

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

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

**Band:** 61 (1970)

**Heft:** 6

**Artikel:** Kurzschlussbeanspruchung von Bündelleitern in Hochspannungsanlagen

**Autor:** Zurbriggen, R.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-915925>

#### **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:** 20.02.2026

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

# Kurzschlussbeanspruchung von Bündelleitern in Hochspannungsanlagen

Von R. Zurbriggen, Baden

581-594

621.315.145:621.316.5.064.1

Im Gegensatz zu den Einfachleitern treten bei Bündelleitern im Kurzschlussfall nicht nur Kraftwirkungen auf, die durch Stromschleifen und durch Beeinflussung der Nachbarphasen bedingt sind, sondern auch durch die magnetische Anziehung der Teilleiter selber. Durch diese Anziehung der Teilleiter tritt eine effektive Verkürzung des Bündels ein, was eine Erhöhung der Seilzugspannung zur Folge hat. Um diese Zugspannungserhöhung so klein wie möglich halten zu können, sollten die Distanzen zwischen den Abstandhaltern eine bestimmte Länge nicht überschreiten.

Il se produit dans les faisceaux de conducteurs, en opposition aux faisceaux simples, au moment d'un court-circuit, non seulement des effets de forces dûs à des circuits de courant et à l'influence de phases voisines, mais aussi des effets de forces conditionnés par l'attraction magnétique des conducteurs partiels eux-mêmes. Du fait de l'attraction des conducteurs partiels une diminution effective des faisceaux se manifeste. Le résultat en est une augmentation de la tension de câble. Pour que l'augmentation de la tension de traction puisse être réduite à un minimum, les distances entre les supports d'écartement ne devraient pas dépasser une longueur déterminée.

## 1. Allgemeines

Die Steigerung der Strombelastung von Sammelschienen und Geräten führt in Freiluftschaltanlagen immer häufiger zur Verwendung von Zwei- und Mehrfach-Seilen. Mit dem Anwachsen der Strombelastung und dem stets weiter vorangetriebenen Zusammenschluss der Netze werden die Kurzschlussleistungen, die in solchen Anlagen auftreten können, immer grösser. Die Kraft- und Wärmewirkungen von diesen hohen Kurzschlussströmen, die mindestens mit dem Quadrat der Stromstärke wachsen können, führen zu enormen Beanspruchungen aller Anlageteile.

Im Gegensatz zu den Einfachleitern treten bei Bündelleitern im Kurzschlussfall nicht nur Kraftwirkungen auf, die durch Stromschleifen und durch Beeinflussung der Nachbarphasen bedingt sind, sondern auch durch die magnetische Anziehung der Teilleiter selber.

Ziel dieser Untersuchung ist, Auswirkungen dieser verschiedenen Kräfte mittels einfacher Formeln rechnerisch annähernd zu bestimmen und auch Wege und Mittel aufzuzeigen, die Kurzschlusskräfte auf ein Minimum zu beschränken.

## 2. Dynamische Kurzschlusskräfte, hervorgerufen durch Teilleiteranziehung

Die magnetischen Kräfte von Strömen gleicher Richtung ziehen Einzelseile eines Bündelleiters entsprechend den statischen und dynamischen Verhältnissen zusammen. Durch diese Anziehung der Teilleiter und ihre Auslenkung in Richtung des geometrischen Schwerpunktes der Bündelleiteranordnung tritt eine effektive Verkürzung des Bündels ein. Diese Seilverkürzung wird durch Verkleinerung des Durchhangs und durch die elastische Dehnung der Seile und der Aspannlemente ausgeglichen. Damit wird aber eine Erhöhung der Seilzugspannung erzeugt, was eine grössere Beanspruchung der

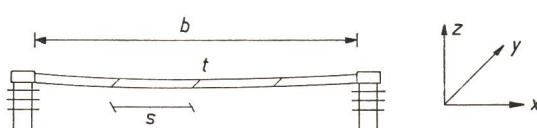


Fig. 1

Waagrechtes Zweierbündel mit Abstandhalter und Aspannstellen  
b Spannweite; t Teilleiterabstand; s Teilleiterlänge; x, y, z Koordinatenachsen

Isolatoren, Armaturen, Hochgerüste und übrigen Anlageteile zur Folge hat.

Die Grösse dieser Seilzugerhöhung hängt u. a. von folgenden Faktoren ab:

- a) Statische Seilzugkraft;
- b) Grösse, Form und Dauer des Kurzschlussstromes;
- c) Technische Daten der Teilleiter;
- d) Durchhang;
- e) Spannweite;
- f) Teilleiterabstand;
- g) Teilleiterlänge;
- h) Umgebungstemperatur.

Die rechnerische Behandlung dieses Vorganges führt zu einem System von Differentialgleichungen, deren analytische Lösung nicht möglich ist. Um wenigstens Anhaltspunkte von der praktischen Seite her zu erhalten, wurden systematische Kurzschlussversuche durchgeführt [1; 2]<sup>1)</sup>, doch bleiben diese

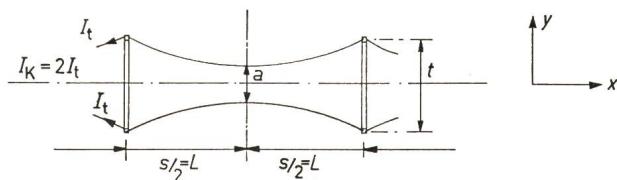


Fig. 2

Teilstück eines Zweierbündels zwischen zwei Abstandhaltern

a minimaler Abstand zwischen den Teilleitern; L kontaktfreie Länge der Teilleiter;  $I_K$  Kurzschlussstrom;  $I_t$  Kurzschlussstrom pro Teilleiter

Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 1

naturgemäß auf einzelne Fälle beschränkt, so dass daraus keine allgemeinen Schlüsse gezogen werden können.

Für die Projektierung von Schaltanlagen mit Bündelleitern ist die genaue Kenntnis des kompletten dynamischen Vorganges während eines Kurzschlusses von geringerer Bedeutung. Viel wichtiger ist die Kenntnis der an den Aspann- bzw. Verbindungsstellen maximal auftretenden Seilzugkräfte. Entsprechend diesen Werten können sämtliche Anlageteile in bezug auf ihre Festigkeit dimensioniert werden.

Zur Ermittlung der maximalen Seilzugkräfte wird dieses dynamische Problem auf ein statisches zurückgeführt, so dass die Trägheitskräfte mit der Masse  $m$ , die Beschleunigung und

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

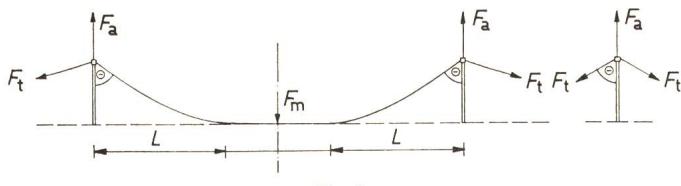


Fig. 3

**Zug- und Druckbeanspruchung eines Teilleiters in einem Teifeld bei Berücksichtigung der magnetischen Anziehungskraft, mit Seilberührung**

$F_a$  Reaktionskraft auf die Abstandhalter;  $F_m$  elektromagnetische Anziehungskraft;  $F_t$  totale Seilzugkraft

Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 2

die Rückstellkraft für unsere Betrachtung wegfallen.

In folgender vereinfachter Rechenmethode [1] wird die totale Seilzugkraft an den Aspannstellen einerseits mittels der Gesetze der Elektrotechnik, anderseits mittels der Gesetze der Mechanik bestimmt.

Es sei hier ein waagrechtes Zweierbündel betrachtet, wobei jedoch die gleichen Überlegungen auch für Mehrfachbündel gemacht werden können (Fig. 1 und 2).

**2.1 Verwendete Buchstabensymbole**

$F_t$	totale Seilzugkraft (kp)
$F_s$	statische Seilzugkraft (kp)
$F_d$	dynamische Seilzugkraft (kp)
$F_e$	elastische Dehnungskraft (kp)
$F_m$	elektromagnetische Anziehungskraft (kp)
$F_a$	Reaktionskraft auf die Abstandhalter (kp)
$G$	Gewicht der Teilleiter pro Meter (kg)
$A$	Querschnitt pro Teilleiter ( $\text{mm}^2$ )
$E$	Elastizitätsmodul der Teilleiter ( $\text{kp/mm}^2$ )
$I_k$	Kurzschlußstrom (3phas. sym. Effektivwert) (kA)
$I_t$	Kurzschlußstrom pro Teilleiter (3phas. sym. Effektivwert) (kA)
$c$	Phasenabstand (m)
$t$	Teilleiterabstand (m)
$b$	Spannweite (m)
$n$	Anzahl Teifeldlängen
$s$	Teifeldlänge (m)
$L$	Kontaktfreie Länge der Teilleiter pro halbes Teifeld (m)
$\Delta L$	Verlängerung der Teilleiter pro halbes Teifeld (m)
$a$	minimaler Abstand zwischen den Teilleitern (m)
$P$	Parabelparameter (Abstand: Brennpunkt-Leitlinie) (m)
$\theta$	Winkel zwischen Abstandhalter und Teilleiter (Grad)
$K$	Systemkonstante
$t_i$	Zeitdauer für Seilberührung (s)
$t_k$	Kurzschlussdauer (s)
$t_{\max}$	Zeitdauer für Auftreten der maximalen Seilzugkraft (s)
$h$	Steighöhe (m)
$f$	Seildurchhang (m)
$x$	horizontale Auslenkung der Bündelleiter zwischen den Phasen (m)
$y$	vertikale Auslenkung der Bündelleiter zwischen den Phasen (m)

pro Teilleiter

**2.2 Erster Berechnungsgang**

In einem ersten Berechnungsgang wird zur Bestimmung der maximalen Seilzugkraft nur die magnetische Anziehungskraft, welche zwischen den Teilleitern auftritt, berücksichtigt. Die statische Seilzugkraft sowie die Seildehnung werden vorerst ausser Betracht gelassen.

Zusätzlich werden folgende Annahmen bzw. Vereinfachungen getroffen:

- Die Spannweite der Bündelleiter wird durch eine Anzahl Abstandhalter in gleichgrosse Teifeldlängen aufgeteilt.
- Die parabelförmig durchhängenden Bündelleiter werden als Polygonzug aufgefasst, wobei die Ecken durch die Abstandhalter gebildet werden.
- Die Teilleiter biegen sich bei Bündelleiteranziehung bei den Abstandhaltern scharf um.
- Die Kräfte in den einzelnen Teifeldlängen halten sich das Gleichgewicht, so dass die totalen Seilzugkräfte, welche an den Aspann- bzw. Verbindungsstellen der Bündelleiter auftreten, gleich

gross sind, wie sie an den Enden der einzelnen Teifeldlängen angreifen. Es wird daher für die Berechnungen nur ein Teifeld betrachtet.

e) Die Gleichgewichtsbedingungen für ein Teifeld werden für die  $xy$ -Ebene aufgestellt. Die Kräfte in der  $z$ -Ebene werden nicht berücksichtigt (Seilgewicht, Verkleinerung des Durchhangs).

f) Der Verlauf der Teilleiter innerhalb eines Teifeldes wird annäherungsweise bei Bündelleiteranziehung durch folgende Parabelgleichung dargestellt:

$$t(x) = \frac{x^2}{2p} + a$$

g) In den Berechnungen wird nicht der Stosskurzschlußstrom zur Ermittlung der maximalen Anziehungskraft, sondern nur der Dauerkurzschlußstrom berücksichtigt.

h) Die Teilleiter werden in jedem Fall von gleich grossen Strömen durchflossen.

**2.3 Gleichgewichtsbedingungen**

$$F_y = 0$$

$$F_y = F_m + F_t \cos \theta + F_t \cos \theta - F_a - F_a = 0$$

$$F_x = 0$$

$$F_x = F_t \sin \theta - F_t \sin \theta = 0$$

Aus Fig. 3 ist:

$$F_a = 2 F_t \cos \theta$$

$$F_y = F_m + 2 F_t \cos \theta - 4 F_t \cos \theta = 0$$

$$F_t = \frac{F_m}{2 \cos \theta} \quad (1)$$

Die Anziehungskraft  $F_m$  (Stosskraft) wird aus dem Biot-Savartschen Gesetz bestimmt.

$$F_m = \frac{2,04 I_t^2 L}{10^2 t}$$

Für ein Leiterelement:

$$dF_m = \frac{2,04 I_t^2 dx}{10^2 t(x)} = \frac{2,04 I_t^2}{10^2} \frac{dx}{\frac{x^2}{2p} + a}$$

Von  $-L$  bis  $+L$  integriert:

$$F_m = \frac{5,75 K I_t^2}{10^2} \sqrt{\frac{p}{a}} \arctan \sqrt{\frac{L^2}{2pa}} \text{ (kp)}$$

$$F_t = \frac{5,75 K I_t^2}{2 \cos \theta \cdot 10^2} \sqrt{\frac{p}{a}} \arctan \sqrt{\frac{L^2}{2pa}}$$

Unbestimmt in dieser Gleichung ist neben der totalen Seilzugkraft  $F_t$  die kontaktfreie Länge  $L$ , sofern sich die Teilleiter berühren (Fig. 3), und  $a$ , sofern die Teilleiter keine gemeinsame Berührungsstelle haben (Fig. 4). Zur Lösung dieser Unbekannten ist daher eine zweite Gleichung nötig.

**2.4 Zweiter Berechnungsgang**

In diesem zweiten Berechnungsgang wird unter Vernachlässigung der magnetischen Anziehungskraft nur die Seildehnung

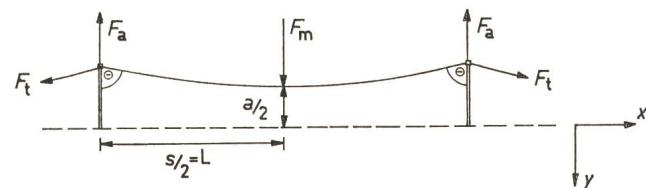


Fig. 4  
Gleich wie Fig. 3, aber ohne Seilberührung

Bezeichnungen siehe Fig. 1, 2 und 3

nung und die statische Seilzugkraft für die Bestimmung der totalen Seilzugkraft in Betracht gezogen. Dabei werden neben den Vereinfachungen, wie sie im ersten Berechnungsgang unter lit. a...e aufgeführt wurden, zusätzlich folgende Annahmen getroffen.

j) Der Verlauf der Teilleiter innerhalb eines Teilfeldes entspricht einer gebrochenen Geraden, wobei der Übergang von der kontaktfreien Zone zur Berührungszone eckig erfolgt (Fig. 5).

k) Eine Seildehnung wird nur in der kontaktfreien Zone angenommen, während das Seil in der Berührungszone sowie die Abspannelemente bzw. Verbindungsstellen als unelastisch betrachtet werden.

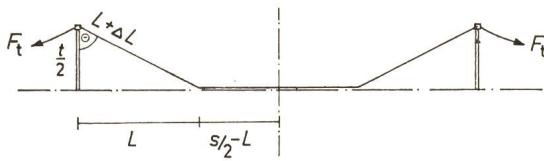


Fig. 5

Angenommener Verlauf eines Teilleiters in einem Teilfeld bei Berücksichtigung der magnetischen Anziehungs- kraft

Bezeichnungen siehe Fig. 3

Aufgrund dieser Voraussetzungen setzt sich die totale Seilzugkraft aus der Summe der statischen Seilzugkraft und der Seildehnungskraft zusammen:

$$F_t = F_s + F_e \quad (2)$$

$$F_e = \frac{EA(2\Delta L)}{s} \quad (\text{Hooke'sches Gesetz})$$

$$\Delta L = \sqrt{L^2 + \left(\frac{t}{2}\right)^2} - L \quad (\text{nach Pythagoras})$$

Bei Seilberührung:

$$F_t = F_s + \frac{2EA}{s} \left[ \sqrt{L^2 + \left(\frac{t}{2}\right)^2} - L \right]$$

$$\cos \theta = \frac{t}{2(L + \Delta L)}$$

Ohne Seilberührung:

$$F_t = F_s + \frac{2EA}{s} \left[ \sqrt{\left(\frac{s}{2}\right)^2 + \left(\frac{t-a}{2}\right)^2} - \frac{s}{2} \right]$$

$$\cos \theta = \frac{t-a}{s+2\Delta L}$$

Die Unbekannte  $L$  bzw.  $a$  wird aus den Gl. (1) und (2) bestimmt.

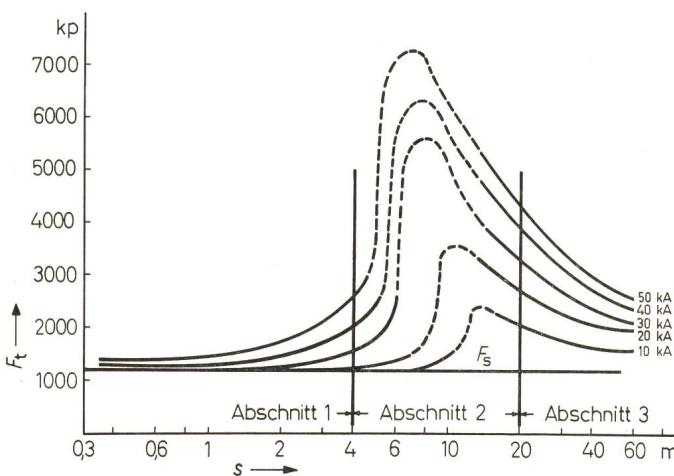


Fig. 6

Totale Seilzugkraft  $F_t$  pro Teilleiter in Funktion der Teilfeldlänge  $s$   
Parameter: Kurzschlussstrom  $I_k$  ( $t = 400$  mm,  $F_s = 1200$  kp);  $F_s$  statische Seilzugkraft

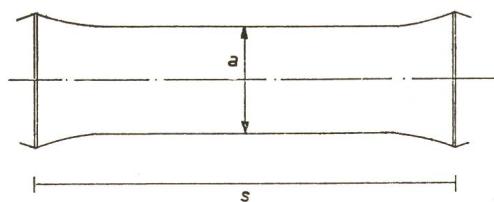


Fig. 7

Verlauf eines Teilleiters in einem Teilfeld, für Teilfeldlängen von 0 bis  $\approx 4$  m  
 $I_k \geq 30$  kA;  $t = 400$  mm;  $F_s = 1200$  kp;  $s$  Teilfeldlänge;  $a$  minimaler Abstand zwischen den Teilleitern

Da Gl. (1) transzendenten Charakter hat, müssen die Unbekannten  $L$  bzw.  $a$  auf iterativem Wege bestimmt werden.

Bei 220-kV- und 380-kV-Freileitungen werden in neuster Zeit für Bündelleiter Seildurchmesser von ca. 30 mm bevorzugt. Aus Diskussionen, welche anlässlich der CIGRE-Tagung im August 1968 in Paris im CE 23 geführt wurden, ergab sich, dass es günstig wäre, für das Verhältnis Teilleiterabstand/Seildurchmesser einen Wert von ca. 15 einzuhalten. Aus diesen Gründen wurden die Berechnungen für Aldrey-Seile von 550 mm<sup>2</sup> [6] und für einen Teilleiterabstand von 400 mm durchgeführt. Dabei wurden folgende zwei typische Fälle unterschieden:

- Sammelschienen, welche zwischen zwei Masten mit einer statischen Zugkraft von 1200 kp pro Teilleiter angespannt sind;
- Bündelleiter, welche für die Verbindung zwischen den Geräten dienen, mit einer statischen Zugkraft von 100 kp pro Teilleiter.

In Fig. 6 sind die totalen Seilzugkräfte  $F_t$  in Funktion der Teilfeldlängen  $s$  für eine statische Zugkraft von 1200 kp auf-

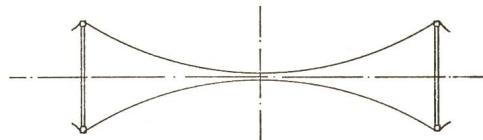


Fig. 8  
Gleich wie Fig. 7, aber für Teilfeldlängen von  $\approx 4 \dots 20$  m

gezeichnet. Dieses Diagramm kann für Kurzschlussströme  $\geq 30$  kA in drei typischen Abschnitte aufgeteilt werden:

#### Abschnitt 1:

Für Teilfeldlängen von 0 bis ca. 4 m ist die Zugkrafterhöhung bei einem Kurzschluss klein. In diesem Fall tritt keine Seilberührung ein. Der Teilleiterabstand ist über die ganze Teilfeldlänge gross, so dass die Anziehungs- kraft klein bleibt (Fig. 7)  $[F_m = f\left(\frac{1}{t}\right)]$ .

#### Abschnitt 2:

Für Teilfeldlängen von ca. 4...20 m beträgt die Zugkrafterhöhung ein Mehrfaches der statischen Zugkraft. In diesem Fall erfolgt eine Seilberührung. Der Teilleiterabstand nimmt von den Enden des Teilfeldes gegen die Mitte zu rasch ab, so dass die Anziehungs- kraft gross wird (Fig. 8).

#### Abschnitt 3:

Für Teilfeldlängen grösser als 20 m beträgt die Zugkrafterhöhung ungefähr das Doppelte der statischen Zugkraft. Auch in diesem Fall erfolgt eine Seilberührung, jedoch ist die gemeinsame Länge der Seilberührung, welche keinen Beitrag für die Anziehungs- kraft mehr liefert, gross (Fig. 9).

In Fig. 10 sind die totalen Seilzugkräfte in Funktion der Teilfeldlänge für eine statische Seilzugkraft von 100 kp aufgezeichnet. Auch hier kann man wie in Fig. 6 die gleichen drei typischen Abschnitte für Kurzschlussströme  $\geq 30$  kA unterscheiden, wobei im ersten Abschnitt die Teilfeldlängen den Bereich von 0 bis ca. 1 m, im zweiten Abschnitt von ca. 1...50 m und im dritten Abschnitt grösser als 50 m umfassen.



Fig. 9  
Gleich wie Fig. 7, aber für Teilefeldlängen grösser als 20 m

Die ermittelten Werte ergeben eine gute Übereinstimmung mit den in der Einleitung erwähnten praktischen Kurzschlussversuchen [1; 2].

Die Zeitdifferenz  $t_{\max}$  zwischen dem Beginn des Kurzschlusses und dem Auftreten der maximalen Stosskraft hängt von der Zeitdauer  $t_i$  ab, welche für die Seilberührungszeit der Teilleiter notwendig ist. In Fig. 11 ist die Zeitdauer in Funktion des Kurzschlußstromes für einen Bündelleiterabstand  $t = 0,4$  m aufgezeichnet. Diese Werte sind unter der Annahme berechnet, dass die Teilefeldlängen  $\infty$  sind. Daher ist für kleinere Teilefeldlängen die Zeitdauer  $t_i$  um ca. 10...30% höher als die berechnete.

Wenn die Seilberührungszeit  $t_i$  grösser ist als die Kurzschlußstromdauer, wird die beim Strom  $I_k$  maximal mögliche Zugspannungsspitze nicht erreicht. Dies setzt natürlich voraus, dass zufolge der Gleichgewichtsbedingungen überhaupt eine Seilberührungszeit stattfinden würde, d.h. dass die Abstandhalter relativ weit voneinander entfernt sind.

Für Teilefeldlängen der Abschnitte 3 ist die Zeitdauer bis zum Auftreten der max. Stosskraft  $t_{\max} \approx 1,55 t_i$  für Teilefeldlängen der Abschnitte 2 ist  $t_{\max} \approx t_i$  [3].

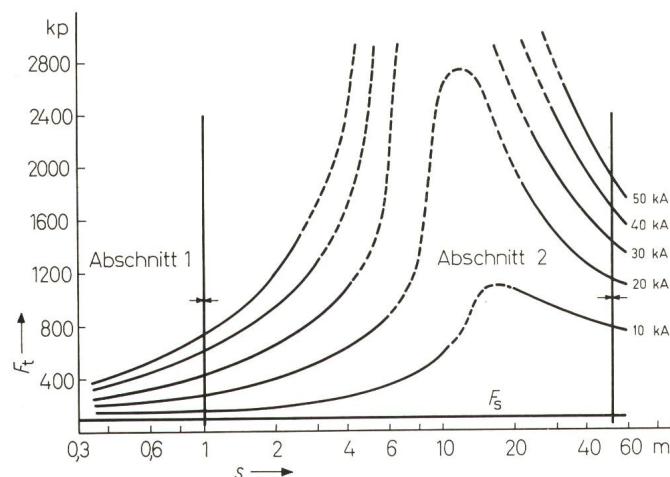


Fig. 10  
Totale Seilzugkraft  $F_t$  pro Teilleiter in Funktion der Teilefeldlänge  $s$   
( $t = 400$  mm,  $F_s = 100$  kp)  
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 6

Nach Aufhören des Stromstosses schwingen die Teilleiter mit ihrer natürlichen Frequenz, welche von der Seilspannung und Entfernung zwischen den Abstandhaltern abhängt. Bei diesen Schwingungen können durch Reflexionen die Zugkräfte zu beträchtlichen Werten gesteigert werden, die gegebenenfalls die maximale Zugspannungsspitze, welche durch die Kurzschlußströme verursacht wird, erreichen.

### 3. Dynamische Kurzschlusskräfte, hervorgerufen durch Beeinflussung der Nachbarphasen

Die Kurzschlußstossbeanspruchung zwischen den Phasen ist geringer als diejenige durch die Bündelleiteranziehung.

Zudem ist jene zeitlich wegen der Trägheit des Systems so verzögert, bis diese schon am Abklingen ist und einen permanenten Wert erreicht, der ungefähr 2,3 mal kleiner ist als die Stosskraft [3]. Praktische Kurzschlussversuche [1] zeigen, dass bei einem Kurzschlußstrom von 30 kA und einer Kurzschlußdauer von 0,5 s die Kurzschlußstossbeanspruchung zwischen den Phasen nur 50% derjenigen zwischen den Bündelleitern beträgt. Bei 3phasigen Kurzschlüssen ist jedoch wegen der unzulässigen Annäherung der Phasenleiter die seitliche Auslenkung der Bündelleiterphasen wohl zu beachten; denn die äusseren Phasen R und T schwingen von der normalen Durchhangslage nach aussen, die mittlere hingegen wird durch gleich grosse, aber entgegengesetzt wirkende Magnetkräfte am Ausschwingen verhindert. Wenn der Kurzschlussvorgang beendet ist, schwingen die äusseren Phasen nach innen. Gleiche Überlegungen sind für den 2phasigen Kurzschluss zu machen. Rechnerisch wird dieses Ausschwingen durch die Steighöhe  $h$  (nach Energiesatz) veranschaulicht [4] (Fig. 12):

$$h = \frac{2,04 I_k^4 t^2}{G^2 c^2} 10^{-3} \text{ (m)}$$

Die seitliche Auslenkung der Phasen ergibt sich aus folgender Beziehung:

$$x = \sqrt{2 h f - h^2}$$

### 4. Dynamische Kurzschlusskräfte, hervorgerufen durch Stromschleifen

Die Kurzschlussbeanspruchung, welche durch Stromschleifen hervorgerufen wird, ist wegen der grossen Abstände (ähnlich wie diejenige zwischen den Phasen) viel kleiner als die Stossbeanspruchung durch die Bündelleiter, so dass sie keinen wesentlichen Beitrag zur Zugspannungserhöhung liefert und für die Dimensionierung des Hochspannungsmaterials in bezug auf die Festigkeit nicht berücksichtigt werden muss.

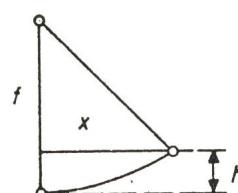


Fig. 12  
Seitliche Auslenkung eines Bündels durch Beeinflussung der Nachbarphasen  
 $f$  Seildurchhang;  $x$  horizontale Auslenkung der Bündelleiter zwischen den Phasen;  $h$  Steighöhe

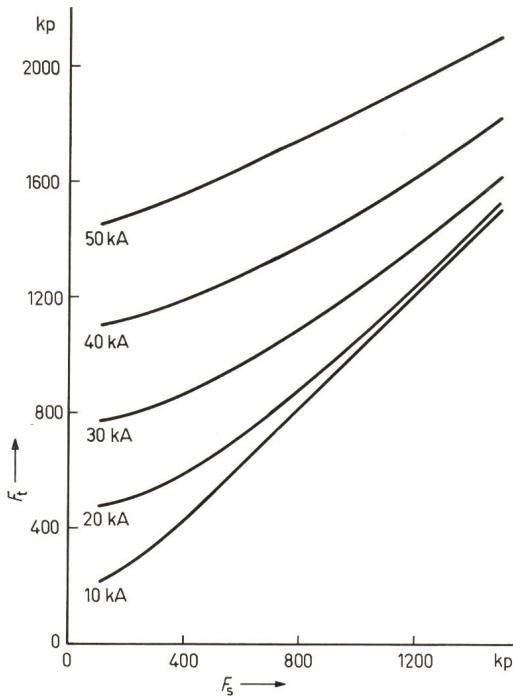


Fig. 13

**Totale Seilzugkraft  $F_t$  pro Teilleiter in Funktion der statischen Seilzugkraft  $F_s$**   
Parameter: Kurzschlußstrom  $I_k$  ( $s = 2500$  mm;  $t = 400$  mm)

## 5. Schlussfolgerungen

a) Die maximalen Stosskräfte, welche in den Schaltanlagen mit Bündelleitern auftreten, werden in erster Linie durch die Bündelleiteranziehung hervorgerufen. Diese maximalen Werte klingen nach ca. 40 ms auf einen Wert herab, der dem Dauerkurzschlußstrom entspricht.

b) Die Kurzschlusskräfte, welche zwischen den Phasen auftreten, ergeben keine nennenswerte Vergrößerung der maximalen Stosskräfte.

c) Die Kurzschlusskräfte, welche durch Stromschleifen bedingt sind, tragen keinen wesentlichen Anteil an den maximal auftretenden Stosskräften.

d) Eine Vergrößerung der Stosskräfte könnte durch ungleiche Aufteilung der Teilstreckenlängen erfolgen.

e) Die mechanischen Schäden, welche durch das Aufschlagen der Teilleiter während des Kurzschlusses entstehen, sind minim und haben, wie praktische Versuche [1] zeigten, weder in elektrischer noch in mechanischer Hinsicht sichtbare Folgen.

f) Aus Fig. 6 und 10 können für Kurzschlußströme  $\geq 30$  kA folgende Schlüsse gezogen werden:

fa) Für Sammelschienen ( $F_s = 1200$  kp): Um eine kleine Zugspannungs-erhöhung zu erreichen, sollten die Teilstreckenlängen nicht grösser sein als ca. 3 m. Dabei entstehen minime Seilverkürzungen, wodurch nur kleine Auslenkungen in vertikaler Richtung erfolgen. Dieser Vorteil ist vor allem beim Ein-

bau von Scherentrennern wohl zu beachten. (Der Fig. 13 sind für eine Teilstreckenlänge von 2,5 m zusätzlich die totalen Seilzugkräfte für variable Seilzugkräfte [100 bis 1500 kp] zu entnehmen.)

fb) Für Verbindungsleitungen ( $F_s = 100$  kp) zwischen den Geräten sind Teilstreckenlängen bis 1 m vorzusehen. Damit kann die totale Zugkraft kleiner gehalten werden als die maximal zulässige Umbruchkraft der Hochspannungsapparate. (In Fig. 14 ist die totale Seilzugkraft in Funktion der statischen Seilzugkraft für eine Teilstreckenlänge von 1 m abzulesen.)

g) Die Druckbeanspruchung der Abstandhalter ist in jedem Fall kleiner als die Zugbeanspruchung der Teilleiter ( $F_a = 2 F_t \cos \theta$ ).

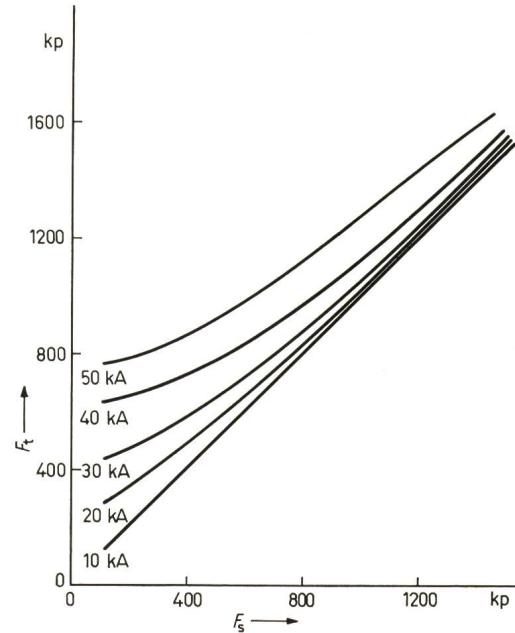


Fig. 14

**Totale Seilzugkraft pro Teilleiter  $F_s$  in Funktion der stat. Seilzugkraft  $F_t$**   
Parameter: Kurzschlußstrom  $I_k$  ( $s = 1000$  mm;  $t = 400$  mm)

## Literatur

- [1] A. T. Atwood, M. H. Mills, D. I. Downs and H. M. Stone: Dynamic behavior of a 220-kV dead-end suspension bus during short circuit. Trans. AIEE Power Apparatus and Systems 81(1962)60, p. 153...169.
- [2] E. Wagner: Dauer- und Kurzschlussbeanspruchung von Bündelleitern in Hochspannungsschaltanlagen. ÖZE 18(1965)1, S. 18...25.
- [3] C. Manuzio: An investigation of the forces on bundle conductor spacers under fault conditions. Trans. IEEE Power Apparatus and Systems 86(1967)2, p. 166...184.
- [4] J. Biermann: Grenzleistungen von Schaltern, Schaltanlagen und Leitungsnetzen. ETZ-A 76(1955)20, S. 728...735.
- [5] G. Koepl: Schwere dynamische Beanspruchung von Scherentrennern. Brown Boveri Mitt. 49(1962)6, S. 226...229.
- [6] Aldrey für Freileitungen. Zürich, Schweizerische Aluminium-AG, 1963.
- [7] Regeln für Leitungsseile. 2. Auflage. Publikation des SEV 0201.1960.

## Adresse des Autors:

R. Zurbriggen, Dipl.-Ing. ETH, Motor Columbus Ingenieurunternehmung AG, 5401 Baden.

## Kurzberichte — Nouvelles brèves

**Ein Micro-Data-Recorder** zeichnet auf einem 35 mm breiten, mit einem schwarzen Belag versehenen Film 5 Signale auf. Die Registrierungen sind in 5 nebeneinander liegenden Spuren enthalten. Der Messwert wird mit einem Diamant in die schwarze Fläche eingeritzt, sodass auf der schwarzen Grundfläche eine lichtdurchlässige helle Kurve entsteht. Der Frequenzbereich der gemessenen Signale kann zwischen 0 und 100 Hz liegen. Die Transportgeschwindigkeit des Filmes beträgt 0,5 mm/h...20 mm/s.

**Eine Reihe von Sprechfunkgeräten** wurde für das 70-cm-Band gebaut, weil die zur Verfügung stehenden Kanäle im 4- und 2-m-Band an vielen Orten stark überlastet sind. Die drei Gerätetypen, die mit einem Kanal oder mit fünf umschaltbaren Kanälen geliefert werden können, sind als abgesetzte Feststationen mit Fernbedienung, als Tischstationen und als Fahrzeugstationen erhältlich. Die Geräte haben Frequenzmodulation mit einem Hub von  $\pm 2,8$  kHz und eine Leistung von 5 W.