Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 42 (1951)

Heft: 24

Artikel: Die Dämpfung von leitungsgerichteten Trägerfrequenzwellen durch Rauhreif

Autor: Quervain, A. de

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1056906

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: 10.08.2025

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

lution du Congrès International de l'Electricité von 1904 in Saint Louis gegründet. Heute gehören ihr folgende Staaten an: Argentinien, Australien, Österreich, Belgien, Kanada, Dänemark, Ägypten, USA, Finnland, Frankreich, Ungarn, Indien, Italien, Norwegen, Niederlande, Polen, Portugal, Grossbritannien, Schweden, Schweiz, Tschechoslowakei, URSS, Südafrikanische Union.

Die CEI hat zum Zweck, die Koordination und die Vereinheitlichung der nationalen Normungen in der Elektrotechnik zu erleichtern. Sie kann auch selbst Empfehlungen herausgeben, welche damit nach bester Möglichkeit internationalen Vereinbarungen entsprechen und helfen sollen, die nationalen Normen zu vereinheitlichen. So sind im Aluminiumsektor internationale Spezifikationen für die physikalischen Eigenschaften, insbesondere des elektrischen Widerstandes der verschiedenen Aluminium-Qualitäten, wie sie für Freileitungen, Kabel und Schienen verwendet werden, ausgearbeitet worden. Auf Grund dieser Empfehlungen sind in der Schweiz vom FK 7 des CES Regeln ausgearbeitet und vom SEV herausgegeben worden (Publikation Nr. 157 des SEV). Das FK 7 arbeitet seit 1936. Es hat auch Leitsätze für die Verwendung von Aluminium und Aluminiumlegierungen im Regelleitungsbau (Publikation Nr. 174 des SEV) veröffentlicht, welche während des Krieges besonders gute Dienste leisteten. Sodann hat es folgende Veröffentlichungen vorbereitet:

1. Tabellen über normale Durchhänge von Leiterseilen aus Aluminium und Aluminiumlegierungen in Regelleitungen und dabei auftretende Zugkräfte ausgearbeitet, welche in die Vorschriften des Starkstrominspektorates aufgenommen werden.

2. Leitsätze über Drahtschweissungen in Leitungsseilen aus Aluminium und Aluminiumlegierungen Ad.

3. Regeln für Leiterseile aus Aluminium, Aluminiumlegierungen Ad, Stahlaluminium und Stahlaluminiumlegierungen.

4. Leitsätze für die zulässige Dauerstrombelastung von Leiterseilen.

5. Regeln über halbhartes Aluminium für Wicklungen.

Im übrigen hat es die Zusammenarbeit mit den internationalen Organisationen zu besorgen und arbeitet in engem Kontakt mit dem Starkstrominspektorat. Vom VSM und der SNV werden Normen durch Technische Kommissionen (TK) bearbeitet und zwar hauptsächlich Dimensionsnormen sowie Normen über technologische Eigenschaften der Metalle und Legierungen. So gibt es gegen 100 Normblätter, welche Aluminium und alle gebräuchlichen Aluminiumguss- und Knetlegierungen, Profile, Rohre, Seile, Schienen und deren elektrische Belastbarkeit, sodann Apparatenanschlüsse und viele Gegenstände der Elektrotechnik aus Aluminium normieren.

Es wäre vielleicht noch zu erwähnen, dass Probleme, welche den Leitungsbau mit Aluminium betreffen, in internationalen Studienkommissionen der CIGRE behandelt werden.

Adresse des Autors:
M. Preiswerk, Dipl. Ing., Direktor der Aluminium Industrie A.-G., Avenue Ouchy 61, Lausanne.

Die Dämpfung von leitungsgerichteten Trägerfrequenzwellen durch Rauhreif

Von *A. de Quervain*, Zürich

621.396.44.018.8 : 551.574.42

Die Hochspannungsleitung Schwägalp–Säntis wurde als Versuchsleitung zur Messung der Dämpfung von Trägerfrequenzwellen durch Rauhreif benützt. Die wichtigsten Ergebnisse werden im Zusammenhang mit Art und Durchmesser des Rauhreifbehanges diskutiert und mit berechneten sowie gemessenen Werten anderer Autoren verglichen.

Der Artikel stellt eine überarbeitete Fassung des Berichtes Nr. 310 über dasselbe Thema der CIGRE, Session 1950, dar.

La ligne à haute tension entre la Schwägalp et le Säntis a été utilisée pour la mesure de l'affaiblissement des ondes de fréquence porteuse par le givrage. Discussion des principaux résultats, selon le genre et le diamètre de la couche de givre. Comparaison avec les valeurs calculées ou mesurées par d'autres auteurs. Cet article est le texte remanié du rapport n° 310 sur ce sujet, qui avait été présenté à la Session de la CIGRE de 1950.

1. Allgemeines

Die zunehmende Mehrfachausnützung von Hochspannungsleitungen durch Überlagerung von trägerfrequenten Strömen für Fernmeldezwecke macht es notwendig, im Bereiche von 50...300 kHz sich über den Einfluss des Leitungszustandes vermehrte Klarheit zu verschaffen.

Die Zuverlässigkeit von Fernwirkeinrichtungen hängt zum grossen Teil von der Sicherheit des Übertragungsweges ab. Schon lange war es bekannt, dass Rauhreif, Rauheis oder auch nur leichter Regen und Nebel eine starke Zusatzdämpfung für Trägerfrequenzen verursachen. Über den quantitativen Einfluss bestanden jedoch praktisch gar keine Angaben. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass die quantitative Auswertung von Dämpfungsmessungen, die an sich relativ einfach durchzuführen wären, in der Praxis auf grosse Schwierigkeiten stösst, indem lange Leitungen eine direkte Beobachtung und Bestimmung von Art, Durchmesser und Gewicht des Ansatzes an den Leitern längs des ganzen Weges kaum ermöglichen. Dazu kommt, dass je nach Höhenlage oder klimatischen Verhältnissen die Eis- oder Rauhreifansätze sehr unterschiedlich ausfallen und eine Bestimmung der Dämpfung als Funktion von Art und Durchmesser des Ansatzes praktisch verunmöglichen.

So kurze Leitungen, dass die erwähnten Nachteile nicht ins Gewicht fallen, sind in der Praxis kaum aufzufinden. Eine der Ausnahmen bildet die 10-kV-Speiseleitung Schwägalp–Säntisgipfel der Säntis-Schwebebahn. Bei einer totalen Länge von

etwa 1400 m bietet sie für das Studium der Vereisung und ihrer Auswirkungen den Vorteil, von der exponierten Lage des Säntismassives zu profitieren, welche besonders auf der Nordseite Veranlassung zu sehr intensiver Rauhreifbildung geben kann.

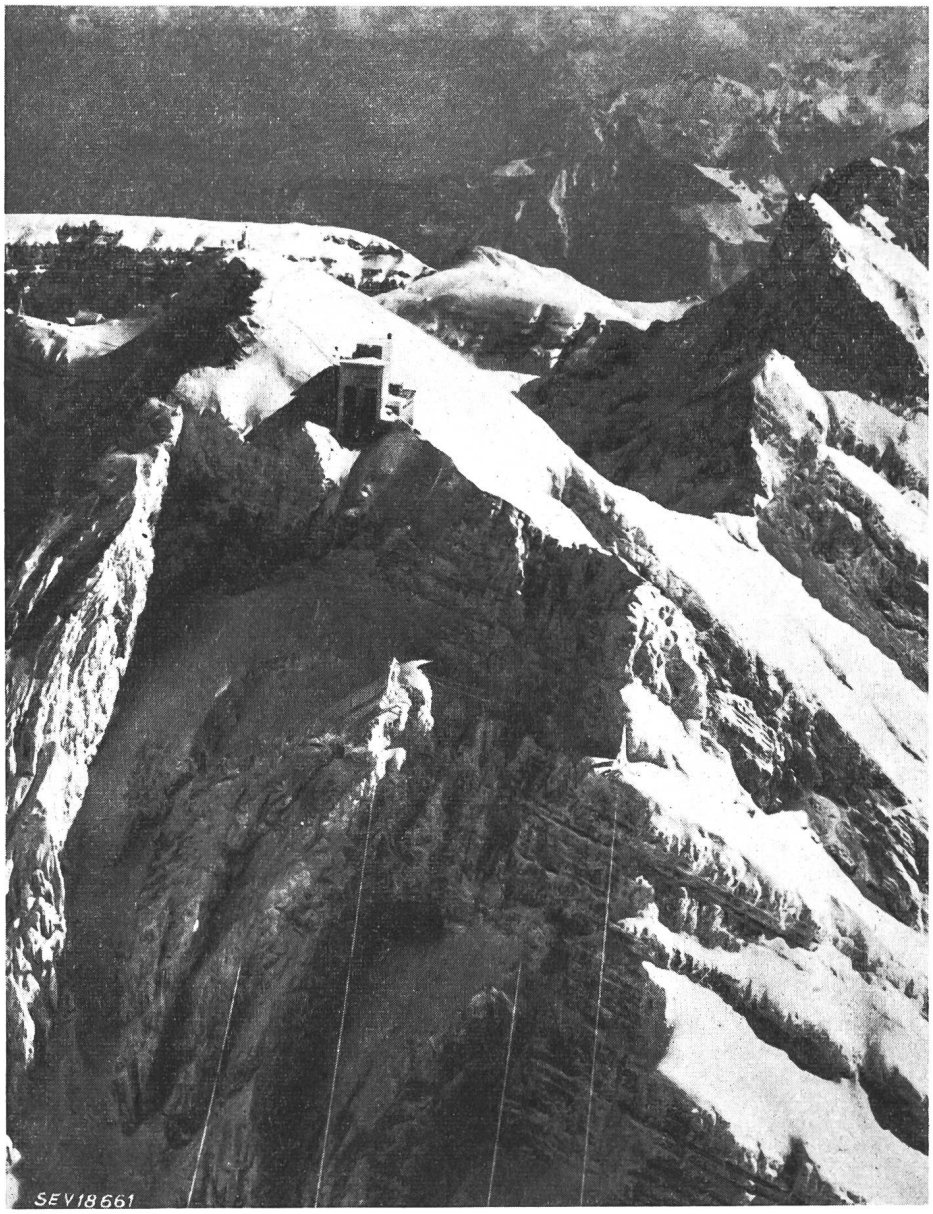

Fig. 1
Luftbild des Säntisgipfels
Blick auf die Bergstation der Säntis-Schwebebahn. Rechts der Bahn die 3 Einzelmasten der 3 Phasen der 10-kV-Leitung. Auf dem ersten Mast links befindet sich das Dynamometer und die Trägerfrequenzmesseinrichtung. Die Registriervorrichtungen befinden sich in der Bergstation und sind mit den Messeinrichtungen über 2 spezielle Kabel verbunden
(Photo Swissair)

Die dreiphasige Leitung Schwägalp–Säntis besteht aus 2 Spannweiten von 1000 bzw. 400 m Länge, in denen die 3 Phasen einzeln abgespannt verlaufen.

Fig. 1 gibt über die generelle Disposition der Leitung im oberen Drittel eindrücklichen Aufschluss.

Um sich ein Bild des mechanischen Einflusses von Rauhreif auf diese Leitung zu machen, wurde auf Veranlassung einer Unterkommission des Fachkollegiums 11 des Schweizerischen Elektrotechnischen Komitees (CES) im Jahre 1942 ein Dynamometer in der oberen Abspannung einer der 3 Phasen mit zugehöriger Registriervorrichtung in der Bergstation eingebaut. Zudem wurde in der Unterstation Schwägalp ein Abschmelztransformator vorgesehen, um die Leitung bei schwerem Rauhreifbehang vor Bruch zu schützen.

Diese Einrichtungen wurden in den Jahren 1942 und 1943 durch eine in der Bergstation installierte Registriervorrichtung ergänzt, welche gestattete, über diese Speiseleitung ankommende Trägerfrequenz-Spannungen aufzuzeichnen [2] [1]).

2. Beschreibung der Messanordnung

In der Unterstation Schwägalp ist ein Trägerfrequenzsender von 5 W Leistung an die 10-kV-Leitung angekoppelt. Die Trägerfrequenz wird alle 20 min zwischen den Werten 50 und 130 kHz gewechselt. Die gesendeten Ströme und Spannungen werden fortlaufend registriert, um eine zuverlässige Auswertung der Empfangsspannungen zu ermöglichen.

Die Freileitung wird etwa 100 m unterhalb des Säntisgipfels in ein Kabel übergeführt. An diesem Punkt wird die Trägerspannung ausgekoppelt und für die Messzwecke gleichgerichtet. Die Meßspannungen werden über ein separates Kabel in die Bergstation geführt, wo sich die Registriervorrichtung befindet (Fig. 2).

Es wurden vom Herbst 1942 bis zum Frühling 1949 jeden Winter fortlaufend Registrierungen durchgeführt. Gewisse Schwierigkeiten, die sich während der Messungen zeigten, wie auch einige rauhreifarme Winter machten eine solche zeitliche Ausdehnung der Messungen notwendig.

3. Auswertung und Diskussion der Messresultate

An Hand eines Beispiels, das aus dem umfangreichen Beobachtungsmaterial herausgegriffen

[1]) siehe Literatur am Schluss der Arbeit.

Zusammenhang zwischen Wetterlage, Seilzug und Dämpfung der Trägerfrequenzen Tabelle I

Datum	Zeit, Wetterlage	Seilzug	Dämpfung der Trägerfrequenz
19. 12. 1945	Abends Sturm aus SW, Nebel, t = — 4 °C	normal 0,6 t (Eigengewicht des Seiles)	langsam zunehmend
20. 12. 1945	Ab 11.30 starker Schneefall, gegen Abend Rauheisbildung	leicht steigend	rasch und stark zunehmend
21. 12. 1945	Klarer Himmel, t = — 8 °C, bis Mittag auf — 3 °C ansteigend	stationär	rasch abnehmend, da Belag unter Sonneneinfluss in den unteren Partien abfällt
22.–25. 12. 1945	Anhaltend schönes Wetter. Nebelmeer auf 600...700 m Höhe	stationär	stationär
25.–26. 12. 1945	Während der Nacht Schneefall, tags darauf klarer Himmel	stationär	zunehmend bis 26. 12. mittags, hierauf abnehmend (vgl. Lage am 21. 12. 1945)
27. 12. 1945	Starker Weststurm, ab 11.15 Rauheisbildung, t = — 2 °C	zunehmend	stark zunehmend
28.–31. 12. 1945	Anhaltender Weststurm. Temperaturfall auf — 15 °C. Bildung von Rauhreif hart, später Rauhreif weich	stark zunehmend	stark zunehmend
1.–9. 1. 1946	Schönes Wetter, leichter Nordwind, Nebelmeer auf 600...900 m Höhe. Temperatur von — 14 °C allmählich auf — 3 °C zunehmend	stationär	langsam abnehmend, Rauhreifbelag fällt in dem untern (vom Dynamometer nicht erfassten) Teilstück der Leitung langsam ab
10. 1. 1946	Nebel, leichter Schneefall, Wind nach Westen abdrehend und zunehmend, starke Rauheisbildung, t = — 3 °C	rasch zunehmend auf 3,6 t	rasch zunehmend
11. 1. 1946	Nebel, weitere Bildung von Rauheis, 15.00: Abschmelzen des Belages durch Aufheizen, t = — 3 °C	während des Abschmelzens rasch abnehmend	gleichzeitig abnehmend
12. 1. 1946	Nebel und leichter Schneefall, erneute starke Bildung von Rauhreif hart, Temperatur sinkt auf — 13 °C	starke Zunahme auf 3 t	starke Zunahme
13.–16. 1. 1946	Wind dreht nach Norden, Himmel hellt sich auf, Temperatur fällt auf — 24 °C	stationär	sehr langsam abnehmend
17.–20. 1. 1946	Wind dreht nach SW ab, Föhneinfluss	fällt rasch ab	rasch abfallend

wurde, soll generell der Zusammenhang zwischen Wetterlage, registriertem Seilzug, sowie Dämpfung der Trägerfrequenzen gezeigt werden (Tab. I). Die meteorologischen Aufzeichnungen der Wetterwarte auf dem Säntisgipfel, welche die Registrierungen in wesentlichen Punkten ergänzen und abklären halfen, wurden in freundlicher Weise von der Eidg. Meteorologischen Zentralanstalt in Zürich zur Verfügung gestellt.

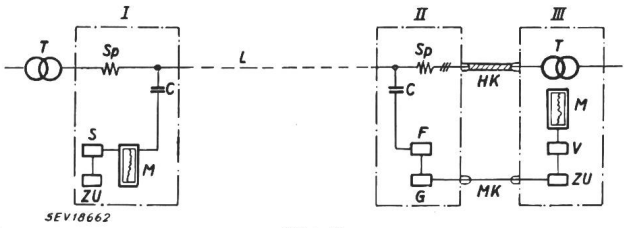

Fig. 2
Schema der Dämpfungs-Messeinrichtung

I Sendeeinrichtung auf der Schwägalp
S Trägerfrequenzsender für 50 und 130 kHz; *ZU* zyklische Frequenzumschaltung; *M* Registriervorrichtung; *Sp/C* Einkopplung an eine Phase der 10-kV-Leitung
II Messeinrichtung auf Abspannmast
F Empfangsfilter; *G* Messgleichrichter; *Sp/C* Auskopplung
III Registrierung in der Bergstation
ZU zyklische Messwertumschaltung; *V* Gleichstromverstärker; *M* Registriervorrichtung
T Leistungstransformator; *L* Hochspannungsleitung; *HK* Hochspannungskabel oberer Abspannmast—Bergstation; *MK* Messkabel

Deutlich geht aus gleichsinnigem Verlauf von Seilzug und Dämpfung die starke Abhängigkeit der Dämpfung von der Art und Dicke der angelagerten Schicht hervor. Eine absolute und exakte Auswertung in Funktion der Schichtdicke ist durch die Tatsache erschwert, dass nur für einen geringen Teil der Messungen wirklich zuverlässige Beobachtungen über Art und Länge des Rauhreifansatzes vorlagen.

Auch ist eine Klassifikation der Ansätze eine unbedingte Voraussetzung. Es wurden vor allem die folgenden 3 Formen beobachtet, wobei eine weitere Unterteilung durchaus möglich wäre:

a) Rauheis, glasartig klar oder trüb γ = 0,7...0,8, bildet sich vor allem bei Temperaturen um 0 °C (γ = spezifisches Gewicht).

b) Rauhreif dicht, hart, körnig γ = 0,3...0,7.

c) Rauhreif weich, blätterig oder schwammig γ = 0,1...0,3, bildet sich bei tieferen Temperaturen.

Praktisch beobachtet man meistens eine Kombination dieser Beläge, indem bei einem Temperaturfall zuerst ein Rauheiskern um den Leiter gebildet wird, der sich dann mit einer nach aussen mehr und mehr blätterigen Schicht überzieht. Unter Windeinfluss sind diese Ansätze oft sehr unsymmetrisch, z. B. von keulenförmigem Querschnitt.

Die in den Kurven der Fig. 4 und 5 angegebenen Werte für die kilometrische Dämpfung für «Rauhreif weich» beziehen sich auf eine Kombination mit Rauheiskern, wie sie bei den Untersuchungen auf dieser Leitung praktisch allein angetroffen wurde. Obschon es sich nur um Richtwerte handeln kann,

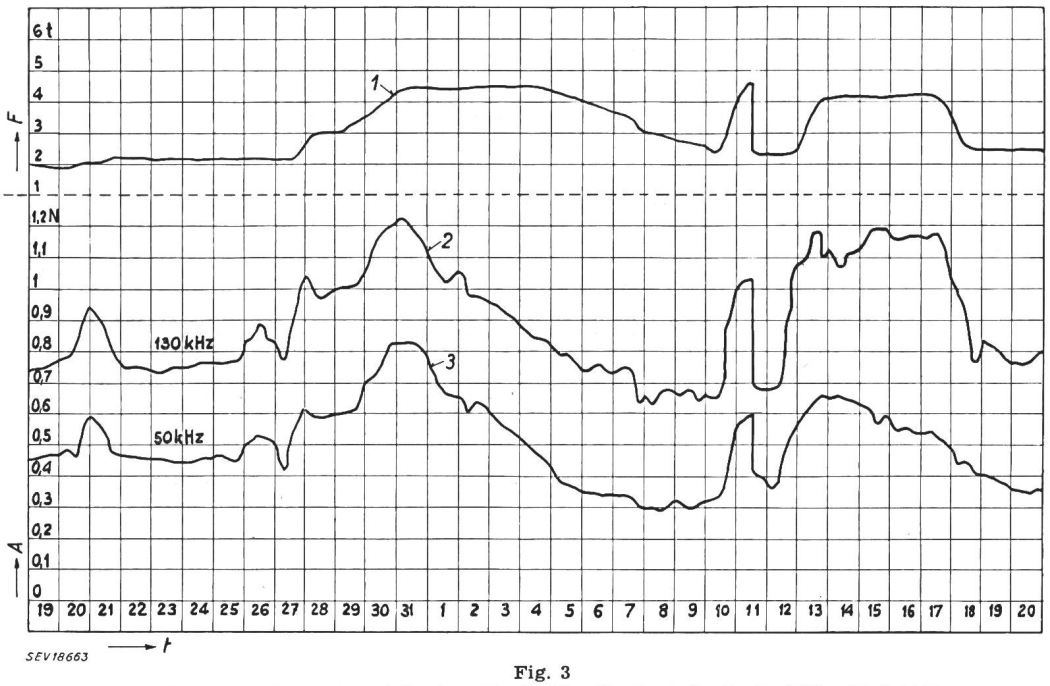

Fig. 3
Diagramm der aufgezeichneten Werte für die Periode 19. 12. 1945 — 20. 1. 1946
1 Seilzug in Tonnen (Eigengewicht des Seiles 0,6 t); *2, 3* Dämpfung bei 130 bzw. 50 kHz inklusive Einkopplungs- und Auskopplungsverluste; *t* Zeit; *A* Dämpfung; *F* Seilzug

lässt der Kurvenverlauf doch einige wichtige Schlüsse zu:

a) Die Dämpfung nimmt mit steigender Frequenz unter im übrigen gleichen Bedingungen zu.

b) Die Dämpfungszunahme ist im ersten Moment des Schichtansatzes am grössten. Diese Zunahme ist ungefähr gleich gross, gleichgültig ob es sich um reinen Eisansatz oder auch nur um Rauhreif handelt.

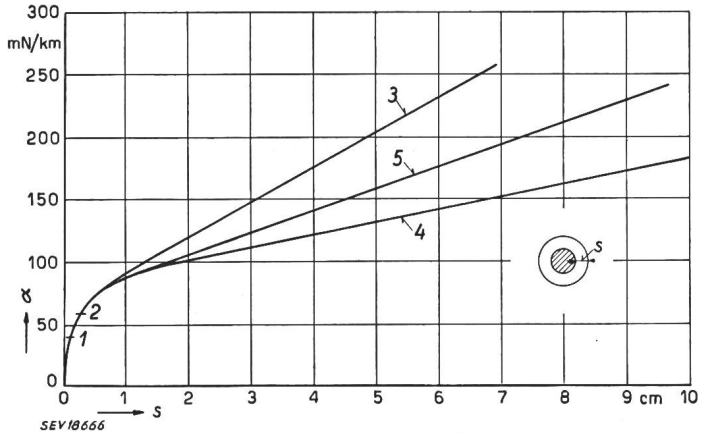

Fig. 4
Dämpfung pro km einer Trägerfrequenz in Funktion der Art und Dicke des Schichtansatzes für 50 kHz
1 Nebel; *2* dünner Rauheisüberzug; *3* Rauhreif, weich, wassergetränkt oder Naßschnee; *4* Rauhreif weich, mit Kern aus Rauhreif hart; *5* Rauheis; *α* Dämpfungsbelag; *s* Dicke

c) Für stärkere Ansätze ist die Dämpfung umso grösser, je grösser das spezifische Gewicht des Ansatzes ist.

d) Naßschnee bzw. mit Feuchtigkeit getränkter Rauhreif als Folge eines plötzlichen Temperaturanstieges ergeben Dämpfungswerte, die noch über denjenigen von reinem Eis liegen können.

Die Dämpfungszunahme pro km, die mehr als das Zwanzigfache des Wertes für eine trockene Leitung betragen kann, ist nicht auf Ableitung in Isolatorenketten, die mit Eis überzogen sind, zurückzuführen, sondern auf dielektrische Verluste im Eis bzw. Rauhreif-

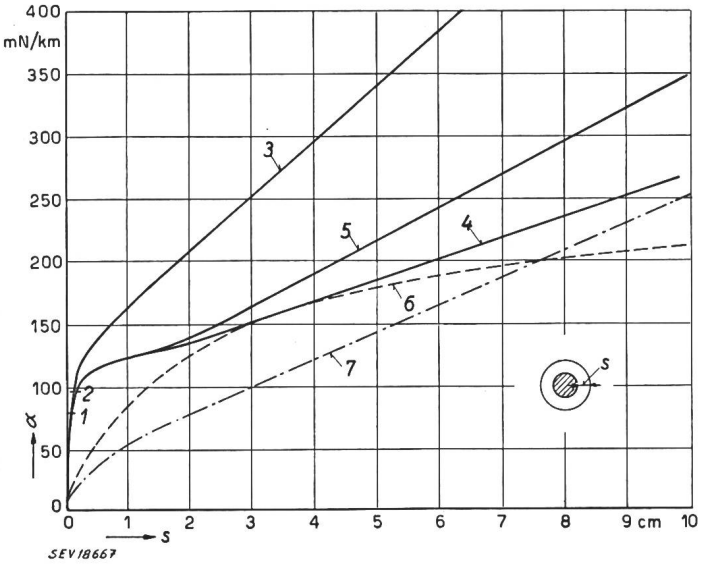

Fig. 5
Wie in Fig. 6, jedoch bei 130 kHz
1...5 wie in Fig. 6; *6* berechneter Wert für Rauheis nach Pelissier; *7* berechneter Wert für Rauheis nach Mikkelsen

belag rund um den Leiter. Den grössten Anteil an den Verlusten verursachen die innersten Schichten, wo auch die Feldstärke am grössten ist.

Es ist bekannt, dass Eis gerade im betrachteten Frequenzbereich einen ausserordentlich grossen Verlustfaktor aufweist, dessen Maximum bei 0 °C mit tg δ = 2,4 bei etwa 35...40 kHz liegt und sich mit abnehmender Temperatur zu niedrigeren Frequenzen verschiebt [4].

Leider sind bis heute keine Verlustmessungen an Rauhreif und Schneearten bekannt geworden; sie wurden deshalb für einige in diesem Zusammenhang interessierenden Schnee- und Rauhreifformen durchgeführt. Für die Durchführung dieser Messungen stellte das Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung Davos-Weissfluhjoch seine Kühlräume zur Verfügung. Die Messungen wurden mit einer zu diesem Zweck gebauten Hochfrequenzmessbrücke durchgeführt, welche gestattete, auch die Dielektrizitätskonstante der untersuchten Proben zu bestimmen.

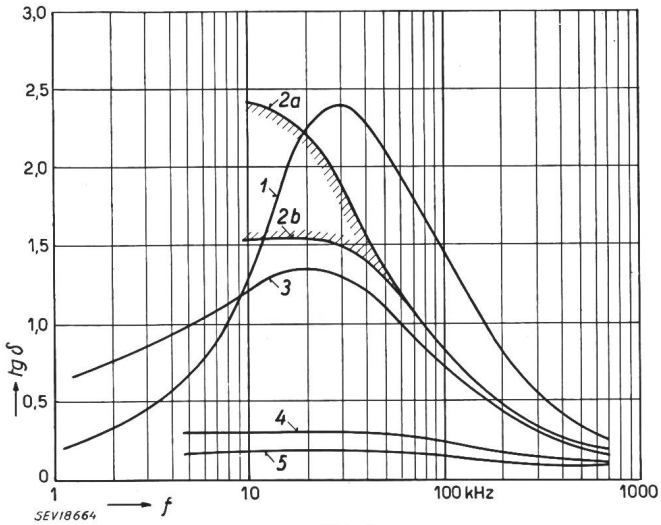

Fig. 6

Verlustwinkel von Eis und verschiedenen Arten von Rauhreif und Schnee in Funktion der Frequenz

(Temperatur —3 °C)

1 reines Eis; *2a, 2b* wassergetränkter Schnee Verschiedene Stadien der Ausfrierung: *3* gleicher Schnee wie bei *2a, 2b*, jedoch durchgefroren γ = 0,83; *4* körniger Schnee γ = 0,43; *5* Rauhreif, weich γ = 0,29; tg δ Tangens des Verlustwinkels; *f* Frequenz

Die Messwerte für tg δ und ε sind in Fig. 6 und Fig. 7 zusammengestellt. Die Kurven *2a* und *2b* der Fig. 6 zeigen den Verlustwinkel von Naßschnee in verschiedenen Phasen der Durchfrierung. Die Verluste nehmen hiebei mit zunehmender Durchfrierung ab. Angesichts des kleinen spezifischen Gewichts von Rauhreif und Schnee (Kurven *4* und *5*) ist das für Eis charakteristische Maximum fast vollständig verwischt.

Von verschiedenen Autoren ist auch versucht worden, die durch die dielektrischen Verluste erzeugten Dämpfungserhöhungen zu berechnen. In Fig. 5 sind berechnete Werte für Eisansatz auf Grund der Angaben von *Pélissier* und *Mikkelsen* eingetragen. Obschon die gemessenen und berechneten Werte grössenordnungsmässig gut überein-

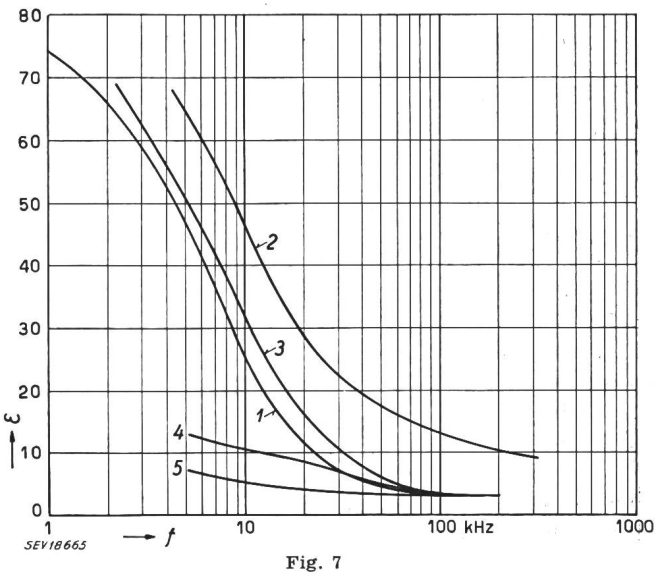

Fig. 7

Dielektrizitätskonstante von Eis und verschiedenen Arten von Rauhreif und Schnee in Funktion der Frequenz

(Temperatur —3 °C)

1 Eis nach F. X. Eder; *2...5* gleiche Proben wie für tg-δ-Messungen; ε Dielektrizitätskonstante

stimmen, zeigt sich speziell bei schwachen Ansätzen in unseren Messungen ein wesentlich stärkeres Anwachsen der Verluste.

Erfahrungswerte über den Einfluss von Regen und Nebel scheinen allerdings zu bestätigen, dass dünne Beläge von Wasser oder Eis Trägerfrequenzen wesentlich stärker dämpfen, als theoretisch erwartet wird. Eine genauere Abklärung der Vorgänge auf Leiteroberflächen ist im Zusammenhang mit dem Coronaeinfluss an verschiedenen Stellen im Gange, und bestimmt können in absehbarer Zeit noch nähere Aufschlüsse erwartet werden.

Literatur

[1] *Kaden, H.* und *K. Brückersteinkuhl:* Die Ableitungsverluste von Freileitungen bei Rauhreif. Elektrotechn. Z. Bd. 55(1934), Nr. 47, S. 1146...1148.

[2] *Wertli, A.:* Vom Einfluss des Rauhreifs auf die Fortpflanzung hochfrequenter Wellen über Hochspannungsleitungen. Brown Boveri Mitt". Bd. 31(1944), Nr. 11, S. 362...366.

[3] *Lamb, J.:* Measurement of dielectric properties of ice. Trans" Farady Soc. Bd. 42 A(1946), S. 238...253. [S. 243.]

[4] *Eder, F. X.:* Das dielektrische Verhalten von Eis. Ann. Phys. Lpz. 6. Folge, Bd. 1(1947), S. 381.

[5] *Mikkelsen, M. A.:* Affaiblissement de la transmission par courants porteurs sur ligne d'énergie, spécialement pendant la formation de verglas et de givre sur les conducteurs. CIGRE 13e Session(1950), t. III, rapp. 323.

[6] *Pélissier, René:* La propagation des ondes transitoires et périodiques le long des lignes électriques. Rev. gén. Electr. Bd. 59(1950), Nr. 9, S. 379...399; Nr. 10, S. 437...454; Nr. 11, S. 502...512.

Adresse des Autors:
Dr. *A. de Quervain*, Doldertal 18, Zürich 7/32.