Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 12 (1921)

Heft: 2

Artikel: Ueber Festigkeitsprüfungen an Verbindungsstellen in elektrischen Freileitungen

Autor: [s.n.]

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1060406

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: 02.10.2025

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

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Erscheint monatlich,
im Januar dazu die Beilage **„Jahresheft"**.

Alle den **Inhalt** des „Bulletin" betreffenden Zuschriften sind zu richten an das

Generalsekretariat
des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins
Neumühlequai 12, Zürich 1 — Telephon: Hottingen 3708,
welches die Redaktion besorgt.

Alle Zuschriften betreffend **Abonnement, Expedition** und **Inserate** sind zu richten an den Verlag:

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G.
Stauffacherquai 36 Zürich 3 **Telephon Selnau 7016**

Ce bulletin paraît mensuellement. — **„L'Annuaire"** est distribué comme supplément dans le courant de janvier.

Prière d'adresser toutes les communications concernant la **matière** du „Bulletin" au

Secrétariat général
de l'Association Suisse des Electriciens
Neumühlequai 12, Zurich 1 — Telephon: Hottingen 37 08
qui s'occupe de la rédaction.

Toutes les correspondances concernant les **abonnements, l'expédition** et les **annonces,** doivent être adressées à l'éditeur

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei S. A.
Stauffacherquai 36 Zurich 3 **Téléphone Selnau 7016**

Abonnementspreis (für Mitglieder des S. E. V. gratis)
für Nichtmitglieder inklusive Jahresheft:
Schweiz Fr. 20.—, Ausland Fr. 25.—
Einzelne Nummern vom Verlage Fr. 2.— plus Porto.

Prix de l'abonnement annuel (gratuit pour les membres de l'A. S. E.), y compris l'Annuaire Fr. 20.—
pour la Suisse, Fr. 25.— pour l'étranger.
L'éditeur fournit des numéros isolés à Fr. 2.—, port en plus.

XII. Jahrgang
XII[e] Année

Bulletin No. 2

Februar
Février **1921**

Ueber Festigkeitsprüfungen an Verbindungsstellen in elektrischen Freileitungen.

Mitgeteilt vom Starkstrominspektorat des S. E. V.

Die Schweizerische Obertelegraphendirektion hatte im November 1919 Festigkeitsprüfungen von aus Starkstromfreileitungen herausgeschnittenen Verbindungen in der Eidg. Materialprüfungsanstalt vornehmen lassen. Den Prüfungen wohnten Vertreter der 3 Kontrollstellen für elektrische Anlagen (Obertelegraphendirektion, Technische Abteilung des Eisenbahndepartements und Starkstrominspektorat) bei. Ueber das Ergebnis der Prüfungen erstattete Ingenieur Ritter von der Obertelegraphendirektion auf Grund des von der Eidg. Materialprüfungsanstalt ausgefertgten Prüfungsprotokolles einen zusammenfassenden Bericht an seine Verwaltung. Die Schweizerische Obertelegraphendirektion stellte uns in verdankenswerter Weise diesen Bericht für eine Mitteilung im Bulletin über die durchgeführten Prüfungen zur Verfügung, und wir folgen im Nachstehenden grösstenteils wörtlich den Ausführungen von Ingenieur Ritter.

Die bundesrätlichen Vorschriften vom 14. Februar 1908 enthalten die Bestimmung, dass die Starkstromleitungen in den Ueberführungsspannweiten über Strassen und Plätze, über andere Starkstromleitungen, über Schwachstromleitungen und über Bahnen keine auf Zug beanspruchten Verbindungsstellen enthalten dürfen. Bei der zunehmenden Dichtigkeit der Freileitungen musste diese Bestimmung im Laufe der Jahre immer häufiger zur Anwendung kommen und namentlich die stark wachsende Ausdehnung der Telephonanschlüsse verursachte in bestehenden Starkstromfreileitungsnetzen andauernd Abänderungen, sollte den Vorschriften Genüge geleistet werden. Diese Sicherungsmassnahmen, die von einem Teil der Elektrizitätswerke grundsätzlich für überflüssig angesehen werden, verursachten oft beträchtliche Arbeiten und Kosten sowohl für die Elektrizitätswerke als auch für die Telegraphenverwaltung. Bei dem Meinungsstreit über den Wert solcher bis jetzt vorgeschriebener Sicherungs-

massnahmen schien es der Obertelegraphendirektion daher angezeigt, durch möglichst umfangreiche Festigkeitssversuche an Leitungsverbindungen, die aus seit längerer Zeit bestehenden Starkstromfreileitungen herausgeschnitten wurden, zur Abklärung der Frage nach Möglichkeit beizutragen.

Zur Prüfung gelangten 211 Verbindungsstellen die von 43 verschiedenen Elektrizitätsunternehmungen in bereitwilliger Weise zur Verfügung gestellt wurden, sowie 6 vom Telephonbureau Bern für diesen Zweck extra angefertigte neue Lötverbindungen. Alle 211 Verbindungen der ersteren Kategorie waren aus Kupferdrahtleitungen herausgeschnitten worden. Der Durchmesser der Leitungsdrähte schwankte zwischen 3 und 9 mm. Bei einigen Verbindungen waren die Durchmesser der zu verbindenden Leitungsdrähte verschieden. Die Mehrzahl der geprüften Verbindungen d. h. 135 Stück waren Wickellötstellen, daneben gelangten 47 Müffen und 7 Nietverbindungen zur Prüfung. Im weitern wurden noch einige Anschlussverbindungen geprüft. Alle Verbindungen waren normal ausgeführt, sie wiesen äusserlich keine erkennbaren groben Fehler auf.

Da für die Güte einer Drahtverbindung in mechanischer Hinsicht das Verhältnis zwischen Festigkeit von Draht und Verbindungsstelle massgebend ist, erforderte die Prüfung zwei Zerreissproben, eine für den Draht als solchen und eine für die eigentliche Verbindungsstelle. Bei 10 Versuchsobjekten gestattete die beschränkte Länge der Drahtenden leider keine Zerreissproben am Draht selbst, weshalb in diesen Fällen das Festigkeitsverhältnis zwischen Draht und Verbindung nicht festzustellen war, sondern nur die Festigkeit der Verbindungsstelle an sich.

Völlig durchgeprüft wurden 201 Verbindungsstellen. Das Hauptergebnis der Versuche kommt in nachstehender Zusammenstellung zum Ausdruck:

Schwächung der Zugfestigkeit des Leiters durch die Verbindungsstelle:

Es hatten keine merkliche Schwächung zur Folge	52	Verbindungen	=	26 %
Schwächungen von 1 – 10 %	89	„	=	44 %
„ „ 11 – 20 %	29	„	=	14 %
„ „ 21 – 40 %	24	„	=	12 %
„ „ 41 – 65 %	7	„	=	4 %
Total	201			100 %

Die durchschnittliche Schwächung sämtlicher geprüften Verbindungsstellen ergab sich zu ca. 10%. Zirka $^1/_4$ derselben wies die gleich hohe mechanische Festigkeit auf, wie die zugehörigen Leitungsdrähte. Bei der grossen Mehrzahl der Drähte (ca. 75%) erwies sich dagegen die Festigkeit durch die Verbindung als geschwächt und zwar im Mittel um ca. 13%. Eine durchschnittliche Schwächung der Leitungen durch die Verbindungen von 10 bezw. 13% mag vielleicht nicht als erheblich erscheinen. Es muss aber berücksichtigt werden, dass die Verbindungsstellen Teile einer Leitung bilden, an welche mit Bezug auf Festigkeit gewisse minimale Anforderungen unter allen Umständen gestellt werden müssen. Die Prüfungen haben nun aber gezeigt, dass bei etwas mehr als einem Siebentel der Verbindungen die Schwächung mehr als 20% betrug und Werte bis zu 65% erreichte.

Das Lösen der Verbindungen bei den Zerreiss-Versuchen geschah auf verschiedene Weise. *In 42 Fällen trat ein Herausziehen des unversehrten Drahtes* aus der Bindung (Wicklung, Muffe) ein. Es betraf dies 33 Wickellötstellen, 8 Muffen und 1 Nietverbindung. Die mechanische Festigkeit dieser Verbindungsstellen wies im Vergleich zu jener der Drähte die folgenden Schwächungen auf:

In 7 Fällen 41 – 65%; in 11 Fällen 21 – 40% und in 24 Fällen 3 – 20%.

Speziell hervorzuheben ist die Erscheinung, dass die meisten herausgezogenen Drähte *nur Spuren von Verzinnung* aufwiesen, ein Beweis für die mangelhafte Lötung.

Dies trifft ganz besonders zu für die 7 Fälle mit der grössten Schwächung von 41 – 65%. Dabei wiesen auch diese Verbindungen äusserlich keine weitern erkennbaren Mängel auf, weder in der Verzinnung selbst, noch in der mechanischen Ausführung der Wicklungen. Hieraus kann gefolgert werden, dass eine *Lötstelle,* sei es Drahtwicklung oder Muffe, *welche im Aeussern allen Anforderungen zu entsprechen scheint, noch keine Garantie für ihre Zuverlässigkeit bietet.*

Bei 19 Proben erfolgte ein Drahtbruch in der Verbindungsstelle selbst und zwar

in 8 Fällen mit Schwächungen von 21 – 40 %
in 11 Fällen mit Schwächungen von 0 – 20 %

Dabei handelt es sich um 14 Wickellötstellen und 5 Muffenverbindungen. Aus diesem Resultat kann auf eine zu starke Erhitzung des Leitungsdrahtes *in* der Verbindung geschlossen werden, welche die Festigkeit des Drahtes verringerte, während das Verbindungsmittel (Wickel, Muffe) dem mechanischen Zug standgehalten hat.

In 113 Fällen, d. h. mehr als der Hälfte sämtlicher Verbindungen, entstand ein *Drahtbruch ausserhalb, aber immerhin in unmittelbarer Nähe der Bindung,* wohl meistenteils als Folge der *Wärmeeinwirkung beim Löten.* Die Schwächung variierte in 108 Fällen zwischen 0÷20% und in 5 Fällen zwischen 21÷40%. Die vereinzelten Fälle, wo ein Drahtbruch weiter als 5 cm von der Bindung entfernt eintrat, wurden nicht mehr mitgerechnet, in der Annahme, dass die Einwirkungszone des Lötens sich im allgemeinen nicht über 5 cm erstrecken dürfte.

Die nachstehende Tabelle gibt einen Vergleich über das Verhalten der verschiedenen *Arten von Verbindungsstellen* bei den Zerreissproben:

Art:	Wickellötstellen	Muffen	Nietverbindung	Anschlussverbindg.
Anzahl	135	47	7	10
Durchschnitts-schwächung %:	11	9	3	3

Aus ihr geht hervor, dass bei den Wickellötstellen und den Muffenverbindungen die durchschnittliche Schwächung (sämtliche Versuchsobjekte inbegriffen) annähernd dieselbe ist. Ganz wesentlich günstigere Resultate lieferten bei diesen Versuchen die Nietverbindungen und die Anschlusslötstellen. Es ist aber zu bemerken, dass bei den letztgenannten Kategorien die Zahl der zur Verfügung gestandenen Probestücke gering war und so die Möglichkeit von Zufallsresultaten nicht ausgeschlossen ist.

Eine etwas sicherere Grundlage zur Vergleichung über die Güte der Verbindungen geben die nachfolgenden, nach dem Grade der festgestellten Schwächungen abgestuften Zusammenstellungen der Resultate:

Schwächung von Leitungsdrähten durch Leitungsverbindungen.

Schwächung in %	Anzahl geschwächter Leitungsdrähte durch							
	Wickellötstellen		Muffenverbindungen		Nietverbindungen		Anschlusslötstellen	
	absolut	in %	absolut	in %	absolut	in %	absolut	in %
0	35	26	10	21	3	43	2	20
1÷10	54	40	24	51	3	43	8	80
11÷20	21	16	7	15	1	14	–	–
21÷40	18	13	6	13	–	–	–	–
41÷65	7	5	–	–	–	–	–	–
Total	135	100	47	100	7	100	10	100

Diese Zusammenstellung zeigt bei den Wickellötstellen, wie bei den Muffen durchaus ähnliche prozentuelle Schwächungen. $^1/_5$ bis $^1/_4$ dieser Verbindungen besitzen mindestens die gleiche Festigkeit wie die zugehörigen Drähte. Bei ungefähr der Hälfte sämtlicher geprüften Muffen- und Wickelverbindungen war im Weitern die festgestellte Schwächung kleiner als 10% der Zugfestigkeit der Leitungsdrähte. Bei den restlichen Verbindungen mit grösserer Schwächung war bei den beiden Verbindungsarten wieder ein ähnliches Verhalten zu konstatieren. Immerhin verhielten sich die Wickellötstellen gegenüber den Muffen insofern etwas ungünstiger, als 5% derselben eine ganz erhebliche und gefährliche Schwächung von über 40% aufwiesen.

Die Versuche ergaben ferner, dass weder die Wickel*länge* noch die Muffen*länge* einen erkennbaren Einfluss auf die Güte der Verbindungen hatte.

Bei den Nietverbindungen und Anschlusstellen zeigten die Versuchsresultate gleichmässigere Festigkeitsverhältnisse, Schwächungen über 20 % kamen nicht vor.

Es mag noch interessieren, die Festigkeit der Verbindungsstellen auch zum *Drahtdurchmesser* in Beziehung zu bringen. Eine bezügliche Ausscheidung ergab die nachfolgenden Zahlen:

Drahtdurchmesser mm:	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	8
Zahl der Verbindungen:	29	15	39	22	40	6	19	4	8	17
Durchschnittl. Schwächung %:	12	7	10	7	7	6	13	14	4	15

Die vorstehende Tabelle lässt keinen gesetzmässigen Zusammenhang zwischen dem Drahtdurchmesser und der Güte der Verbindungsstellen erkennen. Die durchschnittliche Schwächung der letztern scheint nicht in Beziehung zum Drahtdurchmesser zu stehen. Wenn auch im Einzelnen bei den verschiedenen Drahtdurchmessern die festgestellten prozentualen Schwächungen von 4 bis 15% schwanken, so liegt die Ursache hierzu wohl in der verhältnismässig geringen Zahl von durchgeführten Versuchen, die deshalb vom Zufall mehr oder weniger beeinflusst sein mögen. Wenn man die Fälle der ungünstigsten Zerreissergebnisse (über 20% Schwächung) für die Betrachtung weglässt, so ergibt sich für alle Drahtdurchmesser eine nicht mehr wesentlich voneinander verschiedene Schwächung des Drahtes durch die Verbindungsstellen. Auf alle Fälle ist aber durch die Versuche zutage getreten, dass die Verbindungen in den dickeren Drähten (5 – 8 mm) gegenüber solchen in dünneren Drähten (3 – 4 mm) hinsichtlich ihrer Festigkeit nicht im Vorteile sind.

Schon nach den ersten Festigkeitsversuchen liess sich der schädigende *Einfluss einer allzustarken Erwärmung beim Lötverfahren* deutlich erkennen. Um diesbezüglich in den Besitz einwandfreier Versuchsobjekte zu gelangen, veranlasste der Vertreter der Obertelegraphendirektion das Telephonbureau Bern, bei Kupferdrähten von 3, 4 und 5 mm Durchmesser je zwei Wickellötstellen anzufertigen und zwar unter Verwendung des Lötkolbens bei der einen Hälfte und der Stichflamme bei der andern Hälfte. Das Ergebnis der Zerreissproben an diesen Prüfungsobjekten bildete eine Bestätigung der erwarteten Resultate. Die Bruchfestigkeit der Verbindungsstellen bei der nämlichen 5 mm Drahtsorte betrug in einem Falle (Lötkolben) 810 kg und im andern Falle (Stichflamme) 515 kg. Die stärkere Erhitzung bei der Verwendung der Stichflamme hat demnach die Bruchfestigkeit der Verbindung um 36,4% vermindert. Beim 4 mm Draht betrug diese Verminderung 31,4%. Beim 3 mm Draht zeigte sich allerdings eine Verminderung von bloss 4,6%. Sie war aber bei den Versuchsobjekten wohl deshalb gering, weil beim verhältnismässig kleinen Durchmesser von 3 mm auch der Lötkolben unter Umständen eine beträchtliche Schwächung hervorzurufen im Stande ist. Diese Versuche erhärten jedenfalls den schädlichen Einfluss einer zu grossen Wärmeeinwirkung auf Lötverbindungen.

Wie eingangs erwähnt, bedingte die Festigkeitsprüfung der Verbindungsstellen eine *Zerreissprobe der zugehörigen Drähte.* Die bezüglichen Resultate bieten auch Gelegenheit zur Beurteilung der Frage, ob die verwendeten Starkstromdrähte den Festigkeitsanforderungen des Art. 49 der bundesrätlichen Vorschriften betr. Stark-

stromanlagen Genüge leisteten. Eine Zusammenstellung ergibt das Resultat, dass von 201 geprüften Drähten deren 167 oder 83% der bezüglichen Vorschrift entsprechen, während 34 Drähte oder 17% geringere Festigkeit (Abweichung im Mittel 15%) aufwiesen. In 9 Fällen ergaben die Versuchsresultate sogar eine Bruchfestigkeit der Drähte, die mehr als 20% kleiner war, als sie in den Vorschriften verlangt ist.

Herr Ritter hat das Ergebnis seiner Untersuchung über die Festigkeitsprüfungen der Verbindungsstellen in folgende Sätze zusammengefasst:

1. Von sämtlichen Leitungsverbindungen weist $^1/_4$ mindestens die nämliche Festigkeit auf, wie die zu verbindenden Drähte; dagegen sind die übrigen $^3/_4$ mehr oder weniger geschwächt, durchschnittlich ca. 13%. Die maximalen Schwächungen gehen bis zu 65%.

2. Bei der grösseren Hälfte der geschwächten Verbindungsstellen (56%) erfolgt der Bruch nicht in der Verbindung, sondern nebenan im Leitungsdraht, als Folge einer zu grossen Erwärmung. Bei ca. 30% tritt die Lösung der Verbindung ein, sei es durch Herausziehen der Drähte aus der Wickellötstelle oder Muffe, sei es durch Bruch des Drahtes.

3. Die mechanische Festigkeit von Wickellötstellen und Muffen ist ungefähr die nämliche. Dagegen weisen die sog. Anschlusslötstellen durchschnittlich nur eine geringe Schwächung auf (2,5%).

4. Der Durchmesser der Drähte spielt bei der Güte von Lötverbindungen keine wesentliche Rolle. Relativ ist die Festigkeit bei den dünnen Drähten eher grösser als bei den dickern.

5. Lötungen mit Stichflamme verursachen speziell bei dickern Drähten wesentlich grössere Schwächungen, als solche mit Lötkolben.

Note sur la capacité répartie des transformateurs ou des bobines d'induction.

Par *Paul Joye* et *Marius Besson*. Institut de Physique de l'Université de Fribourg.

L'existence d'une capacité répartie dans un transformateur ou dans une bobine d'induction ne peut être mise en doute. Sans parler de celle inhérente à tout conducteur, il est évident que la chute de tension entre spires voisines ou entre couches horizontales de spires, la différence de potentiel, généralement très grande entre les enroulements primaires et secondaires, donnent naissance dans ces appareils à des courants de capacité. Mais cette capacité est tellement complexe dans sa forme et dans son origine que le calcul est impuissant à en déterminer même l'ordre de grandeur. Quant à l'expérience, elle n'a guère fourni jusqu'ici que des résultats illusoires. C'est ainsi que Walter et Overbeck en se fondant sur les mêmes mesures ont attribué à la même bobine, l'un $1{,}1 \cdot 10^{-6}$ μF, l'autre une valeur 500 fois plus grande[1]). Plus tard Jves, à l'occasion d'une étude sur une bobine d'induction a publié des resultats dont Armagnat a montré le caractère problèmatique[2]).

Les difficultés que nous avons rencontrées au cours d'une étude sur le transformateur à résonnance nous ont montré que cette capacité jouait un rôle non négligeable; de plus, l'étude des phènomènes de résonance nous a suggèré une méthode de mesure de la capacité répartie. Laissant à une autre publication l'étude

[1]) Walter, Ann. der Physik, Bd. 62, S. 390. – Overbeck, Ibidem, Bd. 64, S. 193–216. – Walter, Ibidem, Bd. 66, S. 623–635.

[2]) Contributions to the Study of the induction Coil. Phys. Rev. 1902; tome 14. p. 280 et tome 15. p. 7 Armagnat. Eclairage électrique. Volume 46. p. 217–227.