodaux et de 7 centres terminus situés le long des grands axes de câbles. Le reste, à savoir 34 centres terminus, était raccordé au réseau interurbain par des câbles à fréquences vocales et des installations à courants porteurs C-5 (22 centres) ou même, dans 12 cas, exclusivement par des câbles à fréquences vocales. Il apparaît donc que le développement du réseau interurbain après la seconde guerre mondiale avait été axé, comme il se devait, sur les grands centres ainsi que sur quelques autres centres interurbains terminus ayant une situation géographique favorable. Par contre, les circuits supplémentaires dont avaient eu besoin la plupart des centres terminus avaient été obtenus tant par des regroupements de circuits à fréquences vocales que par la mise en service d'installations à courants porteurs C-5. Mais on voyait déjà que ces possibilités s'épuiseront dans un proche avenir. Comme des réserves notables de circuits existaient dans les installations à paires symétriques et, avant tout, dans le réseau des câbles à paires coaxiales, il y avait lieu de consacrer les nouveaux projets en premier lieu au raccordement des centres terminus interurbains. On avait besoin de câbles dits «omnibus», c'est-à-dire d'installations capables de desservir au passage, tout au long de leur tracé, des centres de moindre importance situés entre deux points plus importants. Citons comme exemple le câble du pied du Jura qui reliera, entre Lausanne et Olten, des centres interurbains terminus tels qu'Yverdon, Neuchâtel, Bienne et Soleure.

On trouve en la commutation en 4 fils une raison supplémentaire de raccorder les centres terminus interurbains au moyen de systèmes de transmission modernes. Cette technique, que l'on applique actuellement dans la majorité des centres nodaux interurbains, s'introduit peu à peu dans les centres terminus interurbains pour l'écoulement du trafic avec les centraux des zones rurale et urbaine. Mais la commutation à 4 fils ne prend tout son sens que si au moins l'un des deux circuits à interconnecter est un circuit à 4 fils. En fait, ce sont avant tout les circuits tandems qui doivent être acheminés en 4 fils afin d'améliorer la stabilité d'une communication. Aussi les câbles omnibus devaient-ils remplir une autre tâche. En effet, en 1960, une part appréciable – 37% – du réseau interurbain suisse était formée par des circuits constitués sur des câbles à fréquences vocales ou des installations à courants porteurs C-5 (voir tableau II), systèmes qui n'avaient pas été spécialement conçus pour un emploi sur de longs tronçons interurbains. Les câbles omnibus devaient permettre de les remplacer ou tout au moins de limiter leur utilisation à l'acheminement du trafic terminal sur de courtes distances.

Les systèmes de transmission existants ne convenaient pas particulièrement à l'établissement de lignes omnibus. Les câbles à paires symétriques équipés avec des systèmes

endämter zu bedienen sind, zu wenig und würden jedenfalls vermehrt unerwünschte zusätzliche Sekundärgruppenumsetzungen bedingen.

Die Lösung war demnach in einem neuen Weitverkehrssystem zu suchen, das die Vorteile der bisherigen vereinigt. Es kam somit entweder ein paarsymmetrisches Kabel mit erhöhter Kanalzahl je System oder aber ein Koaxialkabel mit grösserer Rohrzahl in Frage. Beide Varianten standen sich im paarsymmetrischen V120-System und in dem vom CCITT normalisierten V300-Kleinkoaxialsystem 1,2/4,4 mm (1,3-MHz-System) gegenüber [2].

Welches sind, abgesehen von der Frage der Wirtschaftlichkeit, die Vor- und Nachteile dieser beiden Leitungsarten? Der wohl wesentlichste Unterschied zwischen den beiden liegt in ihren die Übertragungskapazität bestimmenden Nebensprecheigenschaften. Bei koaxialen Kabeln steigt die Nebensprechdämpfung mit der Frequenz, so dass kein Abgleich nötig ist, wogegen bei paarsymmetrischen Anlagen immer ein Nebensprechausgleich durchgeführt werden muss, der zudem mit steigender Frequenz aufwendiger wird und nur bis zu 552 kHz, entsprechend der Ausnützung mit 120 Kanälen, befriedigende Resultate ergibt. Somit ist das paarsymmetrische V120-System nicht mehr erweiterungsfähig, was bei dem für die Zukunft erwarteten Mehrbedarf an Kanälen als Nachteil zu werten ist. Ferner ist der grosse Aufwand für den Abgleich paarsymmetrischer Trägerkabel an sich ein Nachteil. Denn durch Bauarbeiten bedingte Kabelverlegungen und mechanische Kabelbeschädigungen, wie sie in unserem dicht besiedelten Lande immer häufiger auftreten, verschlechtern sich die Nebensprechwerte und machen oft einen Nachabgleich nötig. Ein weiterer Vorteil der Kleinkoaxialtechnik liegt in der Möglichkeit der späteren Tertiärgruppenbildung, welche die Durchschaltung grösserer Leitungspakete erlauben wird [3].

Diesen Vorteilen der Koaxialtechnik steht ein einziger Nachteil gegenüber: Bei der Auslegung koaxialer Kabel ist grösste Sorgfalt geboten, und mechanisch müssen sie besonders gut geschützt werden, weil schon kleine Deformationen der Leiter zu Störungen führen. Im gesamten gesehen jedoch überwiegen die technischen Vorteile von Kleinkoaxialanlagen.

## 2. Wirtschaftlichkeit

### 2.1 Allgemeines

Alle Wirtschaftlichkeitsvergleiche zwischen Anlagen, die Teile von verschiedener Lebensdauer und mit unterschiedlichen Betriebs- und Unterhaltskosten umfassen, sind nur auf der Grundlage der jährlichen Kosten möglich; denn die Gegenüberstellung der Anschaffungskosten gibt unter Umständen ein falsches Bild [4]. Dies trifft auch bei allen Weitverkehrssystemen zu, wo immer einerseits Kabelan-

lagen zu 48 Voies possèdent certes une flexibilité suffisante, mais l'unité de 48 voies par paire est trop faible dans la plupart des cas, étant donné l'accroissement incessant de la grandeur des faisceaux de circuits. Inversement, dans le système V 1260 (technique à 6 MHz) tel qu'on l'applique sur les câbles à paires coaxiales 2,6/9,5 mm, le nombre de voies par système est – tout au moins au début – plutôt trop grand pour des lignes omnibus alors que leur flexibilité doit être taxée d'insuffisante; on ne peut se contenter en effet de 2 systèmes par câble dans des installations devant desservir plusieurs centres terminus interurbains, mis à part le fait que cela imposerait un certain nombre de transferts supplémentaires de groupes secondaires, ce qui est indésirable.

Il fallait donc rechercher une solution dans un nouveau système de transmission à grande distance réunissant les avantages des techniques existantes. Le choix se limitait entre un câble à paires symétriques procurant plus de 48 voies par paire et un câble coaxial à grand nombre de paires. Ces deux variantes correspondaient aux systèmes V120 applicable aux paires symétriques ou V300 (technique à 1,3 MHz) destiné aux paires coaxiales de petit diamètre 1,2/4,4 mm, que le CCITT venait de normaliser [2].

Quels sont les avantages et les inconvénients de chaque système, abstraction faite de toute question économique? La différence essentielle réside dans leur comportement envers la diaphonie, facteur qui déterminera finalement la capacité de transmission. Dans le câble à paires coaxiales, l'affaiblissement diaphonique croît avec la fréquence, si bien qu'un équilibrage n'est pas nécessaire. Au contraire dans les installations à paires symétriques, on doit toujours effectuer un équilibrage de diaphonie dont la complication et la difficulté croissent avec la fréquence et qui ne donne de résultats satisfaisants que jusqu'à 552 kHz, fréquence correspondant à une exploitation à 120 voies. Ainsi donc, dans un système V120 sur paires symétriques, il ne sera plus possible d'élargir ultérieurement la bande des fréquences transmises, inconvénient fâcheux si l'on considère l'augmentation des besoins en lignes à laquelle il faudra faire face dans l'avenir. En outre, le travail considérable que nécessite l'équilibrage des câbles à paires symétriques est en lui-même un désavantage: les déplacements des installations et les détériorations de câbles par les engins de construction se produisent de plus en plus fréquemment dans notre pays à forte densité de population, faisant diminuer les valeurs de diaphonie et imposant souvent un rééquilibrage. Un avantage supplémentaire de la technique des petites paires coaxiales consiste en la possibilité de former ultérieurement des groupes tertiaires qui permettront l'interconnexion de blocs assez importants de circuits [3].

A ces avantages de la technique coaxiale ne s'oppose guère qu'un inconvénient: la pose des câbles doit s'effectuer avec un maximum de soin et les câbles eux-mêmes

lagen mit einer mittleren Lebensdauer von über 30 Jahren und andererseits Verstärker- und Endausrüstungen mit etwa 15 Jahren Lebensdauer beteiligt sind.

Die jährlichen Kosten  $K_j$  setzen sich zusammen aus Amortisation, Kapitalverzinsung, Unterhalt und Betrieb. Dabei sind unter dem Kapital die Beschaffungskosten einschliesslich Kabelauslegung beziehungsweise Montage zu verstehen. Amortisation und Kapitalverzinsung werden zur Annuität  $A$  zusammengefasst.

$$A = K \frac{r^n (r-1)}{r^n - 1} = Ka$$

Die jährlichen Unterhalts- und Betriebskosten  $B$  werden auf Grund von Erfahrungswerten für jeden Anlageteil in einem Prozentsatz des entsprechenden Kapitalwertes ausgedrückt, so dass sich schliesslich die gesamten jährlichen Kosten für einen Anlageteil  $K_{ji}$  wie folgt berechnen lassen:

$$K_{ji} = A_i + B_i = K_i (a_i + b_i) \\ K_{ji} = K_i f_i$$

Damit werden die jährlichen Aufwendungen für die Gesamtanlage

$$K_j = \sum_{i=1}^n K_{ji} = \sum_{i=1}^n K_i f_i$$

Es bedeuten:  $K_j$  = jährliche Kosten

$K$  = Kapital

$A$  = Annuität

$B$  = Betriebs- und Unterhaltskosten ( $B = Kb$ )

$r$  = Aufzinsfaktor  $1 + \frac{p}{100}$  ( $p$  = Zinsfuß)

$n$  = Lebensdauer in Jahren = Amortisationszeit

$a$  = Annuitätsfaktor

$b$  = Betriebs- und Unterhaltsfaktor  $\left(\frac{b\%}{100}\right)$

$f$  = Gesamtfaktor zur Berechnung der jährlichen Kosten ( $f = a + b$ )

## 2.2 Einfluss der Koaxialrohrabmessungen auf die Wirtschaftlichkeit

In Grossbritannien, Frankreich und Deutschland wurden in den fünfziger Jahren Kleinkoaxialkabel mit verschiedenen Rohrdurchmessern versuchsweise eingesetzt [5], bis im Jahre 1960 der Typ mit den Abmessungen 1,2/4,4 mm vom CCITT normalisiert wurde. In diesem Zusammenhang ist der Einfluss der Rohrabmessungen auf die Wirtschaftlichkeit von Interesse.

doivent être particulièrement bien protégés mécaniquement, car de petites déformations des conducteurs occasionnent déjà des dérangements. Cependant le bilan des avantages et des désavantages techniques des installations à paires coaxiales était positif, si bien que rien ne s'opposait à leur introduction dans notre réseau.

## 2. Aspects économiques

### 2.1 Généralités

Toutes les comparaisons d'ordre économique entre des installations dont les composants ont des durées de vie différentes les unes des autres et des frais d'entretien et d'exploitation dissemblables ne peuvent être faites qu'en prenant pour base les frais annuels. En effet, la simple comparaison des coûts relatifs à l'achat du matériel pourrait donner une image fautive. [4] Cette remarque est également valable pour les systèmes de transmission à grande distance où la durée de vie des installations de câble est en moyenne supérieure à 30 ans, tandis que celle des amplificateurs de ligne et des équipements terminaux se monte à environ 15 ans.

Les frais annuels  $K_j$  se composent de l'amortissement, de l'intérêt du capital engagé, des frais d'entretien et d'exploitation. Le capital engagé comprend les frais d'acquisition du matériel, de pose du câble ainsi que du montage.

L'amortissement et l'intérêt du capital sont combinés en une annuité  $A$

$$A = K \frac{r^n (r-1)}{r^n - 1} = Ka$$

Les frais annuels d'exploitation et d'entretien  $B$  sont exprimés en pourcentage du capital correspondant à chaque élément d'installation. On fixe ce taux sur des bases empiriques. Les frais annuels totaux  $K_{ji}$  pour un certain élément de l'installation se calculent finalement ainsi:

$$K_{ji} = A_i + B_i = K_i (a_i + b_i) \\ K_{ji} = K_i f_i$$

Pour l'installation complète, les frais annuels sont alors

$$K_j = \sum_{i=1}^n K_{ji} = \sum_{i=1}^n K_i f_i$$

où  $K_j$  = frais annuels

$K$  = capital investi

$A$  = annuité

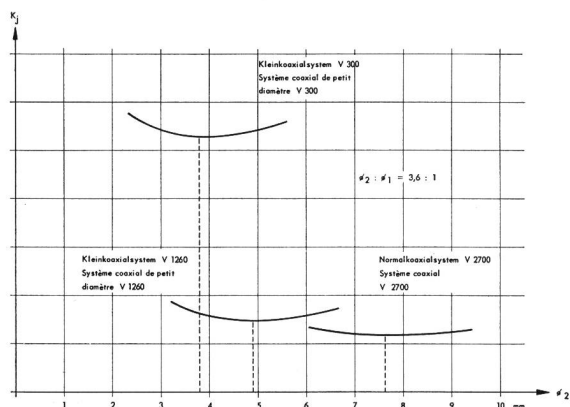
$B$  = frais d'exploitation et d'entretien ( $B = Kb$ )

$r$  = facteur de capitalisation  $1 + \frac{p}{100}$  ( $p$  = taux de l'intérêt)

$n$  = durée de vie exprimée en années = durée d'amortissement



Je grösser die Tubenabmessungen sind, desto höher werden die eigentlichen Kabelkosten; andererseits jedoch sinkt der kilometrische Anteil der Verstärkerkosten zufolge grösser werdender Verstärkerabstände, so dass die Gesamtkosten der Leitung für einen bestimmten Durchmesser minimal sind. In *Figur 8* sind die jährlichen Kosten je Kanal und Kilometer – ohne Endausrüstungen – in Abhängigkeit des Rohrdurchmessers für 10-tubige Anlagen nach der Art des schweizerischen Kleinkoaxialkabels mit V300- und V1260-Systemen sowie für ein 4-tubiges Kabel entsprechend dem Normalkoaxialtyp mit V2700-Systemen (12-MHz-System) aufgetragen.



**Fig. 8**  
 Jährliche Kosten  $K_j$  je Kanal und Kilometer (ohne Endausrüstungen) in Abhängigkeit der Rohrabmessungen (Innendurchmesser  $\phi_1$  des Aussenleiters)  
 Frais annuels  $K_j$  par canal et par kilomètre (sans équipements terminaux) en fonction des dimensions des tubes (diamètre intérieur  $\phi_1$  du conducteur extérieur)

Erwartungsgemäss sind bei Systemen grosser Kanalzahl die Leitungskosten je Kanal geringer als bei kleinen Kanalzahlen. Ferner ist aus *Figur 8* ersichtlich, dass der optimale Rohrdurchmesser mit zunehmender Kanalzahl ebenfalls ansteigt und dass der normalisierte Typ 1,2/4,4 mm zwischen den Minima des V300- und des V1260-Systemes liegt. Andererseits sind die Kostenminima nicht ausgeprägt, so dass es sich aus wirtschaftlichen Gründen erübrigt, für jedes System einen eigenen Kabeltyp mit andern Abmessungen zu wählen und jedenfalls kein Bedürfnis besteht, andere Koaxialtypen als die beiden vom CCITT genormten einzuführen.

Schliesslich zeigt die *Figur 8*, dass der Normalkoaxialtyp 2,6/9,5 mm auch mit dem 12-MHz-System keineswegs wirtschaftlich optimal ausgenutzt sein wird und dass eine spätere Steigerung der Kanalzahl je System auf diesem Kabeltyp überall dort, wo ein Bedürfnis für neue Übertragungswege besteht, wirtschaftlich vorteilhaft sein wird.

a = facteur d'annuité

b = facteur relatif à l'entretien et à l'exploitation  $\left(\frac{b\%}{100}\right)$

f = facteur général pour le calcul des frais annuels  
 (f = a + b)

## 2.2 Influence des dimensions des paires coaxiales sur la rentabilité

Au cours des années 1950 et suivantes, des câbles à paires coaxiales de petit diamètre furent installés à titre expérimental en Angleterre, en France et en Allemagne. [5] Le diamètre des paires n'était pas uniforme jusqu'à ce que le CCITT normalise en 1960 un type correspondant aux dimensions de 1,2/4,4 mm. Il est donc intéressant d'examiner l'influence de la dimension des paires coaxiales sur la rentabilité.

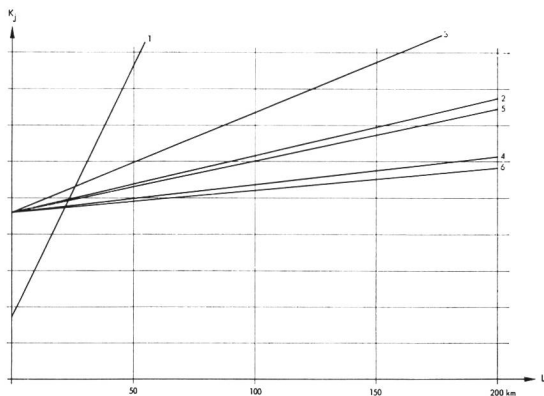
Plus les paires coaxiales sont grandes, plus le câble proprement dit coûtera cher. En revanche, l'espace entre les répéteurs pourra être augmenté, de telle sorte que les frais à imputer aux répéteurs, rapportés au kilomètre, diminueront. Les frais totaux de la ligne passeront donc par un minimum pour un certain diamètre de paire coaxiale. Dans la *figure 8*, on a inscrit les frais annuels rapportés à une voie et un kilomètre – les équipements terminaux n'étant pas pris en considération – en fonction du diamètre des paires pour 2 genres de systèmes: d'une part, une installation de câble à 10 paires coaxiales de petit diamètre, selon la conception suisse, équipée de systèmes V300 et V1260 et, d'autre part, une installation de câble à 4 paires coaxiales normalisées 2,6/9,5 mm équipée de systèmes V2700 (technologie à 12 MHz).

Comme on pouvait s'y attendre, les frais de ligne, rapportés à une voie, sont moindres pour des systèmes à grand nombre de voies que pour des systèmes à faible nombre de voies. En outre, on peut voir à la *figure 8* que le diamètre optimum des paires augmente avec l'accroissement du nombre de voies et que la paire normalisée 1,2/4,4 mm correspond à un point situé entre les minimums des systèmes V300 et V1260. Mais les minimums des frais n'étant pas très prononcés, il est superflu, pour des raisons économiques évidentes, de choisir pour chaque système son propre type de câble avec un diamètre spécifique de paire et il n'y a donc aucune nécessité d'introduire d'autres types que les deux paires coaxiales normalisées par le CCITT.

Enfin la *figure 8* montre que la paire normalisée 2,6/9,5 mm ne sera pas utilisée de manière optimale avec un système à 12 MHz, et qu'une augmentation ultérieure du nombre de voies par système sera économiquement rentable sur ce type de paire, partout où apparaîtra un besoin en nouvelles voies de transmission.

### 2.3 Wirtschaftlichkeitsvergleich der verschiedenen Weitverkehrssysteme

Die gebräuchlichste Art, verschiedene Übertragungsmittel wirtschaftlich miteinander zu vergleichen, ist die Gegenüberstellung ihrer jährlichen Kosten je Leitung. Da sich diese Aufwendungen sowohl bei NF-Stromkreisen als auch bei Trägerkanälen aus den längenunabhängigen Kosten der Endausrüstungen und den proportional zur Länge ansteigenden Aufwendungen für Kabel und Zwischenverstärker zusammensetzen, ist die Darstellung der jährlichen Kosten in Abhängigkeit der Leitungslänge entsprechend *Figur 9* zweckmässig [6]. Es zeigt sich auch hier wieder, dass die Wirtschaftlichkeit eines Übertragungsmittels im allgemeinen mit steigender Kanalzahl zunimmt, dass also beispielsweise das paarsymmetrische V120-System wesentlich vorteilhafter als das V300-Kleinkoaxialsystem erscheint.



**Fig. 9**  
Jährliche Kosten  $K_j$  je Stromkreis in Abhängigkeit der Länge  $l$  für  
Frais annuels  $K_j$  par circuit en fonction de la longueur  $l$  pour

- 1 = NF-Leitung; Grundlage DM-Kabel 166/0,9/1,4; an beiden Enden mit Endverstärkern 2-Draht / 4-Draht ausgerüstet  
circuit BF; base câble DM 166/0,9/1,4; équipé aux deux extrémités d'amplificateurs terminaux 2 fils / 4 fils
- 2 = Paarsymmetrisches Trägerkabel V 120  
câble à courants porteurs à paires symétriques V 120
- 3 = Kleinkoaxialkabel V 300  
câble à paires coaxiales de petit diamètre V 300
- 4 = Kleinkoaxialkabel V 1260  
câble à paires coaxiales de petit diamètre V 1260
- 5 = Normalkoaxialkabel V 1260  
câble coaxial 2,6/9,5 mm V 1260
- 6 = Normalkoaxialkabel V 2700  
câble coaxial 2,6/9,5 mm V 2700

Für die Berechnung der Kabelkosten und zum Teil auch der Aufwendungen für die Zwischenverstärker, muss immer auf irgendeine Art berücksichtigt werden, dass die gesamte Leitungsreserve bereits beim Bau der Anlage mit einzubeziehen ist. Im vorliegenden Fall ist mit einem Durchschnittswert der Leitungsreserve für die gesamte Lebensdauer der

### 2.3 Comparaison économique entre les divers systèmes de transmission à grande distance

La méthode la plus courante pour comparer entre eux, sous l'angle économique, divers systèmes de transmission consiste à confronter leurs coûts annuels respectifs, rapportés à une voie. Tant pour les circuits à fréquences vocales que pour les circuits constitués sur les systèmes à courants porteurs, les coûts résultent, d'une part, de frais indépendants de la longueur des circuits tels que ceux relatifs aux équipements terminaux, et, d'autre part, de frais variant proportionnellement à la distance tels les coûts des câbles et des amplificateurs intermédiaires. La représentation «frais annuels en fonction de la longueur des circuits» selon la *figure 9* peut donc se justifier [6]. Il y apparaît à nouveau que la rentabilité d'un système de transmission augmente en général en même temps que sa capacité et que, par exemple, le système V120 installé sur les paires symétriques semble être nettement plus avantageux que le système V300 sur les paires coaxiales.

Dans les frais à imputer au câble et, en partie, aux amplificateurs intermédiaires, il faut tenir compte, d'une façon ou d'une autre, de la réserve totale de circuits que contient potentiellement l'installation au moment de sa construction. Dans le cas qui nous occupe, nous avons admis une valeur moyenne portant sur toute la durée de vie de l'installation. Dans la situation du réseau suisse, cette réserve moyenne de circuits se monte à environ 30%. En revanche, il n'y a pas lieu d'inclure une quelconque réserve pour les équipements terminaux car, dans les centres d'une certaine importance, on procède chaque année à l'extension de ce matériel.

En outre, il ressort de la figure 9 que les équipements terminaux représentent la part principale des frais de ligne. Comme la longueur moyenne d'un circuit interurbain dans le réseau suisse est d'environ 100 km, 64 à 88% des frais annuels devront, suivant le genre de circuits, être imputés aux équipements d'extrémité, et le reste, à savoir 36 à 12%, aux câbles et aux répéteurs intermédiaires. On découvre dans cette répartition des frais une des raisons principales pour lesquelles on crée de plus en plus dans le réseau interurbain des faisceaux de circuits directs qui non seulement déchargent les centres de transit, mais améliorent encore la qualité de transmission des communications grâce à une réduction du nombre de points de modulation et de démodulation.

La méthode de comparaison selon la figure 9 présente l'inconvénient qu'elle ne tient pas compte des *besoins* en circuits. A quoi donc servirait une installation ayant une capacité de 3000 ou même de 5000 voies et donc un coût par voie réduit, si seule une fraction de cette installation pouvait être utilisée au cours de toute son existence? Dans cette perspective, le calcul de coûts de circuits en fonction

Anlage gerechnet worden, der für schweizerische Verhältnisse etwa 30% beträgt. Die Endausrüstungen dagegen werden in grösseren Ämtern jährlich erweitert, so dass dafür keine Reservehaltung eingerechnet zu werden braucht.

Aus Figur 9 geht ferner hervor, dass die Endausrüstungen den Hauptanteil der Leitungskosten ausmachen. Da die durchschnittliche Länge einer Fernleitung im schweizerischen Netz gegen 100 km beträgt, entfallen im Mittel – je nach Leitungsart – 64...88% der jährlichen Kosten auf die Endausrüstungen und nur 36...12% auf Kabel und Zwischenverstärker. Diese Kostenverteilung ist einer der wesentlichsten Gründe, die je länger je mehr zur Schaltung neuer, direkter Leitungsbündel im Fernnetz führt. Dadurch werden die Tandemämter entlastet und die Qualität ganzer Verbindungen wird dank der kleinern Zahl Umsetzungen verbessert.

Die Vergleichsmethode nach Figur 9 hat den Nachteil, dass sie keine Rücksicht auf die Leitungsbedürfnisse nimmt. Was aber nützt eine Anlage mit einer Gesamtkapazität von 3000 oder gar 5000 Kanälen und damit geringen Kanalkosten, wenn während der ganzen Lebensdauer nur ein Bruchteil davon benötigt wird? In dieser Hinsicht ist die Berechnung der Leitungskosten in Funktion der maximal benötigten Kanalzahl gemäss Figur 10 aufschlussreicher. Die Kosten für die Endausrüstungen sind hier nicht eingerechnet, da sie für alle verglichenen Systeme ungefähr gleich sind.

Diese Darstellung gibt bezüglich der Systeme V120 und V300 ein verändertes Bild und zeigt, dass Kleinkoaxialkabel mit V300-Systemen bis zu 1200 Kanälen bedeutend wirtschaftlicher sind als paarsymmetrische Anlagen. Für Leitungszahlen von 1200 bis 2520 sind das Normal- und das Kleinkoaxialkabel mit V1260-Anlagen gleichwertig und finanziell ebenfalls wesentlich vorteilhafter als das paarsymmetrische Kabel. Schliesslich ist ersichtlich, dass V1260-Anlagen auch für Kanalzahlen unter 1200 nahezu gleich wirtschaftlich arbeiten wie V300-Systeme. Sobald also 6-MHz-Ausrüstungen für Kleinkoaxialkabel einsatzbereit sind, kann die Fabrikation von 1,3-MHz-Anlagen eingestellt werden. Im übrigen werden durch den Umbau bestehender Anlagen rasch genügend V300-Leitungsausrüstungen frei zur Erweiterung von Strängen mit weniger grosser Leitungskonzentration.

Trotzdem im schweizerischen Normalkoaxialnetz noch keine V2700-Systeme im Betrieb stehen, wurde dieses zum Vergleich in den verschiedenen Figuren aufgeführt und damit seine Wirtschaftlichkeit bestätigt. Der Vergleich mit dem Kleinkoaxialsystem V1260 ist allerdings für «Omnibusleitungen» nicht ohne weiteres statthaft, da keine Kosten für zusätzliche Umsetzungen mitberücksichtigt sind. Dieses

de l'effectif maximum nécessaire de voies, tel qu'on le trouve à la *figure 10*, est beaucoup plus instructif. Les frais pour les équipements d'extrémité ne sont pas compris, car ils sont approximativement égaux pour tous les systèmes comparés.

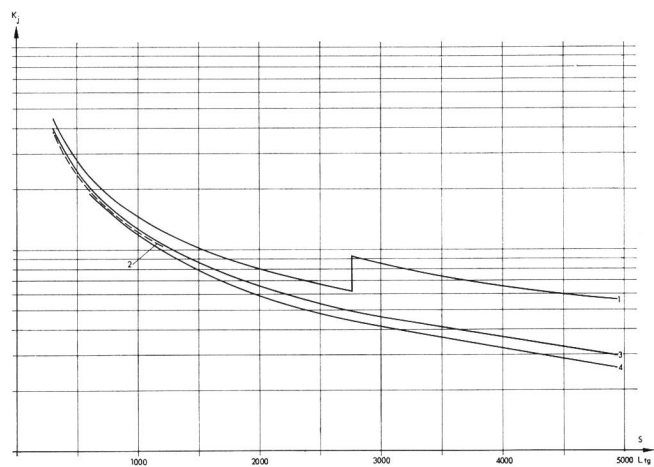


Fig. 10  
Jährliche Kosten  $K_j$  je Kanal und Kilometer in Funktion des maximalen Leitungssollbestandes  $S$  für

Frais annuels  $K_j$  par canal et par kilomètre en fonction du nombre nominal maximal de circuits  $S$  pour

- 1 = Paarsymmetrisches Trägerkabel V 120 (für  $S > 2760$  Leitungen ist eine zweite Kabelanlage nötig)  
câble à courants porteurs à paires symétriques V 120 (pour  $S > 2760$  circuits, un second câble est nécessaire)
- 2 = Kleinkoaxialkabel V 300  
câble à paires coaxiales de petit diamètre V 300
- 3 = Normalkoaxialkabel V 1260 (bis 2520 Kanäle) und Kleinkoaxialkabel V 1260  
câble coaxial 2,6/9,5 mm V 1260 (jusqu'à 2520 canaux) et câble à petites paires coaxiales V 1260
- 4 = Normalkoaxialkabel V 2700  
câble coaxial 2,6/9,5 mm V 2700

Ce mode de représentation présente les systèmes V120 et V300 sous un autre aspect et fait ressortir que les câbles à paires coaxiales de petit diamètre équipés de systèmes V300 sont, jusqu'à 1200 voies, notablement plus économiques que les installations à paires symétriques. Pour un nombre de circuits compris entre 1200 et 2520, les câbles à paires coaxiales 2,6/9,5 mm et 1,2/4,4 mm sont équivalents et, financièrement parlant, passablement plus avantageux que les câbles à paires symétriques. Finalement on peut voir que pour un nombre de circuits inférieur à 1200, les installations V 1260 sont presque aussi économiques que les installations équipées de systèmes V300. Aussitôt que l'on disposera de systèmes à 6 MHz pour des installations de câbles à paires de petit diamètre, on pourra donc cesser la fabrication des systèmes à 1,3 MHz. En outre, un nombre suf-



neue System wird voraussichtlich später mehrheitlich auf den langen Hauptachsen mit grosser Leitungskonzentration eingesetzt werden.

### 3. Künftige Entwicklung

Die vorstehenden Ausführungen haben gezeigt, dass der Ausbau des schweizerischen Fernleitungsnetzes mit dem Kleinkoaxialtyp 1,2/4,4 mm nicht nur Vorteile in bezug auf die praktische Verwirklichung, die Flexibilität und die künftigen Erweiterungsmöglichkeiten bietet, sondern dass er auch in wirtschaftlicher Hinsicht die günstigste Lösung darstellt.

Nachdem sich der Bau von Kleinkoaxialanlagen gut eingespielt hat und programmässig fortschreitet, ist nun das Hauptaugenmerk auf die Einführung des V1260-Systems zu richten. Dieses wird auf Anlagen mit grosser Leitungskonzentration, zum Beispiel Olten – Aarau – Baden – Zürich und Bern – Thun, bereits 1969 beziehungsweise 1970 in Betrieb genommen.

Die Verwirklichung der geplanten Kleinkoaxialanlagen wird nach und nach eine weitgehende Vermaschung unseres Fernleitungsnetzes mit sich bringen. Auf diese Weise werden auch für die langen Hauptleitungsbündel neue Reserven geschaffen. Um die Zahl der Umsetzungen im Zuge einer Leitung nicht unzulässig zu erhöhen, werden allerdings nicht beliebige Schaltungen möglich sein. Parallel zum Kleinkoaxialkabelnetz müssen daher Richtstrahlanlagen gebaut und die bestehenden Normalkoaxialkabel für grössere Kanalzahlen umgebaut werden (12 MHz oder höher). Ob und wann schliesslich PCM-Systeme, die gegenwärtig im schweizerischen Bezirkskabelnetz auf einigen Versuchsstrecken betrieben und von 1969 an in grösserer Zahl eingesetzt werden, auch im Fernleitungsnetz wirtschaftlich und technisch vorteilhaft angewandt werden können, ist heute noch nicht abzusehen.

### Bibliographie

- [1] Statistisches Jahrbuch PTT 1960
- [2] Blaubuch CCITT, Band III, Avis G 342
- [3] *Becker L., Barber D.R.* Trägerfrequenzrichtungen für Kleinkoaxialkabel, Teil 1: Planungsgrundlagen der Kleinkoaxialtechnik. Elektrisches Nachrichtenwesen 41 (1966) Nr. 3, S. 285...295.
- [4] *Gfeller M.* Betrachtung über die Wirtschaftlichkeit von C5-Trägeranlagen. Techn. Mitt. PTT 39 (1961) Nr. 3, S. 99...107  
*Gfeller M.* Considérations d'ordre économique sur les installations à courants porteurs C5. Bull. Techn. PTT 39 (1961) n° 3, p. 99...107.
- [5] *Buhmann F., Harbort H.* Das SEL-Kleinkoaxialpaar 1,2/4,4 mit Pressschalen-Isolierung. SEL-Nachrichten 13 (1965) Nr. 1, S. 22...31.
- [6] *Jeschko A.* Kleinkoaxialanlagen 1,3 MHz. Hasler-Mitteilungen 25 (1966) Nr. 3, S. 53...68.

Das System V300 wird voraussichtlich später mehrheitlich auf den langen Hauptachsen mit grosser Leitungskonzentration eingesetzt werden. Die Verwirklichung der geplanten Kleinkoaxialanlagen wird nach und nach eine weitgehende Vermaschung unseres Fernleitungsnetzes mit sich bringen. Auf diese Weise werden auch für die langen Hauptleitungsbündel neue Reserven geschaffen. Um die Zahl der Umsetzungen im Zuge einer Leitung nicht unzulässig zu erhöhen, werden allerdings nicht beliebige Schaltungen möglich sein. Parallel zum Kleinkoaxialkabelnetz müssen daher Richtstrahlanlagen gebaut und die bestehenden Normalkoaxialkabel für grössere Kanalzahlen umgebaut werden (12 MHz oder höher). Ob und wann schliesslich PCM-Systeme, die gegenwärtig im schweizerischen Bezirkskabelnetz auf einigen Versuchsstrecken betrieben und von 1969 an in grösserer Zahl eingesetzt werden, auch im Fernleitungsnetz wirtschaftlich und technisch vorteilhaft angewandt werden können, ist heute noch nicht abzusehen.

Das System V300 wird voraussichtlich später mehrheitlich auf den langen Hauptachsen mit grosser Leitungskonzentration eingesetzt werden. Die Verwirklichung der geplanten Kleinkoaxialanlagen wird nach und nach eine weitgehende Vermaschung unseres Fernleitungsnetzes mit sich bringen. Auf diese Weise werden auch für die langen Hauptleitungsbündel neue Reserven geschaffen. Um die Zahl der Umsetzungen im Zuge einer Leitung nicht unzulässig zu erhöhen, werden allerdings nicht beliebige Schaltungen möglich sein. Parallel zum Kleinkoaxialkabelnetz müssen daher Richtstrahlanlagen gebaut und die bestehenden Normalkoaxialkabel für grössere Kanalzahlen umgebaut werden (12 MHz oder höher). Ob und wann schliesslich PCM-Systeme, die gegenwärtig im schweizerischen Bezirkskabelnetz auf einigen Versuchsstrecken betrieben und von 1969 an in grösserer Zahl eingesetzt werden, auch im Fernleitungsnetz wirtschaftlich und technisch vorteilhaft angewandt werden können, ist heute noch nicht abzusehen.

### 3. Evolution future

Dans les considérations ci-dessus, nous avons montré que l'extension du réseau interurbain suisse au moyen du câble à paires coaxiales 1,2/4,4 mm offrait non seulement des avantages quant aux possibilités pratiques de réalisation et à la flexibilité, laissant en plus la porte ouverte à une augmentation ultérieure de la capacité, mais qu'elle représente aussi la solution la plus avantageuse au point de vue économique. Maintenant que la technique de construction de ces installations est bien rodée et que la construction elle-même se poursuit selon le programme fixé, il faut vouer toute son attention à l'introduction des systèmes V1260 qui doivent être mis en service déjà en 1969 et 1970 dans des artères à forte concentration de circuits telles que Olten-Aarau-Baden-Zürich ou sur le tronçon entre Berne et Thoun.

La réalisation des différents projets d'installations à paires coaxiales de petit diamètre aura pour conséquence un maillage toujours plus serré de notre réseau interurbain, créant ainsi de nouvelles réserves pour les longs faisceaux principaux. Cependant, toutes les interconnexions ne seront pas possibles car il convient d'éviter un trop grand nombre de points de transfert dans les circuits. Ainsi donc, parallèlement à la construction d'installations à paires coaxiales de petit diamètre, il faudra construire non seulement des installations à faisceaux hertziens, mais encore transformer les installations de câbles à paires coaxiales 2,6/9,5 mm pour augmenter leur capacité de transmission (systèmes à 12 MHz ou à bande de fréquence plus large). Des systèmes à modulation par impulsions codées sont exploités actuellement à titre expérimental sur quelques faisceaux du réseau rural suisse où ils seront introduits intensivement dès 1969. Mais à l'heure actuelle il n'est possible ni de prédire si l'on retirera vraiment des avantages techniques ou économiques de l'engagement de tels systèmes dans le réseau interurbain, ni de préciser une date.