**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens

**Herausgeber:** Association suisse des électriciens

**Band:** 49 (1958)

**Heft:** 9

**Artikel:** Verfahren zur Messung der Flexibilität von Litzen, Kabeln und Leitungsschnüren

**Autor:** Locher, K.

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-1058521

propre à cette cellule, l'air s'échappe, faisant tomber la pression au-dessous de 1 kg/cm². Cette baisse de pression entraîne l'ouverture automatique de la vanne principale d'admission d'eau sous pression de 12 kg/cm². En moins de 10 s, la cellule de transformateur sinistrée est entièrement inondée. L'eau est prélevée sur la conduite forcée et détendue de 30 à 15 kg/cm².

### *10. Ligne de raccordement 150 kV*

La ligne de raccordement entre la centrale de Gabi et la ligne du Simplon comporte un circuit disposé en nappe horizontale; les conducteurs en Aldrey ont une section de 280 mm². Deux câbles de protection en acier, d'une section de 86 mm² «coiffent» les conducteurs. La longueur du feeder est d'environ 300 m. Il est porté par trois portiques tétrapodes en acier d'une hauteur d'environ 20 m.

### *11. Production*

La production de la centrale de Gabi sera de:

| | |
|---|---|
| | 13 GWh en hiver |
| | 29 GWh en été |
| Total | 42 GWh par an |

### *Projet et direction des travaux*

Les études et la direction des travaux ont été confiées à la Société Générale pour l'Industrie à Genève.

Adresse de l'auteur:
*Energie Electrique du Simplon S. A.*, Rue Bovy-Lysberg 17, Genève.

# Verfahren zur Messung der Flexibilität von Litzen, Kabeln und Leitungsschnüren

Von *K. Locher*, Altdorf

539.557.08 : 621.315.2/.3

*Es wurde die Flexibilität als Kehrwert der Biegesteifigkeit E J definiert und ein Verfahren beschrieben, wie auf einfache Weise die Flexibilität gemessen werden kann. Für dünne, einfach aufgebaute Leiter, wie Litzen und Leitungsschnüre ist eine Näherungsmethode ausgearbeitet. Bei anderen Leitertypen, z. B. dickere Kabel, muss jeweils zuerst untersucht werden, ob sie mit dem Näherungsverfahren erfasst werden, ansonst für solche Fälle nach der exakten Methode vorgegangen werden muss. Am Schlusse sind einige Beispiele aus der Praxis aufgeführt.*

*La flexibilité est définie comme valeur réciproque de la rigidité à la flexion E J. Une méthode est décrite pour mesurer la flexibilité de manière simple. Une méthode approximative a également été élaborée pour des conducteurs minces, de construction simple, comme les fils de Litz et les cordons souples. Pour d'autres conducteurs, par exemple pour de gros câbles, on examinera d'abord, si la mesure peut se faire avec la méthode approximative, sinon on travaillera, dans de tels cas, d'après la méthode exacte. En conclusion, quelques exemples tirés de la pratique sont cités.*

## 1. Einleitung

In der Elektrotechnik, vorab im Apparatebau, kommt man häufig in die Lage, die Flexibilität eines elektrischen Leiters (Litze, Kabel Leitungsschnur u. dgl.) anzugeben. In Ermangelung einer brauchbaren und einfachen Messmethode behalf man sich bis jetzt in der Regel mit einem Vergleichsmuster, welches die gewünschte Flexibilität aufwies. Dieses Vorgehen ist oft unpraktisch und ungenügend genau, weil dabei grosse subjektive Fehler unterlaufen können. In der Folge wurde ein Verfahren ausgearbeitet, womit die Flexibilität von isolierten Leitern durch eine Masszahl ausgedrückt werden kann. Die entsprechende physikalische Grösse des Sinneseindruckes, welchen man bei einer Biegeprobe von Hand als Biegsamkeit empfindet, ist die Flexibilität $F$, definiert als Kehrwert einer Grösse $B$, welche die sog. Biegesteifigkeit angibt. Es sind einige Verfahren zur Bestimmung der Biegesteifigkeit bekannt[1]); diese Methoden sind aber auf Litzen u. dgl. nicht anwendbar.

## 2. Die Theorie der Flexibilitätsmessung

### *2.1 Die Flexibilität*

Die Flexibilität $F$ ist der Kehrwert der Biegesteifigkeit $B$, welche definiert ist als das Produkt des Elastizitätsmoduls $E$ und des Trägheitsmomentes $J$:

$$F = \frac{1}{B} = \frac{1}{EJ}$$

Wird ein Stab einseitig eingespannt und über seine Länge $l$ gleichmässig (z. B. durch sein Eigengewicht) belastet, dann biegt sich der Stab um (Fig. 1); im Koordinatensystem $(x, y)$ lautet die Differentialgleichung der elastischen Linie:

$$y''(x) = \frac{P}{2\,l\,E\,J}\,x^2$$

wobei $P$ die gleichmässig über den Stab verteilte Belastung bedeutet.

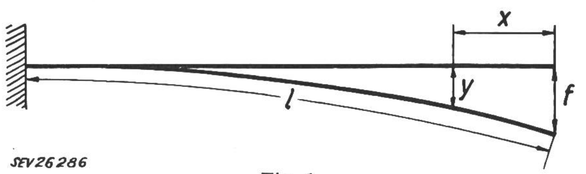


Fig. 1
Durchhang eines einseitig eingespannten elastischen Stabes unter einer über die Stablänge gleichmässig verteilten Last
$l$ Einspannlänge; $f$ Durchhang; $x$, $y$ Koordinaten

Zwei Integrationen führen zur Gleichung der elastischen Linie, welche ihrerseits mit der Stabachse praktisch identisch ist:

$$y(x) = \frac{P}{24\,l \cdot E\,J}\,(x^4 - 4\,l^3\,x + 3\,l^4)$$

worin $l$ Länge des Stabes von der Einspannstelle an und $P$ Belastung (z. B. Eigengewicht) bedeuten.

---

[1]) Prüf-Mess- und Kontrollgeräte-Lexikon, hg. u. bearb. v. Hans Hadert. 1. Aufl. Berlin: Hadert-Lexikon-Verlag 1954.

Die grösste Durchbiegung

$$f = y(0) = \frac{P\,l^3}{8\,E\,J}$$

beträgt demnach in diesem Fall

$$f = \frac{G\,l^3}{8\,B}$$

($G$ Leitergewicht)

und daraus

$$\frac{1}{B} = F = \frac{8f}{G\,l^3}$$

oder unter Verwendung des spezifischen Gewichtes $g$ (Leitergewicht $G$ pro Länge $l$):

$$F_{abs.} = \frac{8f}{g\,l^4} \tag{1}$$

worin

$$g = \frac{G}{l}$$

### 2.2 *Abweichungen*

Eine Litze (bzw. Kabel, Leitungsschnur u. dgl.) weicht in Ihrer Struktur vom idealisierten Stab ab, und zwar um so mehr, je flexibler sie ist. Gl. (1) muss deshalb eine leichte Änderung erfahren; zudem versteht sich das Gesetz in Gl. (1) nur für kleine Auslenkungen $f$ und muss demnach für grosse Auslenkungen noch in diesem Sinne korrigiert werden.

Versuche haben folgende brauchbare Näherungsformel für die *Flexibilität F* ergeben:

$$F = \frac{k\,f}{g\,l^{\alpha}} \tag{2}$$

wobei der Faktor $k$ zweckmässig als $10^5$ genommen wird. $\alpha$ ist eine Funktion von $F$ und liegt in der Regel zwischen 3,6 und 4,0.

Gl. (1) und (2) haben nur bei einer Zeit $t = \infty$ Gültigkeit, denn die maximale Auslenkung $f$ wird theoretisch erst nach $t = \infty$ erreicht. Unter Berücksichtigung der Zeitfunktion erhält man folgende brauchbare Formel:

$$F = \frac{k\,f}{g\,l^{\alpha}\,[1 - \exp(-\beta t)]} \tag{3}$$

worin $\beta$ Konstante des Prüflings und $t$ Zeit vom Moment des Durchhangbeginns an bedeuten.

Der Wert von $\beta$ ist für elastische Stoffe (wozu auch Litzen und Leiterschnüre zu zählen sind) meist sehr gross, für halbelastische (leicht plastische) Stoffe hingegen klein. Zur letzten Gruppe gehören z. B. die Isolierrohre (Bougierohre) und diverse mit Thermoplasten umspritzte Kabel.

Bei den Litzen und Leitungsschnüren ist $\beta$ so gross, dass der Ausdruck $[1 - \exp(-\beta t)]$ bereits nach etwa 1 min $\approx 1$ ist. Aus diesem Grund wird eine Wartezeit von 1 min bei der Messung vorgeschrieben (siehe auch 3.2).

Bei Isolierrohren liegt die Konstante $\beta$ in der Grössenordnung von 0,5 min$^{-1}$. Daraus lässt sich berechnen, dass der Endwert von $f$ nach 5 min Wartezeit beinahe erreicht ist. Die praktische Wartezeit muss von Fall zu Fall bestimmt werden, indem man die Zeit misst, nach welcher sich der Prüfling nicht mehr merklich senkt.

## 3. Messungen

### 3.1 *Messgerät*

Das Messgerät für die Messung der Flexibilität besteht aus einer ebenen Grundplatte und einer Einspannvorrichtung für den Prüfling (z. B. in Form eines Bohrfutters), welche um ihre horizontale Achse um 360° gedreht werden kann (Fig. 2). Mit Hilfe

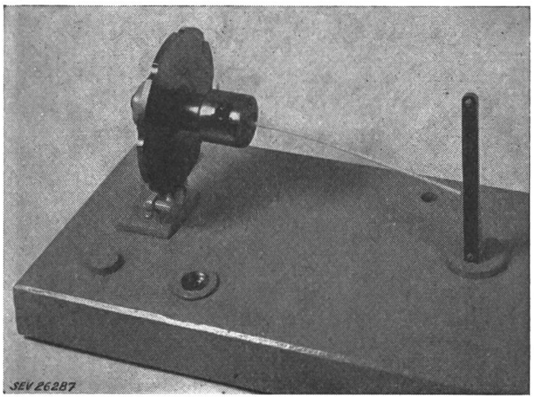


Fig. 2
Flexibilitätsmessgerät

eines auf der Grundplatte verschiebbaren Maßstabes wird der Durchhang $f$ des Prüflings gemessen. In den weitaus meisten Fällen weist ein Prüfling schon vor der Messung kleine Knickungen oder Verbiegungen auf, weshalb der Durchhang in 4 oder besser in 8 Lagen gemessen werden muss. Der Prüfling wird deshalb aus einer Messlage um 90°, bzw. 45° in die nächste Messlage gedreht. Die Resultate aller 4 bzw. 8 Messungen werden gemittelt. Die Messlagen können durch Einrasten einer Feder rasch gefunden werden.

Sollte kein Messgerät zur Verfügung stehen, so kann die Messung behelfsmässig an einer Drehbank vorgenommen werden.

### 3.2 *Messvorgang*

Das Einspannen des Prüflings in die horizontale Messeinrichtung muss ohne Quetschungen im Einspannfutter erfolgen. Der Prüfling wird in die Messlage 1 gebracht und nach einer festgelegten Zeit $t$ der Durchhang $f_1$ gemessen. Die Wartezeit richtet sich nach der Art des Prüflings (s. 2.3); für Litzen und Leitungsschnüre ist $t = 1$ min. Bei vorgeschriebenem $t$ wird an Stelle von Gl. (3) die Gl. (2) benützt. Nach der ersten Messung wird der Prüfling in die weiteren Messlagen gedreht und die entsprechenden Auslenkungen $f_n$ gemessen. Auslenkungen, welche wegen allfälliger Vordeformation des

Prüflings sich über der Drehachse befinden, sind mit negativen Vorzeichen zu versehen. Aus den gemittelten $n$ (4 bzw. 8) Messwerten ergibt sich der Durchhang $f$:

$$f = \frac{\Sigma f_n}{n}$$

Die Einspannlänge $l$ des Prüflings wird vom Einspannfutter gemessen (also ohne die Länge, welche sich im Einspannfutter befindet).

### *3.3 Bestimmung der Konstante $\alpha$*

Die Bestimmung der Konstante $\alpha$ soll für jede Art der Prüflinge einmal vorgenommen werden. $\alpha$ ist vom Aufbau des Leiterelementes (Litze, Kabel, Leitungsschnur, sowie andere Prüflinge, z. B. Isolierrohre usw.) abhängig.

Die Ermittlung von $\alpha$ kann auf folgende Arten geschehen:

*3.31 Graphische Methode.* Es werden zu verschiedenen Längen $l_n$ die dazu gehörenden Durchhänge $f_n$ eines Prüflings bestimmt und die Messwerte auf doppelt logarithmisches Koordinatenpapier aufgetragen und zwar auf der Abszisse die Längen und auf der Ordinate die entsprechenden Durchhänge. Die Messpunkte liegen auf einer Geraden, deren Neigung (Tangens) der Wert $\alpha$ ist (Fig. 3).

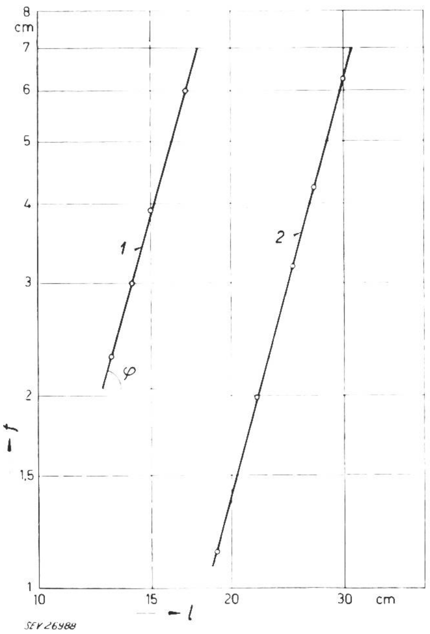


Fig. 3

**Graphische Darstellung zweier Messungen**

Durchhänge $f$ in Funktion der entsprechenden Einspannlängen $l$

1 $\text{tg}\,\varphi = \alpha = 3{,}60$; 2 $\text{tg}\,\varphi = \alpha = 3{,}75$

*3.32 Rechnerische Methode.* $l_1$ und $l_2$ seien zwei verschiedene Einspannlängen und $f_1$ und $f_2$ die entsprechenden Durchhänge. Den Wert von $\alpha$ berechnet man daraus nach Gl. (4):

$$\alpha = \frac{\log (f_1/f_2)}{\log (l_1/l_2)} \tag{4}$$

Mit Hilfe von $\alpha$ und Gl. (2) lässt sich die Flexibilität $F$ berechnen.

### *3.4 Berechnung der Flexibilität F nach einem Näherungsverfahren*

Die Bestimmung der Konstante $\alpha$ vor jeder Messung ist zeitraubend, vor allem, wenn es sich um Serienmessungen handelt. Bei Litzen und Leiterschnüren hat sich gezeigt, dass $\alpha$ von $F$ nach einer gewissen Gesetzmässigkeit abhängig ist. Die verschiedenen Aufbautypen der Litzen und Leiterschnüre weichen in der Regel nur wenig von dieser Gesetzmässigkeit ab, so dass bei solchen Leitern $F$ nach einem Näherungsverfahren bestimmt werden kann. Für andere Leitertypen, im besonderen für solche mit grossem Querschnitt, braucht die Gesetzmässigkeit nicht zu stimmen; in solchen Fällen muss $\alpha$ vorerst ermittelt werden (s. 3.3), wonach die Berechnung von $F$ mittels Gl. (2) erfolgt.

*3.41 Näherungsverfahren.* Sehr flexible Litzen weisen ein $\alpha$ von z. B. 3,6 auf, welches sich mit zunehmender Steifheit bis 4,0 vergrössern kann. Bei der Berechnung von $F$ kommt man deshalb nicht umhin, zuerst die Grössenordnung von $F$ (unter Annahme eines mittleren Wertes von $\alpha = 3{,}8$) zu ermitteln. Durch diese approximative Grösse $F'$ wird der für die Rechnung zu verwendende Wert von $\alpha$ bestimmt.

Wird die Flexibilität gemäss Gl. (1) in absoluten Einheiten ($\text{cm}^{-3}\,\text{g}^{-1}\,\text{s}^2$) angegeben, dann ergeben sich Masszahlen in der Grössenordnung von $10^{-2}...10^{-5}$. Es ist darum zweckmässig, ein um den Faktor $1{,}25 \cdot 10^4$ grösseres Mass einzuführen. Die Flexibilitätszahl soll zudem dimensionslos sein. Für diesen Fall gilt Gl. (2) mit $k = 10^5\,\text{cm}^{\alpha-1}\,\text{g}\,\text{s}^{-2}$.

Für Litzen, Leiterschnüre und ähnliche Leiterelemente gilt näherungsweise die Beziehung zwischen $\alpha$ und $F'$ gemäss Tabelle I.

*Beziehungen zwischen $\alpha$ und $F'$*

Tabelle I

| Approximative Flexibilität $F'$ | $\alpha$ |
|---|---|
| 0 bis und mit 1 . . . . . . . . | 4,0 |
| über 1 bis und mit 2 . . . . . . | 3,9 |
| über 2 bis und mit 10 . . . . . | 3,8 |
| über 10 . . . . . . . . . . . | 3,6 |

Die approximative Flexibilität $F'$ berechnet man (unter der Annahme von $\alpha = 3{,}8$) wie folgt:

$$F' = \frac{10^5 f}{g\,a} \tag{5}$$

worin $f$ Durchhang (gemittelt) [cm], $g$ Leitergewicht pro Längeneinheit [g/cm] bedeuten, $a = a\,(l)$ ist eine Hilfsgrösse, welche man der Tab. II entnehmen kann; sie ist von $l$ abhängig. Die eigentliche Flexibilitätszahl $F$ errechnet man nach Gl. (6):

$$F = b\,F' \tag{6}$$

Wobei der Korrekturfaktor $b$ je nach der Grösse von $F'$ aus Tab. II entnommen werden kann ($b = l^{3,8-\alpha}$).

*Korrekturfaktoren zur Berechnung der Flexibilitätszahl F*

Tabelle II

| $l$ cm | Hilfsgrösse $a$ | Korrekturfaktor $b$ $F' > 10$ | $2 < F' \leq 10$ | $1 < F' \leq 2$ | $F' \leq 1$ | $l$ cm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 7,0 | $1,62 \cdot 10^3$ | 1,48 | 1,00 | 0,82 | 0,68 | 7,0 |
| 7,5 | $2,11 \cdot 10^3$ | 1,50 | 1,00 | 0,82 | 0,67 | 7,5 |
| 8,0 | $2,69 \cdot 10^3$ | 1,52 | 1,00 | 0,81 | 0,66 | 8,0 |
| 8,5 | $3,40 \cdot 10^3$ | 1,54 | 1,00 | 0,81 | 0,65 | 8,5 |
| 9,0 | $4,23 \cdot 10^3$ | 1,56 | 1,00 | 0,80 | 0,64 | 9,0 |
| 9,5 | $5,19 \cdot 10^3$ | 1,57 | 1,00 | 0,80 | 0,64 | 9,5 |
| 10,0 | $6,31 \cdot 10^3$ | 1,59 | 1,00 | 0,80 | 0,63 | 10,0 |
| 10,5 | $7,60 \cdot 10^3$ | 1,60 | 1,00 | 0,79 | 0,62 | 10,5 |
| 11,0 | $9,06 \cdot 10^3$ | 1,61 | 1,00 | 0,79 | 0,62 | 11,0 |
| 11,5 | $1,07 \cdot 10^4$ | 1,63 | 1,00 | 0,78 | 0,61 | 11,5 |
| 12,0 | $1,26 \cdot 10^4$ | 1,64 | 1,00 | 0,78 | 0,61 | 12,0 |
| 12,5 | $1,47 \cdot 10^4$ | 1,66 | 1,00 | 0,77 | 0,60 | 12,5 |
| 13,0 | $1,71 \cdot 10^4$ | 1,67 | 1,00 | 0,77 | 0,60 | 13,0 |
| 13,5 | $1,97 \cdot 10^4$ | 1,68 | 1,00 | 0,77 | 0,59 | 13,5 |
| 14,0 | $2,27 \cdot 10^4$ | 1,69 | 1,00 | 0,77 | 0,59 | 14,0 |
| 14,5 | $2,59 \cdot 10^4$ | 1,70 | 1,00 | 0,77 | 0,59 | 14,5 |
| 15,0 | $2,95 \cdot 10^4$ | 1,71 | 1,00 | 0,76 | 0,58 | 15,0 |
| 15,5 | $3,34 \cdot 10^4$ | 1,73 | 1,00 | 0,76 | 0,58 | 15,5 |
| 16,0 | $3,76 \cdot 10^4$ | 1,74 | 1,00 | 0,76 | 0,57 | 16,0 |
| 16,5 | $4,23 \cdot 10^4$ | 1,75 | 1,00 | 0,75 | 0,57 | 16,5 |
| 17,0 | $4,74 \cdot 10^4$ | 1,76 | 1,00 | 0,75 | 0,57 | 17,0 |
| 17,5 | $5,29 \cdot 10^4$ | 1,77 | 1,00 | 0,75 | 0,56 | 17,5 |
| 18,0 | $5,89 \cdot 10^4$ | 1,78 | 1,00 | 0,75 | 0,56 | 18,0 |
| 18,5 | $6,54 \cdot 10^4$ | 1,79 | 1,00 | 0,75 | 0,56 | 18,5 |
| 19,0 | $7,23 \cdot 10^4$ | 1,80 | 1,00 | 0,74 | 0,56 | 19,0 |
| 19,5 | $7,98 \cdot 10^4$ | 1,81 | 1,00 | 0,74 | 0,55 | 19,5 |
| 20,0 | $8,79 \cdot 10^4$ | 1,82 | 1,00 | 0,74 | 0,55 | 20,0 |
| 20,5 | $9,65 \cdot 10^4$ | 1,83 | 1,00 | 0,74 | 0,55 | 20,5 |
| 21,0 | $1,06 \cdot 10^5$ | 1,84 | 1,00 | 0,74 | 0,54 | 21,0 |
| 21,5 | $1,16 \cdot 10^5$ | 1,85 | 1,00 | 0,74 | 0,54 | 21,5 |
| 22,0 | $1,26 \cdot 10^5$ | 1,86 | 1,00 | 0,73 | 0,54 | 22,0 |
| 22,5 | $1,38 \cdot 10^5$ | 1,86 | 1,00 | 0,73 | 0,54 | 22,5 |
| 23,0 | $1,50 \cdot 10^5$ | 1,87 | 1,00 | 0,73 | 0,54 | 23,0 |
| 23,5 | $1,62 \cdot 10^5$ | 1,88 | 1,00 | 0,73 | 0,53 | 23,5 |
| 24,0 | $1,76 \cdot 10^5$ | 1,89 | 1,00 | 0,73 | 0,53 | 24,0 |
| 24,5 | $1,90 \cdot 10^5$ | 1,90 | 1,00 | 0,72 | 0,53 | 24,5 |
| 25,0 | $2,05 \cdot 10^5$ | 1,91 | 1,00 | 0,72 | 0,52 | 25,0 |
| 25,5 | $2,21 \cdot 10^5$ | 1,91 | 1,00 | 0,72 | 0,52 | 25,5 |
| 26,0 | $2,38 \cdot 10^5$ | 1,92 | 1,00 | 0,72 | 0,52 | 26,0 |
| 26,5 | $2,56 \cdot 10^5$ | 1,93 | 1,00 | 0,72 | 0,52 | 26,5 |
| 27,0 | $2,75 \cdot 10^5$ | 1,93 | 1,00 | 0,72 | 0,52 | 27,0 |
| 27,5 | $2,95 \cdot 10^5$ | 1,94 | 1,00 | 0,72 | 0,52 | 27,5 |
| 28,0 | $3,16 \cdot 10^5$ | 1,95 | 1,00 | 0,72 | 0,51 | 28,0 |
| 28,5 | $3,38 \cdot 10^5$ | 1,95 | 1,00 | 0,72 | 0,51 | 28,5 |
| 29,0 | $3,61 \cdot 10^5$ | 1,96 | 1,00 | 0,71 | 0,51 | 29,0 |
| 29,5 | $3,85 \cdot 10^5$ | 1,97 | 1,00 | 0,71 | 0,51 | 29,5 |
| 30,0 | $4,10 \cdot 10^5$ | 1,98 | 1,00 | 0,71 | 0,51 | 30,0 |

### *3.5 Beispiele aus der Praxis*

In der Folge sollen zwei Messungen ausgewertet werden und zwar von einer blanken Litze $18 \times 0{,}50$, sowie von einer flexiblen Ader nach den Vorschriften des SEV mit PVC-Isolation, 1,0 mm² Querschnitt, $57 \times 0{,}15$.

*3.51 Flexible Ader mit PVC-Isolation, 1,0 mm² — 57 × 0,15.* Die Messwerte sind aus Tab. III ersichtlich.

*Messwerte*

Tabelle III

| $l$ cm | $f$ cm |
|---|---|
| 17 | 6,00 |
| 15 | 3,85 |
| 14 | 3,00 |
| 13 | 2,30 |

Das spezifische Litzengewicht beträgt $g = 0{,}137$ g/cm. $f$ wurde jeweils aus 4 Messlagen gemittelt.

Die Bestimmung von $\alpha$:

Aus dem Diagramm der Fig. 2, Kurve *1*, ist $\operatorname{tg} \varphi = \alpha = 3{,}6$.

Nach Gl. (4) ist

$$\alpha = \frac{\log (6{,}00/3{,}00)}{\log (17/14)} = 3{,}6$$

Die Berechnung von $F$ nach Gl. (2) ergibt:

$$F = \frac{10^5 \cdot 6{,}00}{0{,}137 \cdot 17^{3,6}} = 163$$

Die Berechnung von $F$ nach dem Näherungsverfahren ergibt:

$$F' = \frac{10^5 \cdot 6{,}00}{0{,}137 \cdot 4{,}74 \cdot 10^4} = 92{,}4$$

$$F = 1{,}76 \cdot 92{,}4 = 163$$

*3.52 Blanke Litze 18 × 0,50.* Die Messwerte sind aus Tab. IV ersichtlich.

*Messwerte*

Tabelle IV

| $l$ cm | $f$ cm |
|---|---|
| 30 | 6,25 |
| 27 | 4,22 |
| 25 | 3,19 |
| 22 | 1,99 |
| 19 | 1,14 |
| 19[1]) | 1,14[1]) |

[1]) Kontrollmessung

Das spezifische Litzengewicht beträgt $g = 0{,}316$ g/cm; $f$ wurde jeweils aus 4 Messlagen gemittelt.

Die Bestimmung von $\alpha$:

Aus dem Diagramm der Fig. 2, Kurve 2, ist

$$\operatorname{tg} \varphi = \alpha = 3{,}75$$

Nach Gl. (2) ergibt:

$$\alpha = \frac{\log (6{,}25/1{,}14)}{\log (30/19)} = \approx 3{,}75$$

Die Berechnung von $F$ nach Gl. (2) ergibt:

$$F = \frac{10^5 \cdot 6{,}25}{0{,}316 \cdot 30^{3,75}} = 5{,}7$$

Die Berechnung von $F$ nach dem Näherungsverfahren ergibt:

$$F' = \frac{10^5 \cdot 6{,}25}{0{,}316 \cdot 4{,}10 \cdot 10^5} = 4{,}8$$

$$F = 1{,}00 \cdot 4{,}8 = 4{,}8$$

Beim Näherungsverfahren wird $\alpha = 3{,}8$ vorausgesetzt (s. Tab. I); in Wirklichkeit beträgt der Wert von $\alpha = 3{,}75$. Dies ist der Grund der Abweichung beider Flexibilitätswerte. In der Praxis fallen solche Abweichungen nicht ins Gewicht.

*Vergleichswerte der Flexibilität verschiedener Leiter*

Tabelle V

| Querschnitt des Leiters mm² | Aussen-durchmesser des Leiters mm | Aufbau des Leiters | *F* |
|---|---|---|---|
| 0,75 | | 42 × 0,15 blank | 360 |
| 0,75 | | 42 × 0,15 mit Baumwolle umsponnen | 340 |
| 0,75 | 2,60 | 42 × 0,15 mit Gummiisolation | 222 |
| 1,00 | | 57 × 0,15 blank | 300 |
| 1,00 | | 57 × 0,15 mit Baumwolle umsponnen | 265 |
| 1,00 | 2,70 | 57 × 0,15 mit Gummiisolation | 135 |
| 1,50 | 3,45 | 48 × 0,20 mit Gummiisolation | 71 |
| 2,50 | 4,30 | 50 × 0,25 mit Gummiisolation | 22 |
| 3,50 | | 18 × 0,50 blank | 4,8 |
| 1,0 | | 32 × 0,20 blank | 173 |
| 0,50 | | 28 × 0,15 blank | 518 |
| 0,75 | | 385 × 0,05 blank | 1870 |
| 0,25 | | 126 × 0,05 blank | 5460 |
| 95 | | Schweisskabel, Typ C | 0,15 |

*3.53 Einige Vergleichswerte.* Die Flexibilitätswerte wurden mit Hilfe des Näherungsverfahrens ermittelt.

*3.54 Flexible Leiter mit Gummiisolation, 1,5 mm² — 48 × 0,20.* Die Messung der Flexibilität wurde unabhängig voneinander von drei Prüfpersonen A, B und C nach dem Näherungsverfahren vorgenommen. Dabei wurden folgende Messergebnisse erzielt:

A: 68,7 — 66,5 — 68,2 — 65,6
B: 65,2 — 64,0
C: 68,4 — 65,5

Die Streuungen sind zur Hauptsache auf kleine Unregelmässigkeiten, welche bei der Fabrikation der Leiter entstanden sind, zurückzuführen. Die Abweichungen der Resultate, welche von den verschiedenen Prüfpersonen am *gleichen* Prüfling ermittelt wurden, sind um etwa eine Grössenordnung kleiner.

**Adresse des Autors:**
*K. Locher*, Dipl. Physiker ETH, Dätwyler A.-G., Altorf-Uri.

# Vielkanalsysteme längs koaxialer Kabel

Vortrag, gehalten an der 21. Hochfrequenztagung des SEV vom 15. November 1957 in Zürich

von *J. Bauer*, Bern

621.315.212

*Die Entwicklung von Übertragungssystemen für koaxiale Kabel, die sowohl für den Telephonie- als auch für den Fernsehbetrieb geeignet sind, erfolgt nach den Empfehlungen des CCITT und des CCIR. Die entsprechenden Bezugssysteme liefern die unerlässlichen Grundlagen. Das beschriebene 12-MHz-System muss in der Lage sein, gleichzeitig 2700 Gespräche, oder 1200 Gespräche und 1 Fernsehprogramm übertragen zu können. Der Entwurf der notwendigen Linienverstärker ist auf die Geräuschbedingungen abgestimmt. Beim Austausch von Fernsehprogrammen spielen neben den Dämpfungs- die Laufzeiteigenschaften des Übertragungspfades die entscheidende Rolle.*

*Le développement des systèmes de transmission par câbles coaxiaux capables de transmettre soit des signaux de téléphonie, soit de télévision se base sur les recommandations du CCITT et du CCIR. Les circuits de référence fournissent les données fondamentales nécessaires. Le système à 12 MHz décrit doit être en mesure de procurer à la fois soit 2700 voies téléphoniques, soit 1200 voies téléphoniques plus un circuit de télévision. Les conditions relatives au bruit de fond fixent les caractéristiques des amplificateurs de ligne. Outre l'affaiblissement composite d'une ligne, le temps de propagation de groupe joue le rôle déterminant dans la transmission des signaux de télévision.*

## 1. Einleitung

Wie jedes Trägerfrequenzsystem besteht auch ein Vielkanalsystem im Sinne der Shannonschen Nachrichtentheorie pro Übertragungsrichtung aus einer Sendeeinrichtung, einem Übertragungssystem, einer Empfangsschaltung und einer dieser zugeordneten Geräuschquelle. Sie tritt an die Stelle der effektiv längs des ganzen Systems verteilten, individuellen Teilquellen. Diese Konzeption kennzeichnet die Gesichtspunkte, nach denen moderne Systeme gebaut werden müssen.

Während die fundamentalen Eigenschaften der über sie vermittelten Telephonieverbindungen, wie übertragenes Frequenzband, Restdämpfung, Klirrfaktor, Laufzeit usw., durch die Endausrüstungen bestimmt werden, ist die erwähnte Geräuschquelle im wesentlichen eine Funktion des Übertragungspfades. Er muss deshalb so ausgelegt werden, dass diese Quelle am Ende eines jeden Kanals eine Geräuschleistung erzeugt, die einen gegebenen Wert im Mittel gerade erreicht. Wird er überschritten, so ist das System technisch ungenügend dimensioniert; wird er dauernd unterschritten, so ist es, wirtschaftlich gesehen, nicht optimal ausgenützt.

In Trägerfrequenzsystemen bestehen die Sende- und Empfangseinrichtungen oder Endausrüstungen, wie sie auch bezeichnet werden, aus Frequenzverschiebungsgeräten, die es gestatten, ein gegebenes Signal beliebig auf der Frequenzskala zu verschieben. Die Übertragungsmittel sind im allgemeinen nicht reine Kabel- oder Richtstrahlstrecken, sondern werden je nach Aufbau des Netzes des öftern ebenfalls durch Frequenzverschiebungseinheiten unterbrochen, da es aus betrieblichen Gründen notwendig werden kann, Telephoniesignale auf ihrem Wege zwischen Quelle und Bestimmungsort in verschiedenen Frequenzlagen zu übertragen.

Bei der heutigen Vielgestaltigkeit des nationalen und des internationalen Telephonnetzes kann kein Übertragungstechniker, der vor die Aufgabe gestellt wird, Teile komplizierter Vielkanalsysteme zu entwerfen, wissen, wie seine Konstruktionen tatsächlich eingesetzt werden. Er weiss nicht, welche Länge einmal eine über sie vermittelte Verbindung haben