

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 46 (1955)  
**Heft:** 19

**Artikel:** Zum Einfluss der Alterung des Leiterseiles auf die Koronaverluste bei Regen  
**Autor:** Seylaz, E. / Gerber, O.E.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1060949>

### **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:** 21.02.2026

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

welche erst nach dem Krieg in gleichmässiger Qualität erhältlich waren und Gewähr für eine gute Fabrikation boten. Mit diesen Materialien ist es dann gelungen, den mittleren Temperaturfehler dieser Messwerke auf ca. 0,5 % per 10°C zwischen 0 und 40°C zu bringen. Dadurch erhalten diese Messwerke erneut grösseres Interesse, weil so die guten Eigenschaften voll ausgenutzt werden können. Darunter sollen erwähnt werden:

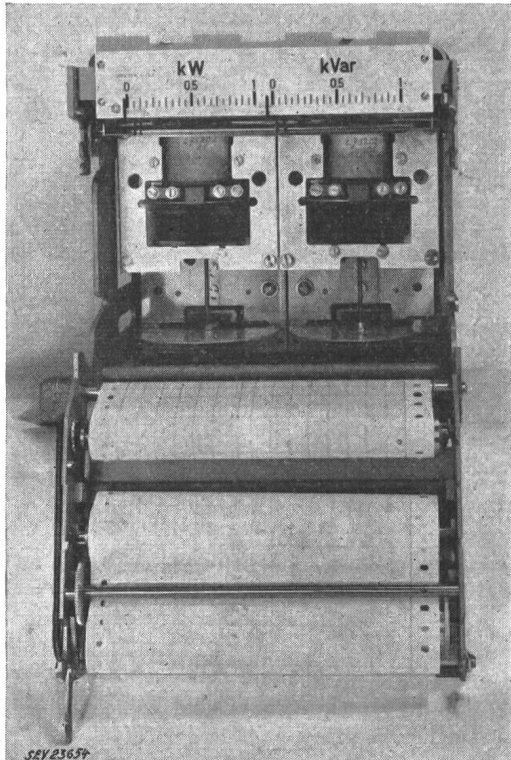


Fig. 8

Doppelwattmeter-Schreiber mit neuem Ferraris-Messwerk

1. Robustheit und Stossicherheit;
2. Die beweglichen Teile sind nicht stromführend;
3. Die Instrumente enthalten nur Stanz- und Drehteile;
4. Die Skala ist völlig proportional (Korrektur durch Scheibenform);
5. Die Instrumente sind in den Zählerwerkstätten leicht zu reparieren, weil fast alle gleiche Systeme haben;
6. Bemerkenswert sind die hohen Drehmomente.

Diese Messwerke werden sowohl als Registrier- (Fig. 8) wie auch als Schalttafelinstrumente (Fig. 9) gebaut. Dass bei dieser Entwicklung Rücksicht auf

die neuen raumsparenden Gehäuseformen genommen wird, braucht nicht speziell erwähnt zu werden.

Es ist selbstverständlich nicht möglich, in einem so engen Rahmen alle Neuerungen der Messinstrumente von Kraftwerken, welche nach dem Krieg gebaut wurden und noch gebaut werden, zu erwähnen. Durch diese — wie man sagt — ausge-

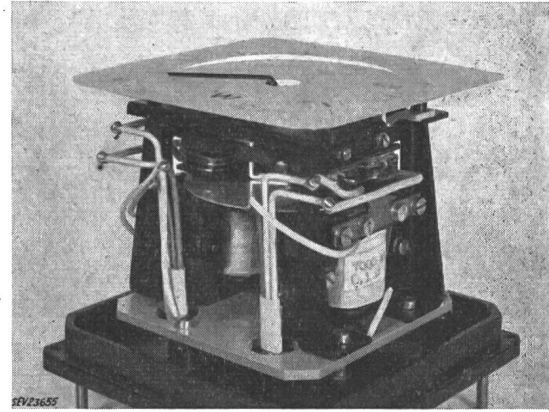


Fig. 9

Longscale-Schalttafelwattmeter mit 2 Triebwerken

wählten Kapitel wollte ich Ihnen nur zeigen, dass neue Prinzipien und neue Ideen die Zeichen der Zeit und wert zum Diskutieren sind, und dass alte Prinzipien zeitgemäss gestaltet, noch viel Interessantes enthalten können.

#### Literatur

- [1] Laurie, W. D.: On the Design of Scales for Gauges and Instruments. Instrum. Pract. Bd. 8(1954), Nr. 5, S. 410...413.
- [2] Rein, Hermann: Physiologie des Menschen. S. 535 ff. Berlin: Springer 1949.
- [3] Blamberg, E.: Zuschrift an die Redaktion zu dem Artikel «Bauformen moderner Schalttafelinstrumente und Gesichtspunkte zu ihrer Beurteilung.» Von A. von Weiss, Bull. SEV Bd. 45(1954), Nr. 16, S. 686...687.
- [4] Wiener, Norbert: Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine. New York: Wiley, Paris: Hermann 1948.
- [5] Keinath, George: Der Keinath-Recorder. Grundprinzip. ATM Liefg. 163(August 1949), Bl. J 031-15, S. T. 67...68. Keinath, George: Vielfach-Messung und -Registrierung zur Betriebsüberwachung. ATM Liefg. 200 (September 1952), Bl. J 032-4, S. 199...200. Keinath, George: Multiple X-Y Recorder for Testing Quartz Crystals. Electronics Bd. 18(1945), Nr. 1, S. 106...111.
- [6] Kuhrt, Friedrich: Eigenschaften der Hallgeneratoren. Siemens Z. Bd. 28(1954), Nr. 8, S. 370...376. Hartel, Walter: Anwendung der Hallgeneratoren. Siemens Z. Bd. 28(1954), Nr. 8, S. 376...384.
- [7] Barlow, H. E. M.: The Application of the Hall Effect in a Semi-Conductor to the Measurement of Power in an Electromagnetic Field. Proc. Instn. Electr. Engrs. Part. B, Bd. 102(1955), Nr. 2, S. 179...185.

Adresse des Autors:

G. Induni, Vizedirektor, Trüb, Täuber & Co. A.-G., Ampèrestrasse 3, Zürich 10/37.

## Zum Einfluss der Alterung des Leiterseiles auf die Koronaverluste bei Regen

Von E. Seylaz, Lausanne, und O. E. Gerber, Zürich

621.317.384 : 621.3.015.532 : 621.315.145

### 1. Einleitung

Bei den heute üblichen Übertragungsspannungen für Fernleitungen sind die Koronaverluste ein wichtiger Faktor geworden. Ihre Vorausbemutung war jedoch bis vor wenigen Jahren recht heikel, da noch relativ wenig übereinstimmende Unterlagen über ihren Charakter und ihre Einsatz-

spannung vorhanden waren. Die starke Witterungsabhängigkeit der Koronaverluste wurde jedoch schon sehr früh festgestellt.

Auf Grund der von Pothoff nachgewiesenen Möglichkeit der Umrechnung von Koronaverlusten einer bestimmten Leiteranordnung auf eine andere Leiteranordnung, können heute die nötigen Pro-

jektierungsunterlagen beschafft werden durch Versuche an einem Versuchsstück des für die Leitung vorgesehenen Leiters. Zur Beschaffung solcher Unterlagen sind in den letzten 10 Jahren in verschiedenen Ländern Koronaversuchsstationen errichtet worden. Die gründliche Untersuchung eines Seilmusters bei verschiedenen Witterungsbedingungen nimmt in Freiluftversuchsstationen jedoch naturgemäß sehr lange Zeit in Anspruch.

Die im Jahr 1950 in Betrieb genommene Koronaversuchsstation der Forschungskommission für Hochspannungsfragen (FKH) des SEV und VSE ermöglicht, in der Umgebung des untersuchten Leiters den Luftdruck, die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit unabhängig voneinander zu verändern. Durch den Bau einer Koronaversuchsstation, in welcher das Leitermuster bei willkürlich zu änderndem Klima untersucht werden kann, wurde eine offensichtliche Lücke geschlossen.

Die Versuchseinrichtung ist bei früherer Gelegenheit ausführlich beschrieben worden<sup>1)</sup>. Sie bietet auch die Möglichkeit, Regen, Nebel, Rauheis und Wind zu erzeugen und die Temperatur des Leiters gegenüber der Umgebungsluft zu erhöhen.

Mit Hilfe der in der Koronaversuchsstation der FKH gemessenen Resultate konnten gute Unterlagen für die Wahl der wirtschaftlichsten Leiter für den Grossteil der in der Schweiz gebauten oder projektierten 225-kV-Leitungen geliefert werden. Neben der Aufnahme der Koronaverluste in Abhängigkeit der Versuchsspannung bei verschiedenen Klimabedingungen sind auch Spezialuntersuchungen durchgeführt worden um Einzelfragen abzuklären, die bei den auftretenden grossen Regenverlusten von Wichtigkeit sind. Im nachfolgenden werden einige Beobachtungen beschrieben, welche vor allem den Zustand der Leiteroberfläche als Ursache von verschiedenen grossen Regenverlusten zum Gegenstand haben.

## 2. Koronaverluste an Leitern mit nasser und feuchter Oberfläche

Aus allen Versuchsergebnissen geht der eminente Einfluss von der Leiteroberfläche anhaftenden Wassertropfen hervor. Ein Leiter, der bei trockener Oberfläche praktisch keine Koronaverluste aufweist, kann bei starkem Regen unzulässig hohe Verluste erzeugen. Andererseits können auch bei niederschlagslosem Wetter beträchtliche Verluste auftreten, die durch Kondensation von Wassertropfen an der Leiteroberfläche bedingt sind. Diese Tatsache ist von besonderem Interesse, wenn es sich um wenig belastete Ausweich- oder sog. Sicherheitsleitungen handelt.

Die in Fig. 1 dargestellten Verlustkurven sollen die starke Beeinflussung der Verluste durch Wassertropfen an der Leiteroberfläche in Erinnerung rufen, indem Verlustkurven an einem Al-Leiter von 26 mm Durchmesser für vier verschiedene Witterungen verglichen werden.

Die festgestellte Tatsache der grossen Regenverluste verlangte, dass die Vorgänge, die die Tropfenbildung an der Leiteroberfläche beeinflussen, durch Ergänzungsversuche nach Möglichkeit genauer untersucht wurden.

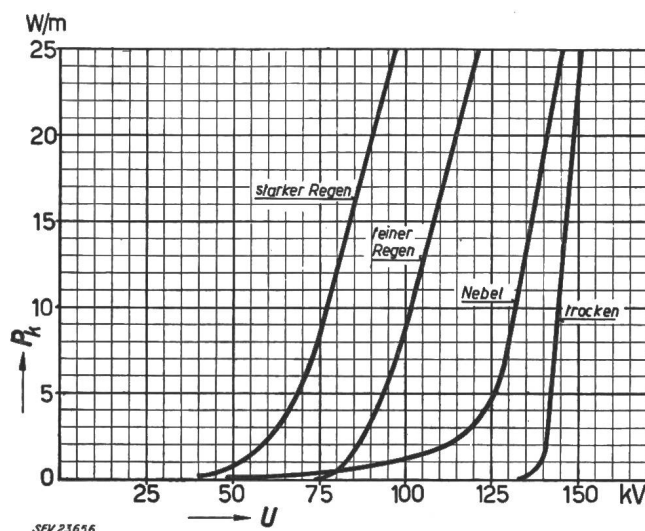


Fig. 1  
Koronaverluste  $P_k$  eines Al-Seiles mit Runddrahtdecklage von 26 mm Durchmesser bei verschiedenen Witterungsbedingungen in Abhängigkeit von der Versuchsspannung  $U$  in der Reuse  
Barometerstand  $b = 730$  mm Hg; Temperatur  $t = 20^\circ\text{C}$

## 3. Einfluss der Kondensationströpfchen bei hoher relativer Feuchtigkeit der Umgebungsluft

Die Tatsache, dass die Verlustkurve bei niederschlagsfreiem Witterungszustand oft nicht eindeutig reproduzierbar ist, beruht auf der Kondensation von kleinsten Wassertropfen an der Leiteroberfläche, bedingt durch die Luftfeuchtigkeit und eine, wenn auch nur geringe Temperaturdifferenz zwischen Leiter- und Umgebungsluft. Die Untersuchungen zeigten, dass schon bei praktisch gleicher Temperatur der Leiteroberfläche und einer kritischen relativen Luftfeuchtigkeit an der Leiteroberfläche kleinste, vom Auge nicht wahrnehmbare Wassertropfen entstehen, die für die erhöhten Koronaverluste verantwortlich sind.

In Fig. 2 ist der Einfluss der Kondensation von Wassertropfen an zwei Leitern von 19,7 bzw. 33 mm Durchmesser als Versuchsergebnis dargestellt. Die Kurven 1 und 3 stellen die Verluste in Abhängigkeit der Versuchsspannung dar, und zwar vorerst für sehr trockene Luft ( $F_r = 20\%$ ) und bei einer Leitertemperatur, die gleich der Temperatur der Umgebungsluft ist. Wird die Luftfeuchtigkeit stark gesteigert ( $F_r = 90\%$ ), so treten bei nicht geheiztem Leiter grössere Verluste auf, wie sie in der Kurve 2 bzw. 4 dargestellt sind. Wird nun der Leiter bei gleichbleibender grosser Luftfeuchtigkeit gegenüber der Umgebungsluft um  $8\ldots 10^\circ\text{C}$  erwärmt, so verschwinden die Kondensationströpfchen an der Leiteroberfläche und die Verluste fallen genau auf die Werte zurück, die bei kleiner Luftfeuchtigkeit gemessen worden sind. Die Kurven Nr. 1 und 3 gelten deshalb auch für grosse Luftfeuchtigkeit bei erhöhter Leitertemperatur. Eine allfällige Übertemperatur des Leiters, herrührend von den Ohmschen Verlusten, wird sich an einer

<sup>1)</sup> Seylaz, E., und K. Berger: Versuchsanlage für die Messung der Koronaverluste von Höchstspannungsleitern unter willkürlich erzeugbaren oder natürlichen klimatischen Verhältnissen. Bull. SEV Bd. 43(1952), Nr. 14, S. 593...601.

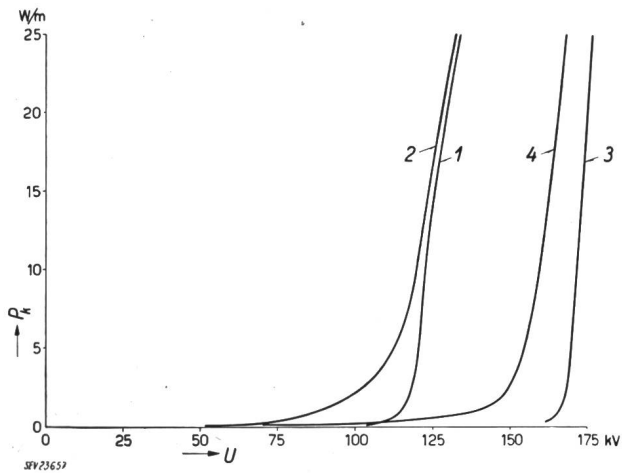


Fig. 2

Wirkung der Kondensation von feinsten Wassertropfen auf der Leiteroberfläche auf die Koronaverluste  $P_k$

- 1, 3  $F_r = 20\%$ ; Leitertemperatur = Temperatur der Umgebungsluft bzw.  
 $F_r = 90\%$ ; Leitertemperatur  $8...10^\circ\text{C}$  über der Temperatur der Umgebungsluft;  
 2, 4  $F_r = 90\%$ ; Leitertemperatur = Temperatur der Umgebungsluft;  
 Den Versuchen lagen folgende Angaben zu Grunde:  
 1, 2 Cu-Leiter von 19,7 mm Durchmesser;  $b = 730\text{ mm Hg}$ ;  
 $t = +5^\circ\text{C}$ ;  
 3, 4 Al-Leiter von 33 mm Durchmesser;  $b = 732\text{ mm Hg}$ ;  
 $t = +18^\circ\text{C}$   
 $F_r$  relative Luftfeuchtigkeit;  $U$  Versuchsspannung

Freileitung für Zeitabschnitte mit hoher relativer Luftfeuchtigkeit günstig auswirken in bezug auf die Koronaverluste. **a**

Es wäre noch zu untersuchen, wie gross die Erwärmung der Leiter bei wirtschaftlich tragbaren Ohmschen Verlusten werden kann bei verschiedenen Umgebungstemperaturen bzw. Abkühlungsbedingungen. **b**

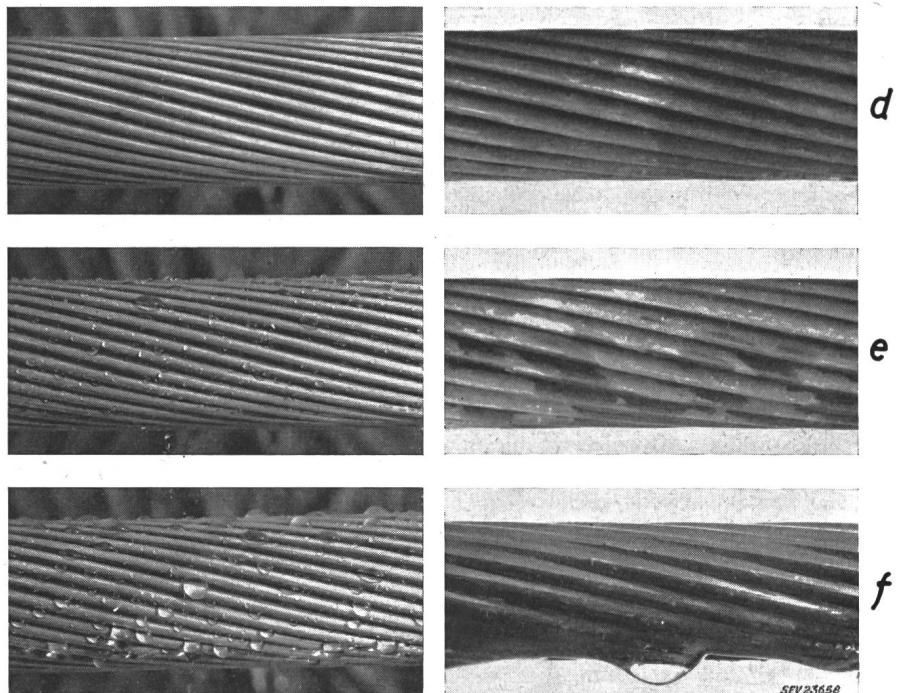


Fig. 3

- Einfluss der Alterung auf die Benetzbarkeit der Seiloberfläche  
 a, b, c neues Al-Seil von 33 mm Durchmesser  
 d, e, f natürlich gealtertes Kupferseil von 16 mm Durchmesser  
 a, d Leiteroberfläche trocken  
 b, e bei feinem Regen  
 c, f bei starkem Regen

#### 4. Einfluss der Alterung (Oxydation der Seiloberfläche) auf die Regenverluste

Die Alterung eines Leiterseiles erfolgt auf natürlicher Art, wenn der Leiter in ausgespanntem Zustand 1...2 Jahre der freien Witterung ausgesetzt bleibt. Auf diese Art werden sämtliche Fettrückstände ausgelaugt, so dass die Benetzungsmöglichkeit der Leiteroberfläche so vollständig wird, dass bei Tau oder Regen eine kontinuierliche Flüssigkeitshaut entsteht.

Eine künstliche Alterung des Versuchsseiles kann erreicht werden durch Abbrennen der Oberfläche mit der Flamme einer Lötlampe. Eine Reinigung durch Waschen mit Benzin oder entfettenden Flüssigkeiten genügt allein nicht, um die Wirkung natürlicher Alterung zu erreichen.

Die Wirkung der Alterung bei der Tropfenbildung am Leiter wird aus Fig. 3 deutlich sichtbar. Fig. 3a, b und c zeigen ein fabrikneues Al-Seil von 33 mm Durchmesser nach gewöhnlicher Entfettung in trockenem Zustand (Fig. 3a), unter leichtem feinem Regen (Fig. 3b) und unter starkem Regen (Fig. 3c). Fig. 3d, e und f zeigen ein Cu-Seil von 16 mm Durchmesser nach natürlicher Alterung, dargestellt bei den gleichen Bedingungen.

Der Vergleich der Bilder des benetzten neuen Seiles mit denjenigen des gealterten Seiles gibt eine eindeutige Erklärung für die beträchtlichen Unterschiede der Regenverluste bei den beiden Zuständen. Anstelle der vielen Einzeltropfen beim neuen Seil, die als Spitzen wirken, erscheint beim gealterten Seil eine geschlossene Flüssigkeitshaut mit nur wenigen grossen Tropfen mit grossem Krümmungsradius.

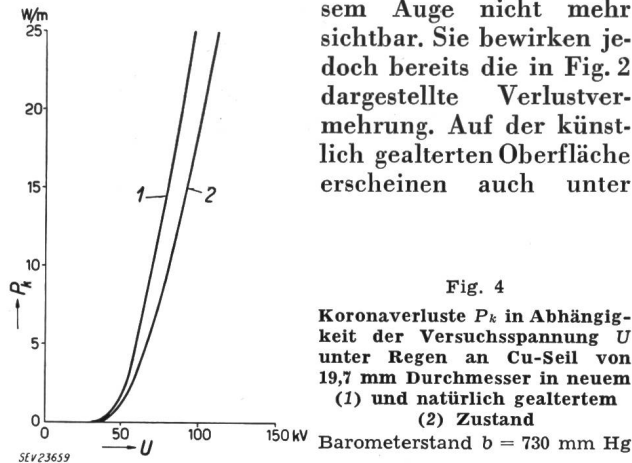
In Fig. 4 sind die Regenverlustkurven eines Cu-Seils von 19,7 mm Durchmesser für ein neues und ein natürlich gealtertes Seilstück

einander gegenübergestellt. Bei dem von Natur aus sehr steilen Anstieg der Verlustkurven kann die Alterung je nach Lage der Arbeitsspannung eine Verminderung der Verluste von  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{3}$  von denjenigen des neuen Leiters ausmachen. Bei *Taubildung* sind am gealterten Seil die gleichen Erscheinungen wirksam. Die beiden Aufnahmen der Fig. 5 zeigen das Ergebnis einer Untersuchung an einem betauten Cu-Leiter. Es handelt sich um mikroskopische Aufnahmen der Ober-



fläche des Leiters im fabrikenen Zustand (Aufnahme 45) und nach künstlicher Alterung durch Abbrennen mit der Flamme (Aufnahme 47). Die beiden Strichmarken haben in Wirklichkeit einen Abstand von 1 mm. Die beim neuen Leiter durch das Mikroskop deutlich unterscheidbaren Tautropfen sind von bloss

sem Auge nicht mehr sichtbar. Sie bewirken jedoch bereits die in Fig. 2 dargestellte Verlustvermehrung. Auf der künstlich gealterten Oberfläche erscheinen auch unter



dem Mikroskop keine unterscheidbaren Tröpfchen mehr.

Die beschriebenen Untersuchungen erklären zu einem grossen Teil die Erscheinungen, die für das Auftreten der grossen Koronaverluste an nassen und feuchten Leiterseilen verantwortlich sind. Die

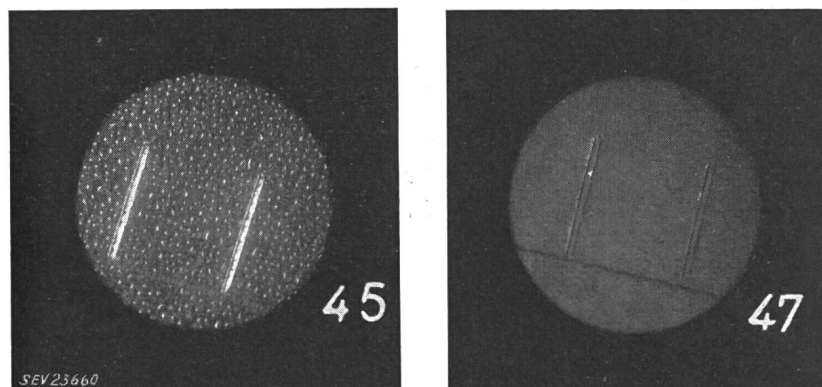
## 5. Einfluss der Decklage auf die Koronaverluste

Es ist naheliegend, dass die Beschaffenheit der Decklage eines Leiters einen besonderen Einfluss ausübt auf die Entstehung der Koronaverluste. So können von einem Leiter mit Flachdecklage bei guter Fugung der einzelnen Flachleiter günstigere Verhältnisse erwartet werden. Zu einer quantitativen Aussage, ob solche Leiter vorzuziehen wären, liegen jedoch noch zu wenig Resultate von Vergleichsversuchen vor. Da die Gestehungskosten für Leiter mit solcher Flachdecklage höher liegen als für Seile mit der heute üblichen Runddrahtdecklage, müssten noch anhand der zugänglichen Angaben der Koronaverluste für solche Leiter Wirtschaftlichkeitsberechnungen durchgeführt werden.

Eine andere Beobachtung zeigt, dass bei Leitern mit Runddecklage die Verluste bei trockener Witterung etwas höher liegen, wenn der Durchmesser der Runddrähte, welche die Decklage bilden, grösser als z. B. 4 mm ist, als bei Leitern mit kleinerem Durchmesser der Deckdrähte. Die mittlere Feldstärke an der Oberfläche dieser Leiter ist zwar etwas kleiner als bei Leitern mit dünneren Deckdrähten, doch verläuft die Verlustkurve im untersten Teil bis zum charakteristischen Knie etwas flacher, so dass gerade im Bereich der Anfangsverluste höhere Werte auftreten, was bei der Berücksichtigung der Schönwetterverluste, die in diesem Bereich liegen, vermerkt werden muss. Dieser Verlauf der Verlustkurve scheint auch nach erfolgreicher

Fig. 5

Wirkung der Alterung auf die Tautbildung an der Leiteroberfläche  
Mikroskopische Aufnahmen der Leiteroberfläche eines neuen und eines künstlich gealterten Cu-Seiles. Der Abstand der Strichmarken entspricht in Wirklichkeit 1 mm  
Aufnahme 45: Tautropfen am neuen Leiter  
Aufnahme 47: Tautropfen am künstlich gealterten Seil



Resultate weisen die Richtung, in welcher geforscht werden muss, um die bis heute unvermeidlichen hohen Koronaverluste bei Regen verringern zu können, indem die bei der Alterung der Leiter erreichte Wirkung eventuell durch besondere Behandlung und Formgebung der Leiteroberfläche gesteigert werden könnte.

Alterung der Seile vorhanden zu sein. Für 225-kV-Leitungen sollten anhand der vorliegenden Erfahrungen die Deckdrähte nicht dicker als 3...3,5 mm gewählt werden.

### Adressen der Autoren:

E. Seylaz, Chemin de Vermout 20, Lausanne.  
O. E. Gerber, Mühlebachstrasse 30, Zürich 8.

## Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

### Internationale Ausstellungen für die friedliche Verwendung der Kernenergie in Genf

061.4(494.421) : 621.039.4

Anlässlich der 1. internationalen Konferenz über die friedliche Verwendung der Atomenergie fanden in Genf zwei Ausstellungen statt: eine rein wissenschaftliche Ausstellung im Palais des Nations unter dem Patronat der Vereinigten Nationen und eine industrielle Ausstellung im Palais des Expositions unter dem Patronat des Genfer Stadtrates.

Im Palais des Nations stellten folgende Nationen aus: Frankreich, Grossbritannien, Kanada, die skandinavischen Länder Dänemark, Norwegen und Schweden in einer gemeinsamen Abteilung, USA und USSR. Die einzelnen Nationen gaben einen Überblick über ihre bereits geleisteten wissenschaftlichen Beiträge sowie über ihre Zukunftspläne auf dem Gebiet der kernwissenschaftlichen Anwendungen. In einem besonders erstellten Bau zeigten die USA den «Swimming-Pool»-Versuchsreaktor, der bekanntlich von der Schweiz erworben wurde, im Betrieb.