

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**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-1059720>

### **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:** 22.02.2026

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

propre à cette cellule, l'air s'échappe, faisant tomber la pression au-dessous de 1 kg/cm<sup>2</sup>. Cette baisse de pression entraîne l'ouverture automatique de la vanne principale d'admission d'eau sous pression de 12 kg/cm<sup>2</sup>. 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/cm<sup>2</sup>.

#### 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 mm<sup>2</sup>. Deux câbles de protection en acier, d'une section de 86 mm<sup>2</sup> «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  $EJ$  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  $EJ$ . 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 behelft 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 Sinnesindrucks, 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<sup>1)</sup>; 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  $J$ :

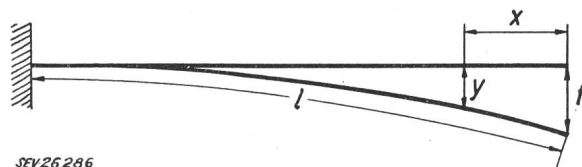
<sup>1)</sup> Prüf-Mess- und Kontrollgeräte-Lexikon, hg. u. bearb. v. Hans Hadert. 1. Aufl. Berlin: Hadert-Lexikon-Verlag 1954.

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

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:

$$y''(x) = \frac{P}{2lEJ} x^2$$

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



SEV 26 286

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:

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

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

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

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

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

$$F_{abs.} = \frac{8 f}{g l^4} \quad (1)$$

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:

$$F = \frac{k f}{g l^\alpha} \quad (2)$$

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:

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

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  $1 \text{ min} \approx 1$  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  $0,5 \text{ min}^{-1}$ . 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  $360^\circ$  gedreht werden kann (Fig. 2). Mit Hilfe

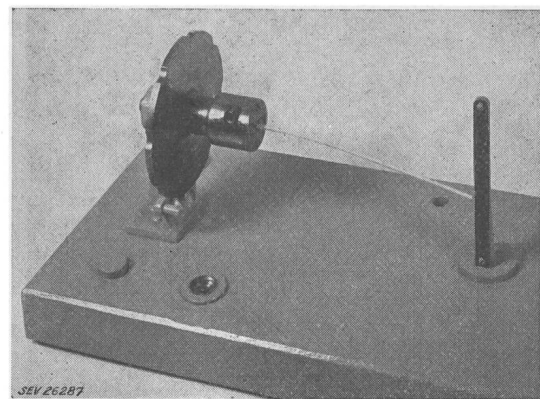


Fig. 2

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  $90^\circ$ , bzw.  $45^\circ$  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  $t = 1 \text{ min}$ . 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  $f$ :

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

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).

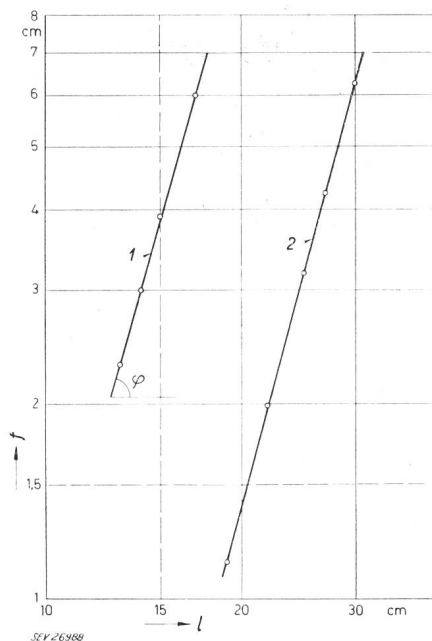


Fig. 3

Graphische Darstellung zweier Messungen  
Durchhänge  $f$  in Funktion der entsprechenden  
Einspannlängen  $l$

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

**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):

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

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  $10^{-2} \dots 10^{-5}$ . Es ist darum zweckmässig, ein um den Faktor  $1,25 \cdot 10^4$  grösseres Mass einzuführen. Die Flexibilitätsszahl soll zudem dimensionslos sein. Für diesen Fall gilt Gl. (2) mit  $k = 10^5 \text{ cm}^{\alpha-1} \text{g s}^{-2}$ .

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:

$$F' = \frac{10^5 f}{g a} \quad (5)$$

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 Flexibilitätsszahl  $F$  errechnet man nach Gl. (6):

$$F = b F' \quad (6)$$

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 Flexibilitätzahl  $F$   
Tabelle II

$l$ cm	Hilfsgrösse $a$	Korrekturfaktor $b$				$l$ cm
		$F' > 10$	$2 < F' \leq 10$	$1 < F' \leq 2$	$F' \leq 1$	
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,  $1,0 \text{ mm}^2$  Querschnitt,  $57 \times 0,15$ .

**3.51 Flexible Ader mit PVC-Isolation,  $1,0 \text{ mm}^2$  —  $57 \times 0,15$ .** 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  $g = 0,137 \text{ g/cm}$ .  $f$  wurde jeweils aus 4 Messlagen gemittelt.

Die Bestimmung von  $\alpha$ :

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

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  $18 \times 0,50$ .** 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 <sup>1)</sup>	1,14 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Kontrollmessung

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

Die Bestimmung von  $\alpha$ :

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

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

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 mm <sup>2</sup>	Aussen- durchmesser des Leiters mm	Aufbau des Leiters	F
0,75	2,60	42 × 0,15 blank	360
0,75		42 × 0,15 mit Baumwolle umsponnen	340
0,75		42 × 0,15 mit Gummiisolation	222
1,00	2,70	57 × 0,15 blank	300
1,00		57 × 0,15 mit Baumwolle umsponnen	265
1,00		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 mm<sup>2</sup> — 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 Übertragungspfadens 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 Übertragungspfadens. 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 Send- 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