Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 59 (1968)
Heft: 11

Artikel: Betriebserfahrungen mit Vollkernisolatoren und deren Prüfung mit Ultraschall in Finnland

Autor: Haro, L. / Hyyryläinen, S.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057399

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: 22.08.2025

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

Betriebserfahrungen mit Vollkernisolatoren und deren Prüfung mit Ultraschall in Finnland

Von *L. Haro* und *S. Hyyryläinen*, Helsinki

621.315.62:620.179.16

In Finnland hat man festgestellt, dass die Zahl der Isolatorenbrüche nach 12—14 Betriebsjahren zunimmt. In 75 % der Fälle sind die Brüche infolge Rissbildung entstanden. Der Ursprung der Isolatorenbrüche liegt in den bei der Herstellung entstandenen Mikrorissen. Diese vermehren sich im Spannungsfeld der Isolatoren, um schliesslich zum Isolatorenbruch zu führen. Auch Wärmespannungen, zusammen mit grossen und schnellen Temperaturschwankungen, sind von grosser Bedeutung für das Entstehen eines Spätbruches.

Rissbildung und Porosität können mit genügender Genauigkeit und Sicherheit mittels einer Ultraschallprüfung festgestellt werden, obwohl dabei einerseits ungefähr 4 % von einwandfreien Isolatoren ausgeschieden und anderseits Isolatoren mit geringer Rissbildung und Porosität als gut bezeichnet werden. Ob eine beginnende Rissbildung oder Porosität mit der Zeit zu einem Isolatorenbruch führt, und wie lang diese Zeit dauert, weiss man noch nicht genau. Man hat jedoch berechnet, dass eine Betriebszeit von 8—9 Jahren bei den geprüften Isolatoren, vom wirtschaftlichen Standpunkt betrachtet, genügend ist.

On a constaté en Finlande, que le nombre de cassures d'isolateurs augmente après 12–14 années de service. Dans 75 % des cas ces cassures se sont produites par suite de fissurations. Les fissures minuscules, formées lors de la fabrication, constituent l'origine des cassures d'isolateurs. Ces fissures se multiplient dans le champ électrique des isolateurs et causent à la fin la cassure de ces derniers. Des efforts de tension thermique, alliés à des variations trop élevées et trop brusques de température jouent également un rôle très important lors de ces cassures tardives.

Un contrôle ultrasonoscopique permet de déceler avec assez de précision et de sûreté la fissuration et la porosité, bien que ce contrôle élimine environ 4 % d'isolateurs dépourvus de défauts, en acceptant par contre des isolateurs à faible fissuration et porosité. Pour l'instant on ne dispose pas encore de données précises pour reconnaître si un début de fissuration ou de porosité causera par la suite une cassure d'isolateur et le délai dans lequel ce dernier se produira. On a toutefois calculé, qu'une durée de service de 8 à 9 années des isolateurs contrôlés est satisfaisante au point de vue économique.

1. Einleitung

Vollkernhängisolatoren werden seit 1928 im finnischen Freileitungsnetz verwendet. Die Zahl solcher Isolatoren überschritt gegen Ende der 1940er Jahre 100 000. Die Betriebserfahrungen zeigen, dass diese Isolatoren nicht vollkommen zufriedenstellend sind. Man stellte bei den Vollkernisolatoren Rissbildungen, eine Art von Verwitterung im Porzellan, fest, die oft zu Isolatorenbrüchen geführt haben. In den Jahren 1950/1951, als die Zahl der Isolatorenbrüche stark zunahm, wurde die allgemeine Aufmerksamkeit auf dieses Phänomen gerichtet. Die Isolatoren mit Rissbildung versuchte man anfangs auszuscheiden, indem man die eingebauten Isolatoren mit einer Belastung von 70 % ihrer Nennzugfestigkeit prüfte. Für eine Zeit schien damit die Sache als erledigt, nach ein paar Jahren wurden jedoch auch unter den geprüften Isolatoren aus Rissbildungen entstandene Brüche festgestellt.

Schon 1954 begann man die Möglichkeiten zu untersuchen, die Ultraschallprüfung zur Feststellung der Rissbildung an Isolatoren anzuwenden. Aber erst gegen 1960 konnte das Prüfverfahren serienmässig angewendet werden. Bis Ende 1966 wurden über 60 000 Vollkernisolatoren mit Ultraschall geprüft. Obwohl das Verfahren nicht hundertprozentig ist und nicht garantiert, dass auch Isolatoren mit nur schwacher Rissbildung entdeckt werden, kann man trotzdem die erhaltenen Ergebnisse als für die Praxis genügend und die Prüfung in wirtschaftlicher Hinsicht als richtig betrachten.

2. Jährliche Häufigkeit der Isolatorenbrüche

Fig. 1 zeigt die Schwankungen der jährlichen Bruchhäufigkeit der Vollkernisolatoren von 1952—1966 in Finnland, Tabelle I die prozentuale Verteilung der Ursachen der Isolatorenbrüche im selben Zeitabschnitt.

Die in Fig. 1 angegebene Bruchhäufigkeit (6 Brüche im Jahr pro 100 000 Isolatoren) ist im Vergleich mit den entsprechenden Werten anderer Länder sehr beruhigend.

In dem Fahrleitungsnetz der Deutschen Bundesbahn z. B. war die Bruchhäufigkeit von 1956—1959 11,5 [1] [1]) und bei den Schweizerischen Bundesbahnen von 1952—1966 22 [2]; als durchschnittliche Bruchhäufigkeit für Langstabisolatoren werden in der Literatur etwa 10 Brüche im Jahr pro 100 000 Isolatoren angegeben [3]. Typisch für diese Werte ist jedenfalls, dass sie sich grösstenteils entweder auf aus Porosität entstandene Brüche oder auf Scheibenbrüche beziehen. In Finnland dagegen spielen die Porosität und die Scheibenbrüche eine geringere Rolle (Tabelle I).

Vergleichsweise sei eine Statistik über die jährlichen Brüche von Kappenisolatoren gegeben, bei denen es sich eigentlich nicht um Brüche, sondern meistens um Durchschlagsschäden handelt. Ein totaler Bruch bei einem Kappenisolator ist nämlich äusserst selten. Gemäss der über die finnischen Freileitungen aufgestellten Statistik für die Jahre 1950 bis 1966 schwankten die durchschnittlichen Schadenhäufigkeiten bei verschiedenen Kappenisolatortypen beträchtlich. Die Bruchhäufigkeit der besten Kappenisolatoren betrug im Mittel 1...6, bei den schwächsten rund 1000 pro 100 000 eingebaute Isolatoren und pro Jahr.

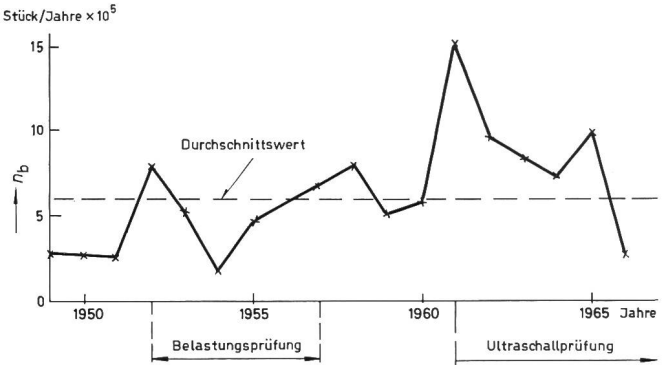


Fig. 1
Bruchhäufigkeit von Vollkernhängisolatoren in Finnland in den Jahren 1949...1966
(Durchschnittlich 6 Brüche im Jahr pro 100 000 Isolatoren)
n_b Bruchfrequenz

Ursachen der Isolatorenbrüche in den Jahren 1952—1966

Tabelle I

Ursache	Zahl der Isolatorenbrüche St.	%
Rissbildung	74	75,4
Rissbildung und Porosität	8	8,2
Porosität	2	2,0
Scheibenbrüche	3	3,1
Brenn- oder andere Herstellungsfehler	3	3,1
Gewitter	4	4,1
Frevel	4	4,1
total	98	100

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

3. Rissbildung

Der schwächste und störungsempfindlichste Punkt eines Vollkernisolators ist der Konus, in dem das Porzellan an dem Metallteil des Isolators befestigt ist. Rissbildungen kommen fast ausnahmslos im Porzellankonus des Isolators vor, und zwar etwa viermal häufiger in dem oberen Konus als in dem unteren. Die Rissbildung besteht anfänglich aus halbmondförmigen Rissen auf der Konusoberfläche, besonders an den Rändern. Die Risse vermehren sich dann mit der Zeit, bis sie eine spröde Stelle durch den ganzen Konus bilden. Aus den weit ausgedehnten Rissen entsteht unvermeidlich das Brechen des Isolators. Fig. 2 zeigt Entwicklungsstufen der Rissbildung.

Laut den Betriebserfahrungen ist die Entwicklung der Rissbildung von den folgenden Faktoren abhängig:

a) Mechanische Belastung. Aus Rissbildung entstandene Brüche treten in Spannketten (in denen die Belastung 3...4fach derjenigen der Hängeketten ist), etwa dreimal so oft wie in Hängeketten auf.

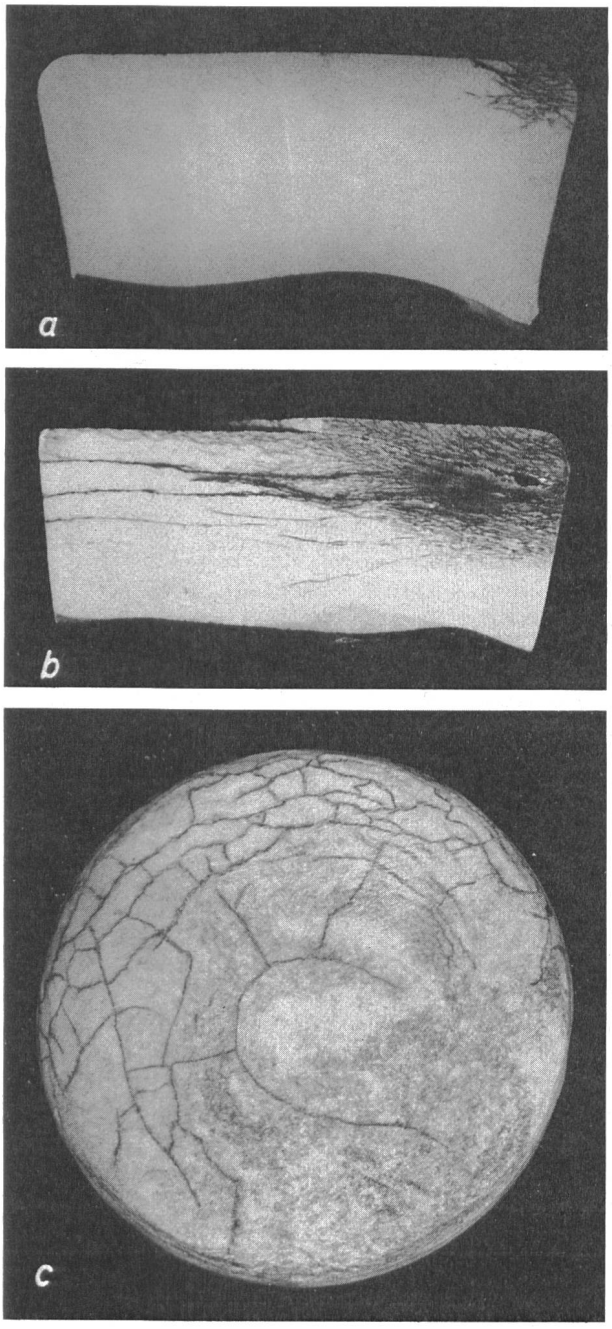


Fig. 2
Einige Entwicklungsstufen der Rissbildung
a Risse beginnend; *b* Risse weiterentwickelt; *c* Risse völlig entwickelt; Isolator gebrochen

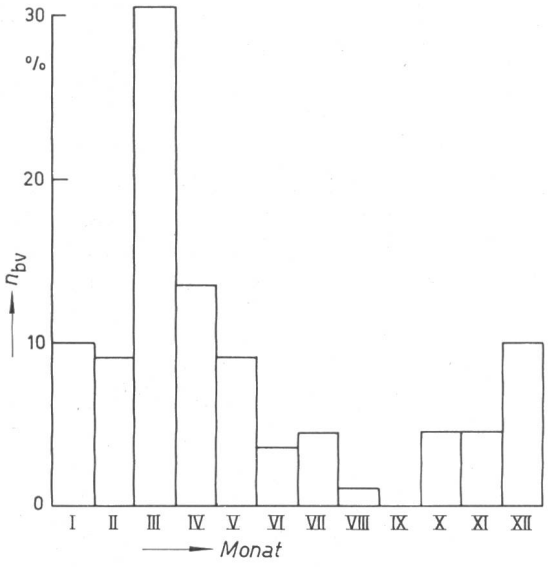


Fig. 3
Verteilung der Vollkernisolatorenbrüche
n_{bv} Bruchverteilung

b) Temperaturschwankungen. Die Anzahl der Isolatorenbrüche ist am grössten im Frühjahr, wenn die täglichen Temperaturschwankungen am stärksten sind (Fig. 3) [2]).

c) Betriebszeit. Rissbildungen hat man nie bei neuen Isolatoren feststellen können. Die Risse entwickeln sich mit der Zeit und nehmen im allgemeinen wenigstens 12—14 Jahre in Anspruch, bevor sie den Isolator zum Brechen bringen (Fig. 4).

Die Anzahl der Isolatoren mit Rissbildung entspricht etwa 1 % aller sich im Betrieb befindenden Isolatoren.

Was ist nun der Ursprung der Rissbildung?

Untersuchungen ergaben, dass die bei der Herstellung entstandenen Mikrorisse im Porzellan die erste Ursache der Rissbildung sind. Die Mikrorisse, zusammen mit der äusseren Belastung des Isolators und mit den bei der Herstellung und durch die Temperaturschwankungen entstandenen inneren Spannungen, verursachen so grosse Belastungsspitzen, dass die Zugfestigkeit des Porzellans überschritten wird.

H. Kläy hat den aus den Mikrorissen entstandenen Bruchmechanismus des Isolators mathematisch behandelt wie auch den Einfluss, den die durch plötzliche Temperaturschwankungen erzeugten Spannungen dabei haben [4]. Danach könnten die von den Mikrorissen hervorgerufenen Spätbrüche nur in porösen Isolatoren auftreten. In Finnland stellte man jedoch selten Porosität in einem wegen Rissbildung gebrochenen Isolator fest. Die Brüche sind grösstenteils bei anscheinend gesunden Isolatoren geschehen. Eine Erklärung dafür wäre vielleicht die, dass in quarzreichem Porzellan infolge des grossen Unterschiedes zwischen den Temperaturkoeffizienten des Quarzes und der Glasphase beim Abkühlen so grosse Wärmespannungen auftreten, dass sie Mikrorisse verursachen können [5; 6]. Auch *Kläy* erwähnt diese Möglichkeit, obwohl er die Porosität als den einzigen Grund für einen Spätbruch betrachtet.

[2]) Laut Berichten der Meteorologischen Zentralanstalt in Finnland fällt das Maximum der durchschnittlichen täglichen Temperaturschwankungen im allgemeinen auf die Monate Mai—September statt März—April. Die Temperaturangaben erhält man von einem gegen Sonnenstrahlung geschützten Thermometer, wogegen die tägliche Temperaturschwankung eines der Sonnenstrahlung ausgesetzten Objekts, wie eines Isolators, völlig anders sein kann. Es ist deshalb anzunehmen, dass bei einem Isolator die Temperaturschwankungen in den Monaten April—Mai am grössten sind, weil sich der Isolator durch die Sonnenstrahlung tagsüber am stärksten erwärmt und nachts wieder stark abkühlt. Diese Ansicht wird dadurch bestätigt, dass wesentlich weniger Brüche in dem gegen die Einstrahlung geschützten unteren Konus eines Isolators vorkommen als in dem oberen.

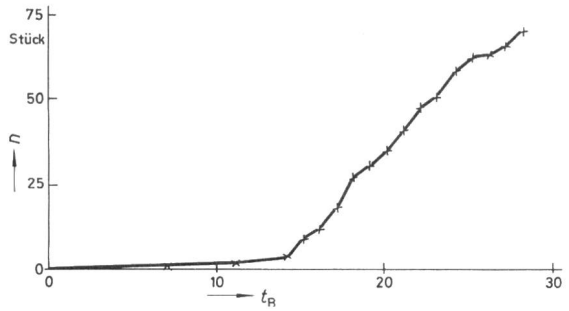


Fig. 4
Häufigkeitskurve der Vollkernhängisolatorenbrüche in Funktion der Betriebsjahre
n Brüche; t_B Betriebsjahre

4. Aussonderung von Isolatoren mit Rissbildung durch Zugbelastung

Als in Finnland die Zahl der wegen Rissbildung gebrochenen Isolatoren anfangs 1950 plötzlich zunahm, begann man eine Methode zu suchen, mit der die Isolatoren mit Rissbildung von den gesunden ausgeschieden werden könnten. Das erste Versuchsverfahren bestand darin, die Isolatoren mit einer Belastung, die 70 % der Nennzugfestigkeit entsprach, zu prüfen. Auf diese Weise wurden zwischen 1952 und 1957 über 20 000 Vollkernisolatoren geprüft. Bei der Prüfung zerbrachen 5,6 % der Isolatoren in den Hängeketten und 11,9 % in den Spannketten. Die dabei festgestellte minimale Zugbelastung für 8-Mp-Isolatoren betrug 500 kp und für 10-MP-Isolatoren 1000 kp. Unter den gebrochenen Isolatoren wurde in 11 % der Fälle Rissbildung festgestellt, die anderen Ursachen waren Porosität, Hohlräume und Einschlüsse. Jene Isolatoren, die die Zugprüfung bestanden hatten, wurden erneut verwendet, womit auf diesem Gebiet für einige Jahre Ruhe eingetreten war.

Mit diesem Prüfverfahren war es wohl möglich, Isolatoren mit schlimmster Rissbildung auszuscheiden, es war aber zweifelhaft, ob das Verfahren auch den Ursprung der Rissbildung aufdecken könnte. Spätere Betriebserfahrungen mit den die Zugprüfung bereits bestandenen Isolatoren haben diese Zweifel als richtig erwiesen. Gegen diese Prüfung sprach auch die Befürchtung, dass sie Scheibenbrüche verursachen könnte, die sich möglicherweise später weiterentwickeln und zu Isolatorenbrüchen führen könnten. Darüber hatte man aus dem Ausland reichliche Erfahrungen.

5. Aufdecken der Rissbildung mittels Ultraschall

Bis heute hat die Ultraschallprüfung einen festen Platz in der Fabrikationskontrolle von Vollkern- und Langstabisolatoren erobert. Viele Länder haben in ihre Normen für die Herstellung von Isolatoren gleichzeitig Empfehlungen zur Ultraschallprüfung aufgenommen.

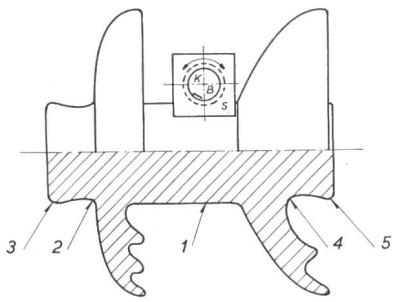


Fig. 5
Ultraschallprüfung an Vollkernhängisolatoren mit drehbarem Schallkopf
S Plexiglassattel; *K* drehbarer Plexiglaszylinder; *B* Bariumtitanatkristall; *1...5* Grundechos

Die in den Fahrleitungsnetzen der Deutschen Bundesbahn und der Schweizerischen Bundesbahnen vorgenommenen Ultraschallprüfungen haben erwiesen, dass diese Methode für das Prüfen nicht eingebauter Isolatoren geeignet ist. Die Durchführung der Prüfung ist jedoch schwieriger als die Fabrikationskontrolle mittels Ultraschall. Wegen der Metallkappen wird die Untersuchung besonders bei den Isolatorenkonen beträchtlich erschwert, weshalb auch die Versuchsergebnisse ungenau werden.

In Finnland wurden die Untersuchungen an Vollkernisolatoren zum Feststellen der Rissbildung mit Ultraschall 1954 begonnen. Anfänglich waren die Ergebnisse nicht sehr ermutigend — in den ersten Prüfserien hätten etwa 30...50 % der geprüften Isolatoren als zweifelhaft ausgeschieden werden sollen. Die Ursachen dieser Unsicherheit waren die folgenden:

a) Für die Ultraschallprüfung ist ein Vollkernisolator ein zu komplizierter Gegenstand, bei dem es zu viele Möglichkeiten für das Entstehen von Störechos gibt.

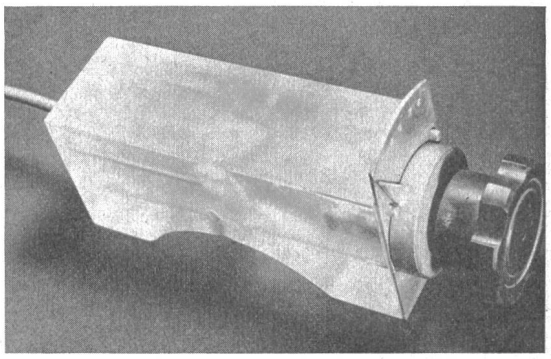


Fig. 6
Drehbarer Ultraschallkopf für die Prüfung von Vollkernisolatoren

b) Da ein Isolator ein keramischer Gegenstand ist, schwanken die Mass- und Formtoleranzen ziemlich, was Verschiebungen und Amplitudenschwankungen der Grundechos hervorrufen kann.

c) Der fassförmige Mittelteil des Isolators, ungeachtet der glatten Oberfläche, verhindert das Entstehen eines guten Kontaktes zwischen dem Isolator und dem Ultraschallkopf.

1959 wurden Versuche mit einem drehbaren Ultraschallkopf unternommen, mit dem man die Schallimpulse in beliebigem Winkel zum Isolator senden und den Winkel nach Bedarf verändern konnte. Damit hoffte man möglichst vorteilhafte Prüfungsbedingungen zu erhalten. Fig. 5 und 6 zeigen einen ähnlichen Schallkopf.

Der drehbare Schallkopf hat einen Sattel aus Plexiglas, dessen Form möglichst dem zylindrischen Mittelteil des Isolators entspricht. Der Sattel hat einen drehbaren Plexiglaszylinder (K; Durchmesser = 30 mm), in dessen Mitte nahe der Oberfläche eine 2-MHz-Bariumtitanat-Platte (B) für den Ultraschallsender eingebaut ist.

Wie aus Fig. 5 ersichtlich ist, gibt der drehbare Schallkopf 5 Grundechos für jeden Isolator: Echos 3 und 5 von den Konusenden, Echos 2 und 4 von dem Konushals. Echo 1 ist die Rückspiegelung vom Rumpf. Fig. 7a und b sind Echobilder eines guten und eines fehlerhaften Isolators.

Es ist theoretisch möglich, Rissbildungsgebiete von etwa 2...3 mm² mit Hilfe eines 2-MHz-Winkelschallkopfes festzustellen. Die Dicke eines Risses in Richtung der Schallwelle ist von keiner praktischen Bedeutung, denn ein Riss von

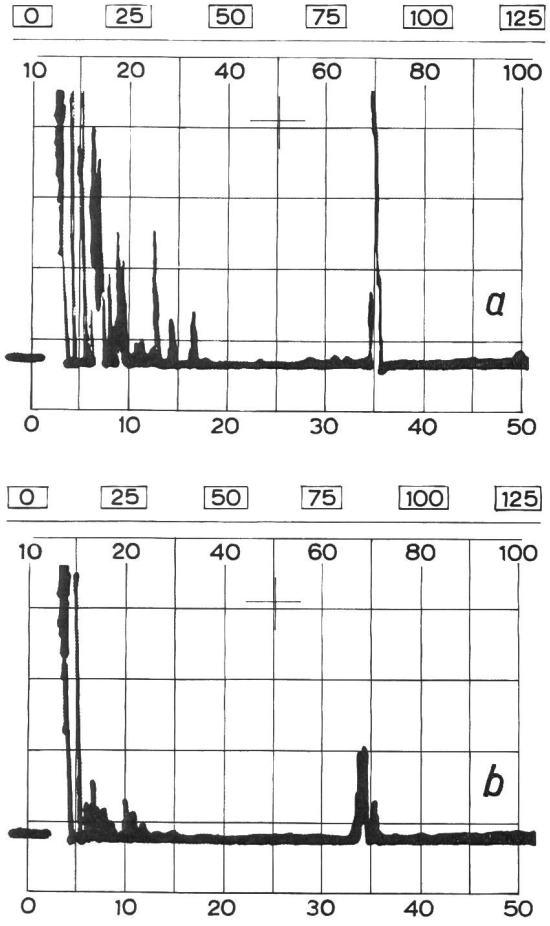


Fig. 7
Echobilder
a Einwandfreier Isolator; *b* fehlerhafter Isolator

10^{-5} mm Dicke kann bereits eine fast vollkommene Rückspiegelung geben.

Obgleich der drehbare Ultraschallkopf beinahe störungsfreie Echobilder erzeugt und Störechos ausschaltet, kann das Echobild eines guten Isolators, wegen Ungleichmässigkeiten der Isolatorenform und -abmessungen, dermassen entstellt werden, dass es äusserst schwierig ist, einen guten Isolator von einem wirklich fehlerhaften zu trennen. Dadurch können auch an sich fehlerlose und brauchbare Isolatoren mit der Ultraschallprüfung ausgeschieden werden. Man muss betonen, dass man von dem Prüfbeamten besonders gute Kenntnisse der Methode und persönliches Verantwortungsgefühl verlangen muss, bevor befriedigende Ergebnisse erwartet werden können.

6. Prüferfahrungen

Die beschriebene Ultraschallmethode wird seit Frühjahr 1961 in Finnland als Stückprüfung angewendet. Bis zum Jahr 1967 wurden ungefähr 63 000 Isolatoren mittels Ultraschall geprüft. Dabei bemühte man sich, ausser Rissen und anderen Fehlern auch die Porosität des Porzellans mittels Schallgeschwindigkeitsmessungen zu bestimmen. Eine aus 3...5 Personen bestehende Prüfgruppe kann 100...150 Isolatoren innert 8 h prüfen. Nach der Ultraschallprüfung wurde ein Teil der als fehlerhaft beurteilten und einige die Prüfung bestandenen Isolatoren mit Fuchsin geprüft, um die Zuverlässigkeit der Prüfung nachzuweisen.

Fig. 8 zeigt die Zusammenfassung der Prüfergebnisse. Daraus kann man entnehmen, dass unter den bei der Ultraschallprüfung als defekt beurteilten Isolatoren zwei Drittel einwandfrei, jedoch unter den als «gut» ausgewiesenen ungefähr 7 % leicht porös oder rissig waren. Die Resultate der Prüfung sind etwas vorteilhafter als diejenigen der Arbeitsgruppe «Ultrasonic Tests» des CIGRE-Komitees Nr. 5 (Isolatoren) [7].

Einige Isolatorenbrüche sind leider auch unter den geprüften und wieder eingebauten Isolatoren vorgekommen. Ihre durchschnittliche Bruchhäufigkeit betrug drei Brüche im Jahr pro 100 000 Isolatoren, d. h. etwa die Hälfte der Totalbruchhäufigkeit von ungeprüften Isolatoren.

Ein Teil der Brüche ist dem menschlichen Versagen zuzuschreiben; manchmal kommen auch Rissbildungen an solchen Stellen vor, wo sie bei normalen Routineprüfungen schwer oder sogar unmöglich festzustellen sind.

Eine vollständige Ultraschallprüfung an eingebauten Vollkernisolatoren ist umständlich und teuer. Die Isolatoren müssen von der Leitung ausgebaut und durch andere, möglicherweise schon geprüfte Isolatoren ersetzt werden, dann zu der Prüfungsstelle befördert und nach der Prüfung wieder in die Leitung eingebaut werden. Die Deutsche Bundesbahn hat allerdings versucht, die Isolatoren, ohne diese von der Leitung auszubauen, mit Ultraschall während einer Betriebspause zu prüfen. Trotz anfänglich guten Ergebnissen zeigte sich jedoch, dass diese Methode für eine Routineprüfung in der Praxis ungeeignet ist [8; 9].

Es fragt sich nun, ob sich der grosse Aufwand für die Ultraschallprüfung lohnt, besonders, da bei dieser Prüfmethode Isolatoren auch mit geringer Rissbildung oder leichter Porosität die Prüfung bestehen. In solchen Fällen können sich nämlich die kleinen Risse weiterentwickeln, weshalb eine erneute Prüfung, z. B. nach 15 Jahren, erforderlich wird. Im weiteren ist man gezwungen, bei der Prüfung etwa 4 % von den völlig guten Isolatoren auszuscheiden.

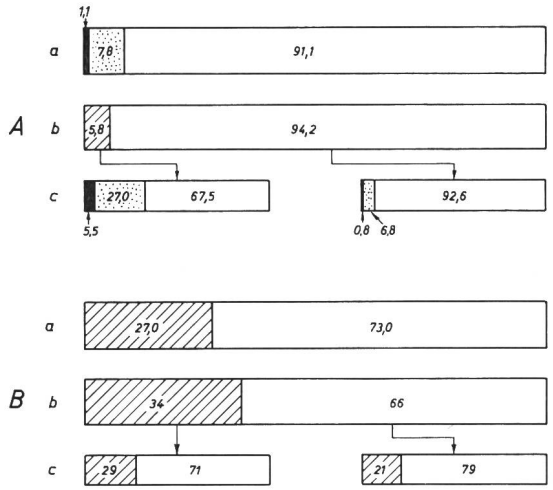


Fig. 8
Prozentuale Zusammenfassung der Prüfergebnisse

A Ergebnisse der in Finnland durchgeführten Prüfung mit drehbarem Schallkopf an 63 303 Vollkernhängisolatoren
B Ergebnisse der beim Isolatorenkomitee der CIGRE durchgeführten vergleichenden Versuche mit Ultraschall. Die Resultate sind Durchschnittswerte von sechs verschiedenen Prüfgruppen; die Prüfung wurde an 100 Isolatoren durchgeführt
a Prüfmaterial gemäss der Fuchsinprüfung; *b* Ergebnisse der Ultraschallprüfung; *c* Treffsicherheit der Ultraschallprüfung

Berechnungen ergaben, dass es sich trotzdem lohnt, die Ultraschallprüfungen durchzuführen, da die Prüfungskosten der Isolatoren in einer Betriebszeit von etwa 7...8 Jahren bereits abgeschrieben werden können.

Literatur

[1] *C. Stüber:* Zerstörungsfreie Ultraschallprüfung von Fahr- und Fernleitungsisolatoren. In: V. Kammerer: Eisenbahn und wissenschaftliche Forschung. Jahrbuch des Eisenbahnwesens 9(1958), S. 150...152.

[2] *H. Merz:* Zerstörungsfreie Prüfung auf Porosität mit Ultraschall von Fahrleitungs-Vollkernisolatoren der Schweizerischen Bundesbahnen. Bull. SEV 52(1961), S. 345...349.

[3] *R. Schönenberg:* Beitrag zum mechanischen Verhalten von Stab- und Vollkernisolatoren. ETZ-A 80(1959), S. 196...201.

[4] *H. Kläy:* Spätbrüche an Isolatoren. Schweiz. Arch. angew. Wiss. Techn. 32(1966), S. 11...15.

[5] *H. Skarbye:* Strength of High Tension Porcelain. In: Abhandlungen des IX. internationalen keramischen Kongresses. Bruxelles, Secrétariat du IX^{e} Congrès international céramique, 1964, S. 149...162.

[6] *S. T. Lundin:* Studies on Triaxial Whiteware Bodies. Dissertation. Kungl. Techniska Högskolan, Stockholm. Uppsala, Almqvist and Wiksell, 1959.

[7] *H. Weissmantel:* Zerstörungsfreie Prüfung von Hochspannungsisolatoren mit Ultraschall. Scientia electr. 5(1959)2, S. 113...120.

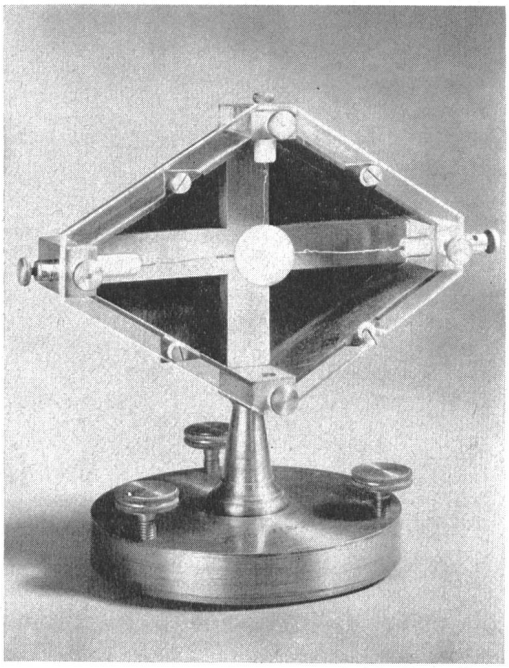
[8] *G. H. Gillam:* Rapport sur les travaux du comité d'études des isolateurs. Rapport CIGRE No. 234(1960).

Adresse der Autoren:

Lauri Haro und *S. Hyyryläinen,* Imatran Voima Osakeyhtiö, Head Office, P. O. Box 10138, Helsinki 10 (Finnland).

EIN BLICK ZURÜCK

Hitzdrahtinstrument von Heinrich Hertz 1886/1888



Deutsches Museum, München

Auf Anregung seines Lehrers *Helmholtz* unternahm *Hertz* den Versuch, die auf Grund der Maxwellschen Gleichungen angenommenen elektromagnetischen Schwingungen experimentell nachzuweisen. Seine Versuchsanordnung war denkbar einfach: zwei Drähte trugen an den äusseren Enden Metallkugeln, die anderen Enden standen einander gegenüber und bildeten eine Funkenstrecke. Durch einen Induktor wurden Funken zum Überspringen gebracht, welche die elektrischen Schwingungen hervorriefen. Zum Nachweis der entstehenden Wellen benutzte er einen kreisförmig gebogenen Draht, dessen Enden ebenfalls eine kleinere Funkenstrecke bildeten. Durch die überspringenden Funken konnte er die in der ersten Strecke entstandenen Wellen nachweisen. Mit dieser einfachen Vorrichtung entdeckte er nicht nur die von *Maxwell* vorausgesagten elektromagnetischen Wellen, sondern auch deren Beugung, Polarisation und Reflexion.

Quantitative Untersuchungen waren jedoch mit diesen Mitteln nicht möglich, hierzu bedurfte es eines Messinstrumentes, das auch auf hohe Frequenzen ansprach. *Hertz* erfand hiefür ein einfaches aber zuverlässiges Hitzdrahtinstrument. Ein dünner Silberdraht war um eine Achse geschlungen. Diese drehte sich, sobald der Draht sich durch den hindurchfliessenden elektrischen Strom erwärmte und damit ausdehnte. Auf der Achse war ein Spiegel befestigt. Die Beobachtung der Spiegelablenkung erfolgte, wie bei dem bekannten Spiegelgalvanometer, durch ein Fernrohr. Der langgestreckte Silberdraht hatte für die hochfrequenten Ströme im Gegensatz zu einer Spule nur Ohmschen Widerstand. Das Hitzdrahtinstrument war ja noch lange Jahre in der Hochfrequenztechnik nahezu unentbehrlich.

A. Wissner

Divergierende Auffassungen über die Permeabilität und die Dielektrizitätskonstante innerhalb der Commission Electrotechnique Internationale (CEI)

537.226.1 : 538.213

In den letzten Jahren sind in jenen Publikationen der CEI, welche das Comité d'Etudes (CE) 51, Matériaux et composants magnétiques, vorbereitet hat, und in solchen, welche die CE 1, Terminologie, 24, Grandeurs et unités électriques et magnétiques, und 25, Symboles littéraux et signes, vorbereitet haben, divergierende Auffassungen über die Permeabilität und die Dielektrizitätskonstante (Permittivität) offenbar geworden. Wie es zu Widersprüchen kommen konnte, ist aus der historischen Entwicklung heraus verständlich.

Zwischen der magnetischen Induktion B, der Permeabilität μ und der magnetischen Feldstärke H bestand früher und besteht noch heute die bekannte Beziehung:

$$B = \mu H \qquad (1)$$

Die Schwierigkeiten beginnen mit der Interpretation von Gl. (1). Vor 1930 verstand man B und H als Grössen gleicher Dimension. Man stand fast einmütig auf dem Boden der dreidimensionalen CGS-Systeme. Gl. (1) drückte aus, dass für ein magnetisches Feld in einem Stoff eine von 1 abweichende Durchlässigkeit μ vorhanden war, welche bewirkte, dass im Gegensatz zum Vakuum in einem Stoff B und H verschieden sein konnten. Für beide Grössen war das Gauss die elektromagnetische CGS-Einheit.

Allmählich kam die Fachwelt zur Auffassung, dass die Elektrizität nicht mechanisch zu erklären sei. Man fing an, neben der Länge, der Masse und der Zeit noch die Elektrizitätsmenge als eine Basis-Dimension zu betrachten. So entstand dann das Giorgi- oder MKSA-System, der Vorläufer des jetzigen Internationalen Einheitensystems (SI). Als vierte Basis-Einheit wählte man aus praktischen Gründen das Ampère (Einheit der Stromstärke) statt des Coulomb (Einheit der Elektrizitätsmenge). Man verwendete weiterhin die Gl. (1); darin bedeutete nun aber μ nicht mehr eine reine Zahl, sondern eine dimensionsbehaftete Grösse.

Am 9. Juli 1930 stimmte in Oslo die Vollversammlung der CEI einem Beschluss des CE 1 zu, demzufolge μ und μ_0 physikalische Dimensionen zugeschrieben wurden. Für die relative Per-