

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

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

**Band:** 78 (1987)

**Heft:** 5

**Artikel:** Beschädigung von Stahldrahtseilen durch Lichtbogeneinwirkung

**Autor:** Stender, B.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-903828>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 01.02.2025

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

# Beschädigung von Stahldrahtseilen durch Lichtbogeneinwirkung

B. Stender

**Im Rahmen der Revision der Verordnung über Parallelführungen und Kreuzungen elektrischer Leitungen mit Eisenbahnen stellte sich die Aufgabe, die Schwere eines Schadens an einem Stahldrahtseil (Luftseilbahn), hervorgerufen durch einen Lichtbogen einer kreuzenden Hochspannungsfreileitung, zu ermitteln. Es wird über die Laborversuche zur Schädeneingrenzung berichtet.**

**Lors de la révision de l'Ordonnance sur le parallélisme et le croisement des lignes électriques, la question s'est posée d'évaluer la gravité des dommages au câble d'une installation de transport par l'arc électrique d'une ligne aérienne à haute tension qui la croise. Le rapport décrit les essais de laboratoire qui ont permis d'établir une «classification» des dommages.**

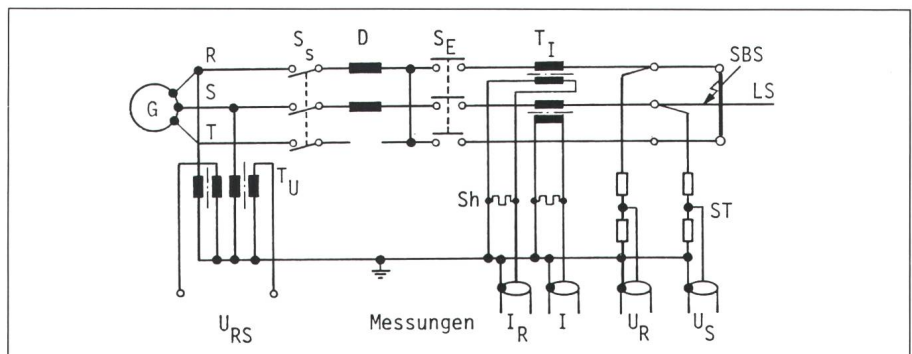
## 1. Einführung

In der Schweiz ist das Zusammenreffen elektrischer Freileitungen mit Luftseilbahnen ziemlich häufig. Es sollten daher nur die unbedingt notwendigen Sicherheitsmassnahmen vorgeschrieben werden, nicht nur aus wirtschaftlichen Gründen, sondern auch, weil massive Schutzkonstruktionen das Landschaftsbild erheblich belasten. Die vorliegende Untersuchung beschränkt sich ausschliesslich auf die Ermittlung von Schäden, die durch den Erdschluss- oder Kurzschlussstrom verursacht werden. Mechanische Schäden durch Schlag, Schwingungen usw. bleiben unberücksichtigt.

Eine Vielzahl von Parametern beeinflusst die zu erwartenden Schäden am Seilbahnseil, so z.B. die Art der Annäherung oder Berührung, die elektrischen Daten der Freileitung, die Oberflächenstruktur des Seilbahnseiles, die Erdungsimpedanz des Seilbahnseiles usw. Brennt der Lichtbogen auf dem Seilbahnseil mit stationärem Fusspunkt, so sind schwere örtliche

Schäden zu erwarten; bewegt sich dagegen dieser Fusspunkt – wegen elektrodynamischer Kräfte –, so sind zwar ausgedehntere, örtlich jedoch leichtere Schäden zu erwarten. Ein schwerer örtlich begrenzter Schaden kann einen Seilbruch zur Folge haben und stellt damit ein Sicherheitsrisiko dar. Es sei daran erinnert, dass die hohe Festigkeit der einzelnen Drähte des Seilbahnseiles durch Kaltverformung (Kaltziehen) erreicht wird, eine Festigkeit, die sich durch Rekristallisation bei einer Erwärmung durch den Lichtbogen rasch wieder abbauen kann.

Da die Untersuchung Entscheidungsgrundlagen für die Vorschriften liefern sollte, mussten die die Sicherheit am meisten gefährdenden Situationen berücksichtigt werden, also vor allem die Fälle, bei denen unter gegebener Stromstärke und Stromflussdauer örtlich möglichst eng begrenzte Schäden auftreten. Es war ein Ziel, mit der erzeugten Lichtbogenenergie am betreffenden Seilbahnseil den höchstmöglichen Schaden herbeizuführen,



**Figur 1 Prüfstromkreis**

Als Zuleitungen dienen die Leiter eines dreipoligen Sammelschienensystemes von etwa 25 m Länge. Leiter S ist Hinleitung zum «Leiterseil» LS, die Leiter R und T dienen als parallele Rückleiter für jeweils den halben Versuchsstrom von den beiden Enden des «Seilbahnseiles» SBS her.

G	Drehstromgenerator 15 kV, 500 MVA	ST	Spannungsteiler 150/1,5 kΩ
D	Drosselspule ( $Z_R$ )	T <sub>I</sub>	Stromwandler 50 000/5
S <sub>E</sub>	Einschalter	T <sub>U</sub>	Spannungswandler 15 000/100
S <sub>s</sub>	Schutzschalter	LS	Leiterseil
Sh	Shunt 0,833 Ω	SBS	Seilbahnseil (Prüfling)

Der Aufsatz ist ein Auszug aus dem umfangreichen Schlussbericht der Untersuchungen [1] im Auftrag des Bundesamtes für Verkehr.

### Adresse des Autors

B. Stender, dipl. El.-Ing. ETHZ, Wiss. Adj. beim Bundesamt für Verkehr, Dienst für Zugförderung und elektrische Anlagen, 3003 Bern.

um nicht die Vielzahl der Parameter des Einzelfalles berücksichtigen zu müssen.

## 2. Versuchsanordnung

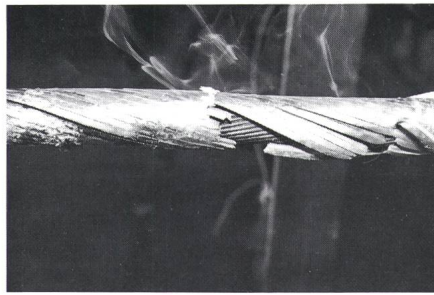
Die im Laboratoire à haute puissance (LHPP) der EPFL in Préverenges aufgebaute Versuchsschaltung ist in Figur 1 dargestellt. Um den Lichtbogenfusspunkt soweit wie möglich am Ort des Entstehens festzuhalten, wurde eine symmetrische Stromabführung auf dem Seilbahnseil gewählt. Diese Symmetriebedingung wurde durch Messung eines Teilstromes ständig überwacht. Als Seilbahnseile wurden Litzenseile und voll verschlossene Seile in einer weit verbreiteten Seilmachart verwendet, als Leiterseil wurde das häufig benützte Aldreyseil mit 240 mm<sup>2</sup> Querschnitt eingesetzt.

Es wurden Versuche mit und ohne Zugbeanspruchung durchgeführt. Für die Versuche mit Zugbeanspruchung konstruierte das Institut für Leichtbau und Seilbahntechnik (ILS) der ETHZ eine spezielle Zugmaschine mit isolierenden Stützbalken aus Holz (Fig. 2).

## 3. Versuchsergebnisse

Die Figuren 3, 4 und 5 zeigen drei Aufnahmen von verschiedenen starken Beschädigungen in Abhängigkeit des Kurzschlussstromes. Die von der Lichtbogeneinwirkung stammenden Schäden sind am Stahldrahtseil gut sichtbar. Es sind Lunken- bzw. Rissbildungen, Verschweissungen, Aufschmelzungen und Drahtbrüche.

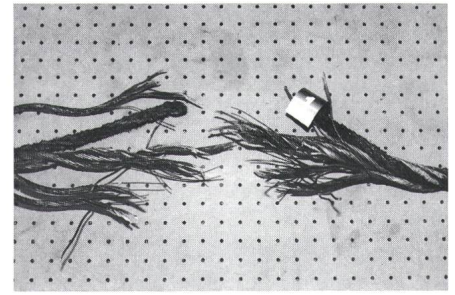
Bei Litzenseilen ist ab einer Strombelastung von 20 A/mm<sup>2</sup> (bezogen auf den metallischen Seilquerschnitt) mit starken Schäden und ab 35 A/mm<sup>2</sup> mit dem Seilbruch zu rechnen. Dies gilt bei einer Stromflussdauer von maximal



**Figur 3 Lichtbogeneinwirkung auf verschlossenes Seil**

25jähriges Trageil der Seilbahn Mörel-Greixer-alp in fettig verschmutztem Originalzustand

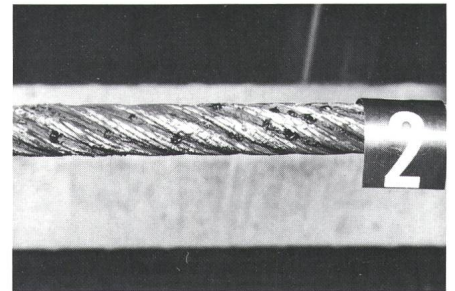
Durchmesser	29 mm
Bruchlast	900 kN
Seilaufbau	1 + 6 + 12 + 18 + 24 + 22 Z
Nennfestigkeit	
- Runddrähte	1,8 kN/mm <sup>2</sup>
- Z-Drähte	1,4 kN/mm <sup>2</sup>
Metallquerschnitt	546 mm <sup>2</sup>
Unter Zugbeanspruchung von	300 kN
Lichtbogenstrom	19 kA während etwa 1 s
Ergebnis	Schwerer Schaden, aber noch kein Seilbruch. Die Formdrahtlage ist teilweise weggebrannt. Dieses Trageil könnte durch die Rollen eines Laufwerkes nicht mehr befahren werden. Schaden wird als unzulässig eingestuft (vgl. Tab. I).



**Figur 4 Lichtbogeneinwirkung auf Litzenseil**

Abgelegtes Förderseil der Gondelbahn Chur-Brambrüesch, II. Sektion

Durchmesser	27,55 mm
Bruchlast	442 kN
Seilaufbau	6 × (1 + 8 + 8) + Hanfseile; Gleichschlag
Eff. Bruchspannung der Drähte	1,5 kN/mm <sup>2</sup>
Metallquerschnitt	292 mm <sup>2</sup>
Unter Zugbeanspruchung von	100 kN
Lichtbogenstrom	12,3 kA während 0,96 s
Ergebnis	Seilbruch, alle 6 Litzen an der Kreuzungsstelle gebrochen



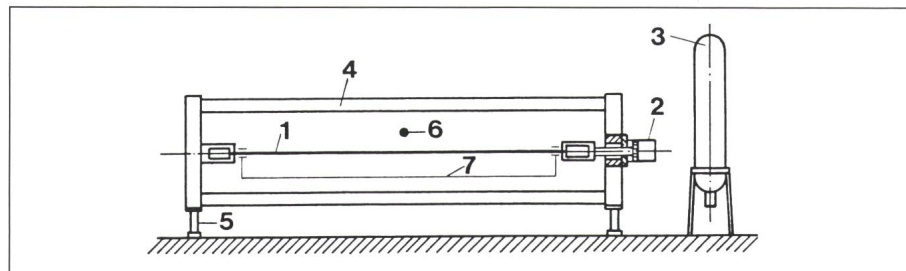
**Figur 5 Lichtbogeneinwirkung auf Litzenseil**

Gleiches Litzenseil wie in Figur 4 und unter der gleichen Zugbeanspruchung.

Lichtbogenstrom	4,19 kA während 0,95 s
Ergebnis	Leichter Schaden, mehrere Brandstellen, d. h. Krater mit Schweissperlen auf einer Länge von 94 cm, gleichmässig verteilt. Bleibende Seilverlängerung 1 mm.

1 s. Bei voll verschlossenen Seilen, wie sie für Trageile verwendet werden, sind starke Schäden ab 30 A/mm<sup>2</sup> festzustellen.

Die Intensität dieser gut sichtbaren Schäden nimmt mit der Strombelastung eindeutig zu, so dass sie gute Indikatoren sind für die Beurteilung der tatsächlichen Schädigung. Um die Betriebssicherheit von nicht gerissenen Seilen zu beurteilen, wurden die beschädigten Stahldrahtseile metallurgisch in der EMPA untersucht und einer Schwellbiegeprüfung unterwor-



**Figur 2 Prinzipskizze des Prüfstandes**

Das Seil (1) ist an beiden Enden vergossen und verdrehsicher befestigt. Das Spannen des Seiles erfolgt mit dem hydraulischen Zylinder (2). Mit Hilfe des grossen Blasenspeichers (3) wird die Zugkraft im Seil weitgehend konstant gehalten, auch während der durch die Wärmeeinwirkung verursachten Dehnung. Die Holme (4) und die Füsse (5) des Rahmens bestehen aus Isolationsmaterial. Das Leiterseil (6) verläuft senkrecht zum Seil im Abstand von 45 mm und ist gegen seitliche Verschiebung gesichert. Die Rückleitung (7) erfolgt von beiden Seilenden symmetrisch.

fen. Dabei zeigte sich, dass alle Seile eine wesentlich grössere Anzahl von Überrollungen (Schwellbiegungen) aushielten, als dies normalerweise für die Bergung von Reisenden auf der Strecke notwendig ist. Deshalb muss die zulässige Strombelastung nicht tiefer angesetzt werden, als dies für die Vermeidung des Seilbruches nötig ist.

Unter die zulässigen Schäden fallen auch alle diejenigen, die nach einem Schadenereignis die Bergung der Reisenden erforderlich machen und zu einer Seilauswechslung zwingen. In den meisten Fällen wird man nach

Die nachstehenden Institutionen haben durch ihre finanziellen Beiträge die Untersuchungen ermöglicht:

- Bundesamt für Verkehr, Bern
- Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern
- Schweizerischer Elektrotechnischer Verein, Zürich
- Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke, Zürich
- Seilbahnindustrie, Seilbahnbetreiber

Durch unentgeltliche Materiallieferungen haben Seilhersteller und die Seilbahnindustrie sowie die Abteilung Kraftwerke der SBB die Arbeiten unterstützt.

Folgende Institutionen haben aktiv an den

Untersuchungen teilgenommen:

- Laboratoire de haute puissance de Préverenges (LHPP)
- EPFL, Laboratoire de réseaux d'énergie électrique
- ETHZ, Institut für Leichtbau und Seilbahntechnik ILS
- Eidgenössische Materialprüfungs- und Versuchsanstalt, Dübendorf (EMPA), die Abteilungen für Metallkunde und Metallographie sowie für Metalltechnologie und Konstruktionen
- Bundesamt für Verkehr, Seilbahndienst sowie Dienst für Zugförderung und elektrische Anlagen

Max. zulässiger Kurzschlussstrom während 1 s	Metallquerschnitt des verschlossenen Stahlseiles der Luftseilbahn
15 kA	500 mm <sup>2</sup> oder höher

**Tabelle I** Maximal zulässige Strombelastung von verschlossenen Stahlseilen (Tragseile)

Stromstärken noch vorsichtig, mit gewissen Reserven, erfolgen. Eine Erhöhung der zulässigen Werte kann nur dann empfohlen werden, wenn zusätzliche Versuche durchgeführt werden.

Trotz diesen Einschränkungen darf abschliessend festgehalten werden, dass die vorbeschriebenen Versuche wesentlich dazu beigetragen haben, Erleichterungen in den Vorschriften über Parallelführungen und Kreuzungen elektrischer Leitungen mit Luftseilbahnen begründet aufzunehmen [2].

einem Schadenereignis den Betrieb bis zur Seilauswechslung einstellen müssen, weil nebst den sichtbaren auch visuell nicht wahrnehmbare Schäden, wie Martensitbildung und Ausglüfung, entstehen. Eine solche Betriebs-einstellung stellt nur einen wirtschaftlichen Schaden, aber noch keine wesentliche Beeinträchtigung der Sicherheit dar.

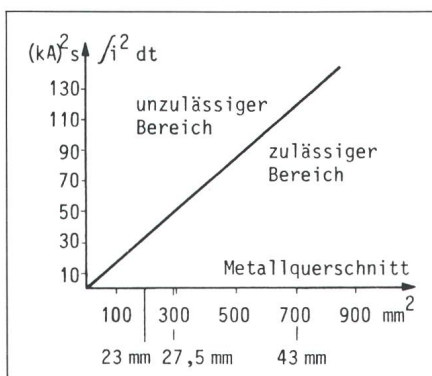
Für die Bestimmung der «Grenzgeraden» zwischen unzulässigen und zulässigen Schäden in Figur 6 wurden

nicht nur die beschriebenen Versuche mit Zugbeanspruchung, sondern auch vorgängig durchgeführte Versuche ohne Zugbeanspruchung mit verschiedenen Seildurchmessern berücksichtigt. Wegen der begrenzten Anzahl der Versuche und der statistischen Natur des Lichtbogens musste ein relativ grosser Sicherheitsabstand bis zum Seilbruch gewählt werden. Für die Versuche mit dem Litzenseil mit 27,5 mm Durchmesser kann dieser Sicherheitsabstand (Wert bei Seilbruch zu zulässigem Maximalwert) mit dem Faktor 2,8 angegeben werden.

Für die maximal zulässige Abschaltzeit des Kurzschlussstromes wurde für alle Werte der Figur 6 eine Sekunde festgelegt. Für verschlossene Seile gilt die Angabe in Tabelle I.

Um bei grösseren Seilquerschnitten höhere Stromstärken zuzulassen, wären weitere Versuche erforderlich. Diese wären allerdings sehr kostspielig, denn für solche Versuche wäre das Labor LHPP in Préverenges zu klein.

Da die Übertragung der Resultate auf andere Verhältnisse wie z.B. andere Seilmachten, Seildurchmesser, Seilverschmutzung und Seilschmierung nicht ohne weiteres möglich ist, musste die Festlegung der zulässigen



**Figur 6** Maximal zulässige Strombelastung von Litzenseilen

Untere Skala (Seildurchmesser) nur gültig für die in der Untersuchung verwendeten Seile.

**Literatur**

- [1] Beschädigung von Stahldrahtseilen durch Lichtbogeneinwirkung. Schlussbericht vom 18. November 1983. Bern, Bundesamt für Verkehr.
- [2] H. Meyenberg u. a.: Die Aufgaben des Bundesamtes für Verkehr in Zusammenhang mit ortsfesten elektrischen Anlagen von Bahnen. Bull. SEV/VSE 78(1987)5, S. 275...279.
- [3] P. Batti e G. Stokar: Fulminazione di funi metalliche: meccanismo, modificazioni strutturali e valutazione del danno. Nota I. La Metallurgia Italiana 74(1982)1, p. 32.
- [4] D.W.S. Thieck: Festigkeitsminderung von Drahtseilen unter Schweisstromdurchfluss. Drahtwelt 61(1975)11, S. 445.
- [5] G. Oplatka, M. Roth and P. Vaclavick: Damage to steel wire ropes caused by electric arc. Round table conference of the OIPEEC (International Organisation for the study of the endurance of wire ropes): Endurance research of wire ropes and its practical applications, East Kilbride/Glasgow, June 19...21, 1985.