Archivexemplar

SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

Sonder-Abdruck aus dem Bulletin des SEV, Jahrgang 1944

FKH 8/44

Stossversuche an Hausinstallationen und vorläufige Beurteilung der Möglichkeiten des Schutzes von Hausinstallationen gegen atmosphärische Ueberspannungen

Bericht, erstattet an die Forschungskommission des SEV und VSE für Hochspannungsfragen (FKH), von *K. Berger*, Zürich

621.316.93 : 696.6

Die Forschungskommission des SEV und VSE für Hochspannungsfragen (FKH) hat im Sommer 1942 in einem Gebäudekomplex der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ) Stossversuche an Hausinstallationen durchgeführt. Deren Resultate sind im folgenden kurz dargestellt. Die auf Grund dieser Messungen ersichtlichen Möglichkeiten des Schutzes wurden im Kreise der FKH und weiterer eingeladener Interessenten am 17. Dezember 1943 in Zürich in einem Referat des Versuchsleiters dargelegt und diskutiert. Auch die Voten dieser Diskussion sind angeführt.

La Commission de l'ASE et de l'UCS pour l'étude des questions relatives à la haute tension (FKH) a entrepris, durant l'été 1942, dans un groupe d'immeubles du Service de l'électricité du Canton de Zurich, des essais de choc sur des installations intérieures. Les résultats sont brièvement reproduits dans cet article. Les possibilités d'une protection que laissent entrevoir ces mesures ont été exposées par l'ingénieur chargé des essais, au cours d'une réunion des membres de la FKH et d'autres intéressés, le 17 décembre 1943, à Zurich. Les votes de la discussion de ce référat se trouvent mentionnés à la fin du rapport.

I. Zweck und Anordnung der Versuche

Durch das Entgegenkommen der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ) wurde es der Forschungskommission des SEV und VSE für Hochspannungsfragen (FKH) möglich, im Sommer 1942 die nach Programm gewünschten Stossversuche mit oszillographischen Messungen an Niederspannungs-Hausinstallationen im Kreisgebäude Wetzikon der EKZ durchzuführen.

Zweck der Versuche war:

1. Genaue Messung der Vorgänge beim Eindringen einer Ueberspannung (Stosswelle) in eine Hausinstallation.
2. Feststellung der Schutzmöglichkeiten mit heutigen Niederspannungsableitern.
3. Vergleich verschiedener Ableitertypen für Niederspannung.
4. Bestimmung der elektrisch schwachen Stellen und der mittleren Stossfestigkeit von Installationen.
5. Vergleich verschiedener Einbaupunkte der Ableiter.

Die Messungen erfolgten mit dem Oszillographen-Messwagen der FKH, der zuerst einen, später 3 Doppel-Oszillographen enthielt. Die Stoßspannungen wurden mit dem fahrbaren Stossgenerator der FKH erzeugt.

Als Versuchsobjekt stellten die EKZ die gesamte Installation ihrer Gebäude beim Bahnhof Kempten bei Wetzikon zur Verfügung. Der Gebäudekomplex besteht aus 2 Wohnhäusern (mit insgesamt 4 Wohnungen und div. Bureaux), einem Werkstatt- und Garagengebäude und einem Magazingebäude.

Alle Vorbereitungs-Arbeiten an der Installation wurden von den EKZ ausgeführt. Die EKZ stellten auch das nötige Hilfspersonal für die Durchführung der Versuche zur Verfügung, wofür ihnen, speziell den Herren Obering. Wüger, Altherr und Buff auch an dieser Stelle bestens gedankt wird.

Die generelle Versuchs-Anordnung ist im Prinzipschema Fig. 1 dargestellt. Fig. 2 gibt das Schema der Freileitungsanlage.

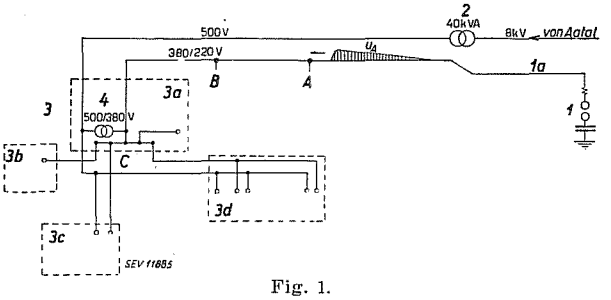

Fig. 1.

Prinzipschema der Versuchsanordnung und der Gebäude

1 Stossgenerator. *1a* Stossleitung.
2 Ortstransformator 8000/500 V.
3 Hausinstallation. *3a* Magazin. *3b* Wohnhaus. *3c* Wohnhaus u. Bureau. *3d* Werkstätte, Garage.
4 Transformator 500/380 V.
A, B, C Einbaustellen der Versuchs-Ableiter.

Der ca. 600 m von der Hausinstallation entfernte *Stossgenerator* erzeugt die Stoßspannung, die sich bis zum 40-kW-Transformator längs der Stossleitung, dann längs der angeschlossenen Polleiter der 380/220-V-Freileitung wellenartig fortpflanzt und in die Hausinstallation eindringt. Die 380/220-V-Installation ist durch einen 500/380-V-Transformator (15 kVA oder 3 × 3 kVA) zugleich unter Betriebsspannung gehalten. Von 12 verteilt gewählten Meßstellen der Hausinstallation wurden proviso-

rische Leitungen aus verdrillten Installationsdrähten bis zu den Kathodenstrahl-Oszillographen (KO) gezogen, was einer Verlängerung der gesamten Installation gleichkam. Die beiden Drähte jeder Meßstelle wurden direkt an je einem isolierten Plattenpaar der KO angeschlossen, so dass die erhaltenen Kurven die *Spannungsdifferenz zwischen Polleiter und Nulleiter*, unabhängig vom Potential des KO, darstellen. Durch einen Spezial-Versuch wurde in gleicher Weise die Spannung zwischen Nulleiter und einer neutralen, stromlosen Erdung bestimmt.

Um eine Durchgangsstation nachzuahmen, wurde am Eingang der Hausinstallation zwischen jedem Polleiter und Nulleiter ein Abgleichwiderstand von 500 Ω eingeschaltet, welcher sich annähernd wie ein Durchgang der 380/220-V-Freileitung auswirkt. Diese Widerstände von 500 Ω dienten zugleich als Spannungsteiler zur Messung der Eingangsspannung.

Unter «*einphasigem Stoss*» wird in diesem Bericht der Fall verstanden, in welchem der Stoss nur auf einen Polleiter gegeben wird. Die Stossleitung war dann beim 40-kVA-Transformator mit dem gestossenen Polleiter direkt verbunden.

«*Dreiphasiger Stoss*» soll bedeuten, dass auf alle drei Polleiter und auf den Nulleiter die gleiche Welle gesandt wurde. In diesem Fall waren die vier Leiter durch je einen Widerstand von 500 Ω an die Stossleitung angeschlossen. Die Widerstände waren nötig, um einen Kurzschluss der Betriebsspannung zu vermeiden.

Als *Schutz der 500-V-Anlage* gegen induzierte Ueberspannungen (durch die Leitung und durch den speisenden Transformator) wurden die mit Y und Z bezeichneten Ableiter fest eingebaut. Der Verlauf der Spannungen im 500-V-Netz wurde ebenfalls oszillographisch erfasst.

Der 40-kV-Transformator 8 kV/500 V war hochspannungsseitig durch 8-kV-Ableiter (*X*) gegen Influenz-Wellen geschützt. Die Ableiter der 380/220-V-Anlage konnten an 3 Stellen, nämlich an der Freileitung (*A* und *B*) und direkt bei der Hauseinführung (*C*) durch Trenner beliebig ein- und ausgeschaltet werden. An jeder Ableiterstelle war für alle 3 Phasen ein gemeinsamer Ansprechzähler ausländischen Fabrikats montiert.

Der Anstoss zur *Entsperrung des KO* erfolgte durch einen parallel zur 380/220-V-Leitung gezogenen Leiter. Bei kleinen Stössen musste dieser Leiter beim 40-kVA-Transformator mit dem gestossenen Pol durch einen kleinen Kondensator gekuppelt werden, bei hohen Wellen war der Anstossleiter geerdet.

Der *Stossgenerator* besteht aus 8 Kondensatoren von je 1,05 μF. Sie wurden für die kleinen Stösse parallel geschaltet. Bei höheren Wellen wurde er in Marx-Schaltung mit 4 Serie-Stufen zu je 2 Kondensatoren parallel oder mit 8 Serie-Stufen zu je einem Kondensator gekuppelt. Seine Erdung erfolgte durch eine Sonder-Banderdung von 5,5 Ω und die Wasserleitung eines benachbarten Hauses. Bei hohen Stosswellen entstanden in der Küche Ueberschläge an einem Kochherd. Sie wurden vermieden durch

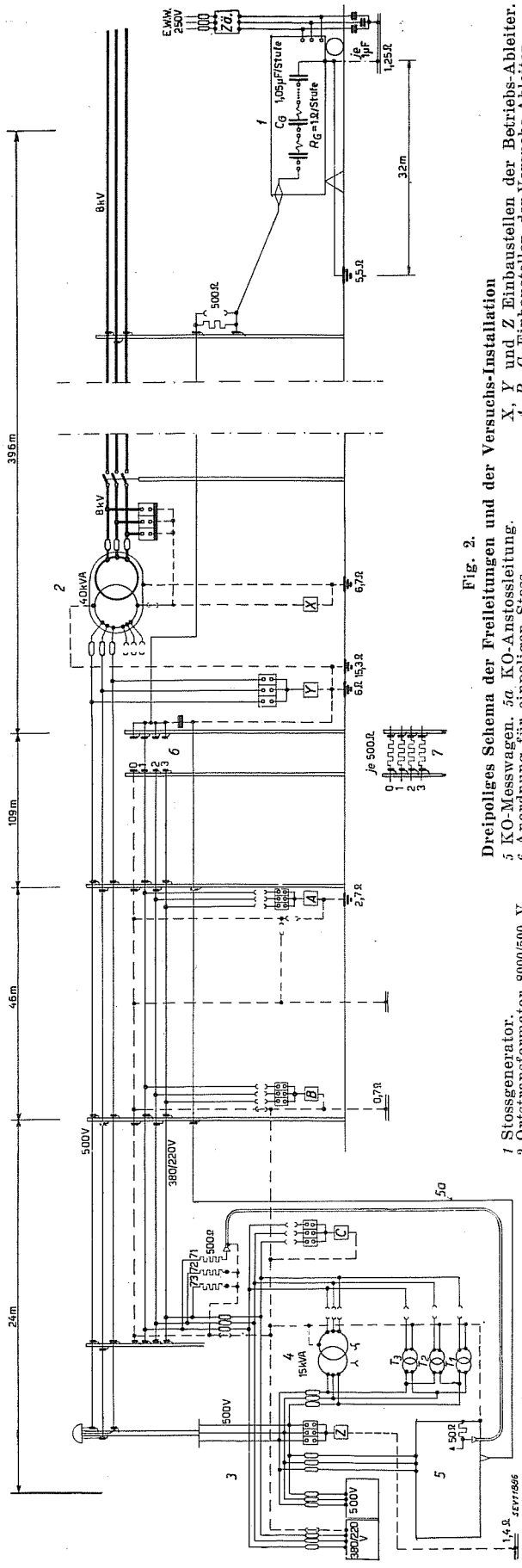

Fig. 2.
Dreipoliges Schema der Freileitungen und der Versuchs-Installation

1 Stossgenerator.
2 Ortstransformator 8000/500 V.
3 Hausinstallation.
4 Transformator 500/380 V.
5 KO-Messwagen. *5a* KO-Anstossleitung.
6 Anordnung für einpoligen Stoss.
7 Anordnung für dreipoligen Stoss.
X, Y und *Z* Einbaustellen der Betriebs-Ableiter.
A, B, C Einbaustellen der Versuchs-Ableiter.
$T_1T_2T_3$ Transformatorgruppe 3 × 3 kVA 500/380 V.

Abtrennung des Stossgenerators von der Wasserleitung, sowie durch Einfügen von Schutzkondensatoren zwischen das speisende Netz und die Wasserleitung.

Die *Erdungswiderstände* wurden mit dem «Terrafix» und mit dem Siemens-Erdungsmesser der EKZ bestimmt. Beide Instrumente ergaben die gleichen Werte.

Während der Stossversuche waren im Hauptverteilungstableau *Sicherungen* von 4 A eingesetzt. Trat irgendwo ein Ueberschlag mit nachfliessendem Betriebsstrom ein, so schmolz die Sicherung durch und Kontroll-Glimmlampen im KO-Wagen zeigten sofort die spannungslose Gruppe und Phase an. Trat ein Ueberschlag unterhalb 2500 V auf, so wurde die defekte Stelle gesucht und von der Installation abgetrennt.

Sofern kein Netzstrom nachfloss, war es z. T. möglich, an Hand der Spannungskurve festzustellen, ob ein Spannungs-Zusammenbruch vom Ansprechen von Ableitern oder von einer defekten Stelle verursacht wurde. In einzelnen Fällen liess sich die Ueberschlagsstelle durch die Eigenfrequenz lokalisieren. Die Lokalisierungs-Schwierigkeiten wachsen mit der Wellenhöhe und Steilheit.

Vor, während und nach den Stossversuchen wurde die *Isolation* (mit Megohmmeter) bei 500 V Gleichstrom und die *Kapazität* (mit Philoskop) bei 50 Hz gemessen. Dazu wurden sämtliche Spannungsspulen der Zähler und der Sperrschalter, sowie alle Klingeltransformatoren abgetrennt. Nach den Stossversuchen wurde eine *Spannungsprobe* mit positiver Gleichspannung von 3000 V durchgeführt. Da die Spannungsquelle nur ca. 10 W liefern konnte, war es bei kleinem Isolationswiderstand nicht möglich, die volle Spannung zu erreichen. Da die Isolationswiderstände gleicher Grössenordnung waren wie die kapazitive Impedanz bei 50 Hz, konnten die Kapazitäten nur mit geringer Genauigkeit bestimmt werden.

Als Versuchs-Varianten wurden durchgeführt:

1. *Versuche mit der Installation ohne Ableiter.*

Die Stossversuche wurden mit tiefen Wellen begonnen, bei welchen die Ableiter noch nicht zum Ansprechen kamen. So konnten diese ohne weiteres ausgeschaltet werden. In diesem Fall überlagern sich die eindringenden Wellen der Betriebsspannung. Solange kein Ueberschlag stattfindet, sind die überlagerten Ueberspannungen in der Hausinstallation bei gleicher Anordnung direkt proportional der ankommenden Welle.

Diese Versuche enthielten folgende Varianten:

a) Einphasige Stösse auf die Polleiter *1*, *2* oder *3*, oder dreiphasige Stösse;

b) mit oder ohne Netzbelastung.

Als Belastung wurden Lampen eingeschaltet. Auf Belastung durch Koch- oder Heizapparate wurde verzichtet, um eventuelle teure Reparaturen zu vermeiden.

c) Ganze Hausinstallation, Teile davon, oder keine Installation an der Freileitung angeschlossen.

d) Speisung durch 1×15-kVA-, oder 3×3-kVA-, oder keinen Transformator.

Ohne speisenden Transformator stand die Hausinstallation nicht unter Betriebsspannung. Deshalb mussten bei dieser Variante alle Sperrschalter abgetrennt werden, da sie spannungslos im eingeschalteten Zustand bleiben und somit ungewollte ohmsche Belastungen zuschalten.

e) Mit oder ohne 500-Ω-Abgleichwiderstände (Durchgang oder Kopfinstallation).

2. *Versuche an der mit Ableitern geschützten Installation.*

Zu den schon erwähnten Varianten kamen die folgenden dazu:

f) Verschiedene Höhe der ankommenden Welle.
g) Einfache oder aufschaukelnde Welle.
h) Ableiter in *A*, *B* oder *C*, in *A* und *B*, in *B* und *C*, in *A* und *C*, oder in *A*, *B* und *C*.
i) Mit oder ohne Ansprechzähler.
k) Verschiedene Ableitertypen.

Für die Fälle mit Ableitern in *A* gab es ausserdem folgende Varianten:

l) Verschiedene Werte des Ableiter-Erdungswiderstandes.
m) Ableiter-Erdung mit dem Nulleiter verbunden oder getrennt.
n) Ableiter in *A* oder *B* und gleichzeitig Kondensatoren in *C* (3 μF pro Phase).

Es hätte zu weit geführt, sämtliche Kombinationen obiger Varianten zu untersuchen. Man musste sich mit einigen der interessantesten begnügen. Der Vergleich verschiedener Ableiter-Typen erfolgte z. B. nur bei den Schaltungen mit einphasigen Stössen (Phase *1*) auf die ganze, von 3×3-kVA-Transformatoren gespeiste Installation. Die Spannung wurde dabei nur an zwei Stellen gemessen.

II. Beobachtungen und Versuchs-Ergebnisse

Die den Oszillogrammen entnommenen Messwerte wurden in Auswertungstabellen zusammengestellt, deren Ergebnisse kurz zusammengefasst seien:

a) *Ankommende Welle*

Zur Bestimmung der ankommenden Welle u_A wurde die Spannung der 380/220-V-Freileitung beim Eingang der Hausinstallation gemessen, wobei diese samt den speisenden Transformatoren und den Ableitern abgetrennt war. Die Abgleichwiderstände blieben angeschlossen, um Wellenreflexionen zu verhindern; sie dienten zugleich als Spannungsteiler.

An Hand der Ladespannung des Stossgenerators lässt sich das Verhältnis

$$k = \frac{\text{gemessene ankommende Welle}}{\text{Ladespannung des Stossgenerators}}$$

feststellen, welches, da es für die gleiche Anordnung konstant bleibt, die Bestimmung der ankommenden Welle u_A bei allen Versuchen ermöglicht. Bei Marx-Schaltung des Generators wird als Ladespannung die Ladespannung eines Kondensators, multipliziert mit der Anzahl Stufen verstanden. Ausserdem sind die Dämpfungszusatzwiderstände zwischen Stufen (1 Ω pro Stufe) und eine Korrektur im Verhältnis von $\frac{\text{Frontdauer}}{\text{Halbwertdauer}}$ der Welle zu berücksichtigen (1 bis 4 %).

b) *Daten der Stossleitung und Wellenströme*

Zur Bestimmung der Stromstärke der ankommenden Welle wurde die Freileitung vor dem Eingang in die Hausinstallation über einen 1-Ω-Mess-Shunt an Erde gelegt.

Mit eingeschaltetem Dämpfungswiderstand beim Generator (500 Ω) werden die Wellenreflexionen rasch abgedämpft, und der Strom erreicht sofort seinen quasistationären Wert.

Bei Ueberbrückung des Dämpfungswiderstandes dagegen schaukelt sich der Strom durch das Wellenspiel auf und führt zu einer Schwingung der Stossgenerator-Kapazität (C) mit der totalen Leitungs-Induktivität (L). Diese Schwingung ist durch sämtliche im Kreis bleibenden Widerstände leicht gedämpft (Shunt-, Leitungs-, Boden-, Erdungswiderstände, Glimmverluste usw.). Die Dauer zwischen 2 folgenden Reflexionen erlaubt die Kontrolle der totalen Leitungslänge, wenn die Fortpflanzungsgeschwindigkeit bekannt ist (ca. 285 m/μs nach früheren Versuchen). An Hand der Schwingungsdauer lässt sich die Induktivität der Leitung feststellen, da

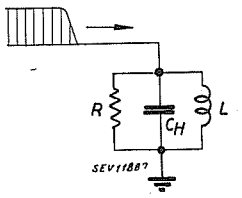

Fig. 3a.

Ersatzschema der Installation ohne Ableiter beim Auftreffen von Wanderwellen aus der Freileitung

C_H Kapazität der Hausinstallation.
L Streu-Induktivität des die Gebäude speisenden Transformators.
R Ohmsche Belastung der Hausinstallation.

die Stosskapazität bekannt ist. Der Wellenwiderstand der Leitung ist dann gleich der Induktivität pro Meter (l), multipliziert mit der Lichtgeschwindigkeit (C). Durch die Dämpfung der Schwingung (Verhältnis von 2 einander folgenden Strom-Amplituden) lässt sich der totale Ohmsche Widerstand des Kreises bestimmen. Der Quotient (Induktivität zu Kapazität) des Kreises gibt die Schwingungsimpedanz, die mit Berücksichtigung der Dämpfung (während der ersten Viertelperiode) den maximalen Strom für jede Ladespannung ausrechnen lässt. Die erhaltenen Werte stellen dabei die Gesamt- oder Mittelwerte der Stossleitung und der 380/220-V-Freileitung dar. Die ganze Leitung ist als homogen betrachtet, was nur annähernd zutrifft.

c) *Stossversuche ohne Ableiter*

Diese Messungen geben für die verschiedenen Varianten und Messpunkte das Verhältnis ($\Delta u : u_A$) wobei Δu den Maximalwert der Ueberspannung zwischen Polleiter und Nulleiter, d. h. der Spannung, die sich der Betriebsspannung *überlagert*, und u_A den Scheitelwert der ankommenden Welle bedeutet.

Die Angabe des absoluten Wertes der Spannung hat in diesem Fall keinen Sinn, da diese vom willkürlichen Momentanwert der Betriebsspannung im Augenblick des Stosses abhängt. Demgegenüber hat das Verhältnis $\left(\frac{\Delta u}{u_A}\right)$ den Vorteil, von der Welle unabhängig zu sein, solange kein Ueberschlag stattfindet.

Das Eindringen der Welle in die Hausinstallation spielt sich folgenderweise ab (Ersatzschema Fig. 3a):

Zuerst wird der ganze Strom der Welle von der Kapazität C_H der Installation absorbiert; somit steigt deren Ladespannung. Damit wird der Strom allmählich auf den Transformator L abgewälzt. Dies bringt die Installationskapazität C_H mit der Transformator-Induktivität L zum Schwingen mit einer Frequenz von:

bei einphasigen Stössen ca. 10 kHz mit 3 × 3-kVA-Transformatoren (Schaltung in Dreieck/Stern mit geerdetem Sternpunkt);
ca. 20 kHz mit 15-kVA-Transformator (Schaltung in Stern/Zickzack mit geerdetem Sternpunkt);

bei dreiphasigen Stössen ca. 20 kHz mit 3 × 3-kVA-Transformatoren (Schaltung in Dreieck/Stern mit geerdetem Sternpunkt);
ca. 110 kHz mit 15-kVA-Transformator (Schaltung in Stern/Zickzack mit geerdetem Sternpunkt).

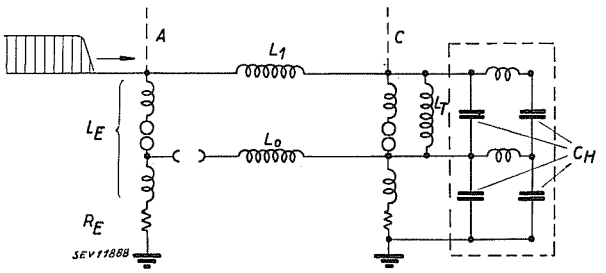

Fig. 3b.

Ersatzschema der Installation mit Ableitern in A oder C, beim Auftreffen von Wanderwellen aus der Freileitung

L_0 Induktivität der Ableiter-Erdleitung.
R_0 Ohmscher Widerstand von Ableiter-Erdung + Ableiter.
L_1 Induktivität des Polleiters zwischen A und C.
L_0 Induktivität des Nulleiters zwischen A und C.
L_T Induktivität des Transformators bei der Hausinstallation.
C_H Kapazität der Hausinstallation.

Das Wellenspiel im Innern der Installation zeigt sich in Oberwellen, die wegen ihrer geringen Amplituden in diesem Fall ohne Ableiter nur eine sekundäre Rolle spielen. Wenn kein speisender Transformator in der Anlage vorhanden ist, muss der Wellenstrom nach Aufladen der Installationskapazität durch die Netzbelastung R zum Nulleiter abgeführt werden. Die Spannung in der Anlage steigt somit, bis diese Bedingung erfüllt ist. Wäre die Installation ohne Transformator und ohne Belastung, so würde die Spannung steigen, bis sie diejenige des Stossgenerators erreicht hätte.

d) *Ableitung durch die speisenden Transformatoren und durch die Belastung*

Die Ohmsche Belastung der Installation, ihre gesamte elektrische Kapazität und die Nullpunkterdung des speisenden Transformators (Streuinduktivität und Erdungswiderstand) ermöglichen eine «natürliche Ableitung» eindringender Wellen. Diese Konstanten bestimmen mit dem Wellenwiderstand der Leitung den Spannungsverlauf in Funktion der ankommenden Welle in erster Annäherung.

Um ihre ableitende Wirkung festzustellen, wurden zunächst die speisenden Transformatoren allein (ohne 380/220-V-Installation und ohne Ableiter) an die Freileitung angeschlossen. Die Messung der Spannung zwischen Polleitern und Nulleiter des Transformators erfolgte mit Hilfe der Abgleichwiderstände als Spannungsteiler.

Wie die Resultate zeigen, hängt die Höhe und die Dauer der Spannung am Transformator hauptsächlich von seiner Streuinduktivität ab. Oberhalb eines gewissen Betrages spielt die Länge des Rückens der ankommenden Welle keine Rolle mehr; die Dauer der Spannung am Transformator ist dann nur vom Quotient (Streuinduktivität zu Wellenwiderstand der Leitung) abhängig.

Für einen einphasigen 3-kVA-Transformator für 220 V beträgt die aus der Halbwertdauer der Spannung gerechnete wirksame Induktivität ca. 1200 μH. Für den 15-kVA-Drehstrom-Transformator für 220/380 V ist sie, dank der Zickzack-Wicklung, viel kleiner als sie sich aus der üblichen Messung im Kurzschluss des Transformators ergibt. Bei dreiphasigen Stössen heben sich hier die gestossenen Wicklungen in ihrer magnetischen Wirkung soweit auf, dass die Streuinduktivität noch knapp 40 bis 50 μH pro Phase beträgt. Es bleiben in diesem Fall nur kurze Spannungsspitzen, die zum Teil von der Wicklungskapazität aufgenommen werden. Die Messung bei 50 Hz bestätigt die ausserordentlich kleine, wirksame Induktivität der dreiphasig gespiesenen Zickzackwicklung.

Die Streuinduktivität des Transformators wird jedenfalls durch Zickzack-Wicklung stark herabgesetzt. Sein Schutzwert als natürlicher Ableiter wird damit stark erhöht.

Die maximalen Ueberspannungen der untersuchten Installation von ca. 0,1 μF/Phase betrugen ohne Ableiterschutz in % der ankommenden Welle:

	Stoss auf eine Phase	Stoss auf 3 Phasen
mit 3 × 3-kVA-Transformatoren (Schaltung in Dreieck/Stern mit geerdetem Sternpunkt) (1200 μH/Phase)		
ohne Belastung	44 %	43 %
mit Belastung (7...9 kW auf 3 Phasen verteilt)	9 %	8 %
mit 15-kVA-Transformator (Schaltung in Stern/Zickzack mit geerdetem Sternpunkt) (ca. 50 μH/Phase)		
ohne Belastung	14 %	11 %

e) *Stossversuche mit Ableitern*

Aus den Messungen wurden nicht mehr die überlagerten Ueberspannungen (Δu), sondern die *absoluten* Spannungsmaxima (u_m) zwischen Polleitern und Nulleiter ausgewertet. Sie sind in Volt und in % der ankommenden Welle (u_A) ausgedrückt. Es ist klar, dass diese Spannungen für die Güte der Ableiter und für die Festigkeit der Anlage massgebend sind. Der Momentanwert der Betriebsspannung spielt hier eine kleinere Rolle, da die Ableiter-Ansprech- und Restspannungen die Ueberspannung begrenzen und da diese höher sind als die Wechselspannung.

Die gemessenen Spannungskurven in der Installation zeigen beim Eindringen einer Welle immer Schwingungen, die durch höhere Harmonische mehr oder weniger verzerrt sind. Die maximale Spannung zeigt sich immer in der ersten Amplitude.

f) *Schutzwert und Einbauort der Ableiter*

Die Wirkung des Einbauorts der Ableiter, nämlich 70 m (Punkt A) oder 24 m (Punkt B) vor der Installation, oder am Eingang derselben (Punkt C), lässt sich deutlich aus dem Ersatzschema Fig. 3b erklären:

Sind z. B. die *Ableiter in A* angeschlossen, so ist die Spannung der Leitung in diesem Punkt die Summe der Ableiterspannung, des Spannungsabfalls im Erdungswiderstand ($R_E \cdot i$) und des induktiven Spannungsabfalls der Ableiter-Zuleitung samt Erdleiter ($L_E \cdot di/dt$). Währenddessen bleibt die Spannung der Installation zunächst auf dem Momentanwert der Betriebsspannung. Die Spannungsdifferenz wird von der Induktivität L_1 der Leitung zwischen Ableiter und Installation aufgenommen, sodass der Ladestrom der Installationskapazität C_H der Fläche des Spannungsimpulses proportional wird. Dieser Strom wird erst wieder zu Null, wenn die Spannungsdifferenz ihr Vorzeichen umgekehrt hat und der gesamte Spannungsimpuls wieder annulliert ist. Dann hat die Spannung der Installation den Wert u_m erreicht, und sie schwingt nun weiter aus (L_1 mit C_H). Diese Schwingung überlagert sich der Restspannung des Ableiters (u_p) und dem ohmschen Spannungsabfall im Erdungswiderstand, wenn die Ableitererdung vom Nulleiter getrennt ist.

Der Wellenstrom verschiebt sich nun allmählich zum speisenden Transformator, in einem Tempo, das von der Induktivität der Leitung L_1 und des Transformators L_T abhängt. Die Ableiter löschen infolge dieser Stromübernahme durch die Transformatoren schon lange, bevor die Welle beendet ist.

Ist die Ableitererdung mit dem Nulleiter verbunden, so verschiebt sich der Wellenstrom jetzt entsprechend der Induktivität L_0 des Nulleiters von der Erdung in A zur Erdung des Punktes C, da die Verteilung dem umgekehrten Verhältnis der ohmschen Erdungswiderstände zustrebt.

Der Fall *des Ableiters in C* (am Eingang der Installation) *ist ungünstiger*, da die Kapazität der Installation zuerst die Welle aufnimmt und dadurch das Ansprechen des Ableiters verzögert. Unterdessen wächst der Ladestrom so stark und speichert in der Installation so hohe magnetische Energie auf, dass er beim Ansprechen des Ableiters noch weiterfliessen muss. Somit entstehen grössere örtliche Spannungsdifferenzen innerhalb der Installation.

Günstiger wirken Kombinationen, z. B. *Ableiter in A und C zugleich*, oder Ableiter in A und zugleich *Kondensatoren in C* (beim Versuch 3 μF/Phase).

Die maximal auftretenden Spannungen zwischen Polleitern und Nulleiter in der Installation konnten auf die folgenden Prozentsätze der ankommenden Wellen herabgesetzt werden (dabei spielte die Ableitung über die Transformatorwicklung nurmehr eine verschwindende Rolle):

Ein Ableitersatz 70 m vor der Hausinstallation: 2,4 %.

Ein Ableitersatz am Eingang der Hausinstallation: 3,3 %.
Ein Ableitersatz 70 m vor der Installation und ein weiterer an deren Eingang: 1,8 %.
Ein Ableitersatz 70 m vor der Installation und zugleich 3 μF/Phase Kapazität an deren Eingang: 0,9 %.

Grössere Distanzen der Ableiter vom Gebäude als ca. 100 m können die Schutzwirkung wieder reduzieren, indem Blitzeinwirkungen auf dieser Strecke gefährlich werden können.

g) *Vergleich zwischen Ableiter-Typen*

Der Hauptunterschied im Verhalten der untersuchten Ableiter-Typen ist vor allem begründet in der Höhe der *Restspannung*, weniger in ihrer Ansprechspannung. Ihre Wirkung ist aus dem Ersatzschema Fig. 3b ersichtlich. Als Spannungsmaximum in der Installation wurde ungefähr das Doppelte der Ableiter-Restspannung festgestellt.

Aenderungen der *Ansprechspannung* spielen dagegen, sobald die ankommende Welle ein Mehrfaches der Minimalwelle beträgt, praktisch keine Rolle mehr. Die Ansprechspannung verschwindet in diesem Fall gegenüber dem induktiven Spannungsabfall im Erdleiter und ihr Spannungsimpuls umsomehr. Dagegen ist die Höhe der Ansprechspannung bei kleinen Ueberspannungen wichtig.

Im allgemeinen tritt auch bei Verwendung von Ableitern mit einer Restspannung $u_p = 0$ eine wesentliche, von induktiven und Erdungsabfällen herrührende Ueberspannung in der Installation auf. Dieser Spannung überlagert sich eine Spannung von ca. *doppelter* Höhe der Restspannung des Ableiters.

h) *Erdungsart der Ableiter*

Ist die Erdung der Ableiter vom Nulleiter getrennt (Netz mit Schutzerdung), so wirkt der Spannungsabfall im Erdungswiderstand wie eine erhöhte Restspannung des Ableiters. Sind die Ableiter beim Eingang in das Gebäude an der Nulleitererdung angeschlossen (genulltes Netz), so wird das Potential des Nulleiters um den Ohmschen und hauptsächlich um den induktiven Spannungsabfall der Erdung und des Erdleiters erhöht (7 bis 13 % der ankommenden Welle). Dieser Spannungssprung breitet sich durch rasche Schwingungen (ca. 600 kHz) in der ganzen Installation aus.

Sind die Ableiter ca. 100 m vor der Installation gleichzeitig am Nulleiter und an einer relativ schlechten Erdung angeschlossen, so nimmt diese im ersten Moment den grössten Teil des Wellenstromes auf, wälzt ihn aber allmählich auf bessere, entfernte Nulleitererdungen ab. Da der Nulleiterstrom dadurch eine flache Front erhält, sind die von ihm induzierten Spannungsabfälle gering.

Die Hauptschwierigkeit beim Niederspannungsableiter bleibt die Induktivität der Ableiter-Zuleitungen und seiner Erdleitung. Die erzeugten Spannungsabfälle sind natürlich von der Stromsteilheit abhängig und können z. B. bei einer 100-kV-Welle 4000 bis 5000 V leicht erreichen. Sie bilden somit bei grössern Ueberspannungen ein Mehrfaches der Ableiter-Ansprech- oder -Restspannungen.

i) *Grenzen der Schutzwirkung von Ableitern*

Soll die maximale Spannung in der Installation z. B. 2000 $\sqrt{2}$ V nicht übersteigen, so lassen sich die höchstzulässigen Wellenhöhen aus den Versuchen bestimmen. Es ergeben sich die Werte nach Tabelle I.

Zulässige Maximal-Wellen für 2000 $\sqrt{2}$ V Spannung in der Installation:

Tabelle I

	Ableiter am Eingang der Installation	Ableiter ca. 70 m vor der Installation	Ableiter 70 m vor der Installation und am Eingang
Ableiter Typ 1	70 kV	110 kV (60 kV)	150 kV
Ableiter Typ 2	60 kV	90 kV	150 kV
Ableiter Typ 3	35 kV	45 kV	100 kV (100 kV)
Ableiter Typ 4	40 kV	45 kV (40 kV)	—

Die Werte in Klammern beziehen sich auf Wellen mit aufschaukelndem Strom bis 1000 und 1700 A.

k) *Spannung des Nulleiters*

Der Nulleiter war auf kürzestem Weg an die Gebäude-Wasserleitung geerdet, nämlich über einen ca. 10 m langen Erdleiter. Darauf entstand bereits ein erheblicher induktiver Spannungsabfall, der den Nulleiter kurzzeitig unter Spannung setzte. Diese Spannung wurde gegen eine von Netz, Wasserleitung und Ableitern vollständig getrennte Erdung (Blitzableiter-Erdung des Hauses Schönegg) gemessen. Sie ist sehr wahrscheinlich der ankommenden Welle u_A bzw. ihrer Steilheit proportional. Ihre Eigenfrequenz ist sehr hoch, da es sich um einen Vorgang handelt, der sich ganz innerhalb der Installation abspielt.

1. *Defekte Stellen und elektrische Festigkeit der Installation*

Alle Defektstellen, deren Lage genau bestimmt werden konnte, sind samt den gemessenen Ueberschlagspannungen in Tab. II zusammengestellt. Tab. III zeigt Fehler, die nicht genau lokalisiert werden konnten. Da bei Wellen über 100 kV die Spannungen in der Installation zum grössten Teil 4000 V überschritten, häufte sich die Zahl der Ueberschläge in einem solchen Masse, dass es keinen Sinn mehr hatte, alle defekten Stellen zu suchen, abgesehen davon, dass die Lokalisierung viele Stösse gebraucht hätte, die für die Anlage eine unnötige Ueberbeanspruchung und weitere Defekte mit sich gebracht hätten.

Die Festigkeit der untersuchten, grösstenteils ältern Hausinstallation lag also zum Teil bedeutend tiefer als der vorschriftsgemässe Wert von 2000 $\sqrt{2}$ V. Die ersten Defektstellen gaben schon Ueberschläge bei 1300 V, d. h. bei 46 % der für neue Anlagen verlangten Minimal-Festigkeit.

m) *Ansprechzähler*

Die benutzten Ansprechzähler haben sich für Niederspannungsableiter nicht bewährt, da sie eine

Liste der aufgetretenen Defekte, deren genaue Lage bestimmt werden konnte. Tabelle II.

Versuchs-Nr.	Ueberschlag-spannung V	Defektstellen
102	1450...2000	Rosette der Werkbanklampe in der Werkstatt
161	1700	Stehlampe, Wohnung Büehler
191	1900	Lampe und Sicherung (Phase 1), Magazin
231	1800	Mignon-Fassung der Signallampe (M 5) im KO-Wagen
234	1600	Abzweigdose Garage
244	1300	Steckdose Grosse Garage (Porzellan zersprungen)
305	2500	Mignon-Fassung der Signallampe im KO-Wagen
322	1400	Lampe über Schreibpult, Magazin
350	>3500	Klemme Nr. 3 am KO
471	nicht gemessen	Hauptschalter des KO-Wagens
535	nicht gemessen	Ueberschlag zwischen Bleimantel 500-V-Kabel u. Wasserleitung, Werkstatt
561	2700	Installationsdraht der Messleitung (M_1) bei einer Agraffe
582	3300	Abzweigdose, Werkzeugzimmer
584	3400	Pendellampeschnur im Prüfraum
587	nicht gemessen	Hauptschalter des KO-Wagens (neuer Schalter)
608	2700	Schalter der Nebenstubenlampe, Wohnung Büehler
627	4500	Abzweigdose bei Treppe I. Stock, Magazin
636	2900	Schalter-Steckdose, Arbeitsraum Wohnung Büehler
693	>4000	Heisswasserspeicher, Wohnung Frauenfelder (Sperrschalter soll ebenfalls überschlagen worden sein)
721	nicht gemessen	Hauptzähler
754	4000	Motor (Stator-Wicklung der Heissluftdouche, verbrannt)
772	4000	Staubsauger (Defekt im Schalter)
778...780	—	2 Lampen defekt (Stoss mit Netzbelastung durch Lampen)

zu hohe Restspannung (ca. 1000 bis 1500 V) aufweisen. Ausserdem entlädt sich der Energie-Speicher-Kondensator des Zählers oft über den Ableiter und den speisenden Transformator zurück, sodass das Zählwerk bei den meisten Ansprechungen gar nicht funktionierte. Dieser Effekt wurde häufig festgestellt, wenn Ableiter mit kleiner Restspannung (ohne spannungsabhängige Widerstände) verwendet wurden. Die Zähler wurden deshalb bei den meisten Messungen weggelassen. Grundsätzlich sind Ansprechzähler denkbar, bei denen diese Fehler nicht auftreten.

III. Beurteilung des Schutzproblems für Haus-Installationen auf Grund der Versuchsresultate

1. Bedürfnis

Grundsätzlich muss man sich fragen, ob es sich lohnt, einen sehr weitgehenden oder «absoluten» Schutz gegen beliebige Ueberspannungen einzuführen. Man kann einwenden, dass der grösste Teil der Hausinstallationen bis jetzt ohne Schutzmassnahmen im Betriebe steht.

Liste der aufgetretenen Defekte, deren genaue Lage nicht bestimmt werden konnte

Tabelle III

Versuchs-Nr.	Defektstellen
355	Wohnung Frauenfelder Phase 1 (Sicherung geschmolzen)
458	Wohnung Frauenfelder Phase 1 (Sicherung geschmolzen)
578	Irgendwo Ueberschlag oder Zündung im KO (Sicherung geschmolzen)
583	Wahrscheinlich Zähler, Wohnung Gerber
605	Werkstatt Phase 1 (trotzdem Lampenschnur Prüfraum ausgeschaltet war)
608	Werkstatt, Bureaux Schönegg und Wohnung Gerber (Phase 1)
618, 620, 622	Wahrscheinlich Schalter-Steckdose, Arbeitsraum Wohnung Büehler und Pendellampenschnur im Prüfraum
624	Wohnung Frauenfelder
627	Wahrscheinlich Schalter-Steckdose, Arbeitsraum Wohnung Büehler
691	Wohnung Büehler
692	Wohnungen Büehler, Gerber und Frauenfelder
695	Wohnung Gerber
721	Wohnungen Schönegg und Gerber, Magazin (je Phase 1), Bureaux Schönegg (Phase 3)
726	Wohnung Gerber
737	Lage unbekannt
752	Werkstatt (Phase 1 und 3), Wohnungen Schönegg (Phase 1)
753	Wohnungen Schönegg (Phase 1)
756	Werkstatt (Phase 1 und 3), Magazin (Phase 1)
757	Magazin (Phase 1)
772	Werkstatt (Phase 1 und 3), Magazin (Phase 1)
775	Wohnung Frauenfelder
760	Lage unbekannt
780	Lage unbekannt

Wie die Versuche gezeigt haben, gibt es in einer Hausinstallation viele schwache Stellen, die als Ableiter wirken. Fliesst nach einem Ueberschlag ein Wechselstrom nach, so schmelzen wenige Sicherungen durch, und nach ihrem Auswechseln ist die Installation scheinbar wieder in Ordnung. Diese Art von Schutz bildet aber keine befriedigende Lösung des Problems, da über die Gefahrlosigkeit solcher Defektstellen keine absolute Gewissheit besteht. Immerhin ist festzuhalten, dass bei sämtlichen Versuchen *nie Feuersgefahr an der festen Installation auftrat*, indem auch bei Durchschlägen die Isolation oder andere der Installation benachbarte brennbare Stoffe nie Feuer fingen. Im Prinzip übernahmen bei den Versuchen die für die Versuchsdauer eingesetzten 4-A-Sicherungen des Haupttableaus der Gebäude-Installation auch den Ueberspannungs- bzw. Brandschutz, sofern sie bei Durchschlägen überhaupt durchschmolzen. Es ist keine neue Erkenntnis, dass Sicherungen als Brandschutz wirken. Die Versuche von Wetzikon bestätigen die wichtige Rolle intakter Sicherungen bei atmosphärischen Ueberspannungen. Je stärker der Schmelzeinsatz, um so stärker wird im allgemeinen der Kurzschlusslichtbogen an der Defektstelle; damit kann die Entzündungsgefahr für benachbarte, leicht brennbare Stoffe steigen. Eine «schleichende Isolationsverschlechterung» im Sinne der Entstehung eines Fehlerwiderstandes der Grössenordnung 10 oder 100 Ω war bei den Messungen nie festzustellen. Auch

wenn ein Kurzschluss auftrat, war nach dessen Abschaltung durch die 4-A-Sicherung der Isolationswiderstand nicht merklich geändert.

Trotzdem also eine direkte Brandgefahr an der festen Installation bei den Versuchen nicht entstand und die für den Notfall bereitgestellten Feuerlöscher nie gebraucht wurden, kann die Beanspruchung der Isolation auf Durchschlag und die damit zugelassene Funkenbildung an irgendwelchen schwachen Stellen doch technisch nicht voll befriedigen. Ein Bedürfnis nach Verhinderung solcher Ueberschläge besteht wohl einerseits vor allem in Gebäuden mit leicht entzündlichen Stoffen, anderseits besonders an Objekten, die an lange Freileitungen angeschlossen sind und die somit von der Nullpunkterdung der speisenden Transformatoren und von allfälligen Ableitersätzen auf der Freileitung mit guter Erdung weit entfernt liegen. Als gefährdete Gebäude müssten demnach besonders einzelstehende Scheunen, Häuser oder kleinere Häusergruppen mit angebauten Scheunen, Munitionsdepots, Benzindepots und dergleichen gelten, besonders, wenn sie über lange Freileitungen gespeist werden. Eine eigentliche Brandgefahr schaffen in diesem Fall überbrückte oder sonst nicht einwandfreie Sicherungen.

Dagegen scheint die Verwendung von Ableitern in Kabelnetzen (Stadtnetzen) und in den Transformatorenstationen mit Transformatorenleistungen über ca. 100 kVA, sowie in den diesen Stationen unmittelbar benachbarten Gebäuden nicht erforderlich. Die in den «Leitsätzen zum Schutz elektrischer Anlagen gegen atmosphärische Ueberspannungen» vom Mai 1942 gemachten Empfehlungen wurden durch die Versuche in dieser Hinsicht erneut belegt. Auch die theoretischen Ueberlegungen anlässlich eines früheren Referates, wonach die Ueberspannungsgefahr der Gebäude mit ihrer wachsenden Entfernung von den Ortstransformatoren oder andern wirksamen Nullpunkterdungen wächst, scheint durch die Versuche bestätigt zu werden [1]).

2. *Bedingungen des wirksamen Ableitereinbaues*

Die Messungen zeigen, dass trotz des Einbaues guter Ableiter im Gebäude Spannungsspitzen einiger 1000 V nicht zu vermeiden sind, wenn Wellen der Grösse von 100 kV mit einer Frontdauer von ca. 2 μs auftreffen. Man muss sich somit vor allem fragen, wie sich die Gebäude-Installation gegenüber solchen Stoßspannungen verhält.

Die heute übliche Methode der Isolationsprüfung durch Messung des Isolationswiderstandes, in der Regel bei ca. 500 V Gleichspannung, gibt hiezu gar keinen Anhaltspunkt. Auch zeigen die Versuche, dass diese Methode nur sehr beschränkten Wert hat, indem die Zahlenwerte wiederholter Widerstandsmessungen stark streuen. Eine Spannungsprüfung mit Gleichspannung von wenigen tausend Volt wäre ohne Zweifel technisch viel eindeutiger und aufschlussreicher. Täuschungen durch zufällige feuchte Stellen würden kaum mehr vorkommen. Sie ist jedoch etwas komplizierter, weil zur Prüfung alle Verbindungen zwischen Polleitern und Nulleiter gelöst werden müssen (Spannungsspulen von Zählern, Sperrschaltern, Klingeltransformatoren usw.). Für die Herstellung eines leichten, handlichen Prüfgerätes besteht dagegen keine Schwierigkeit. Eine solche Spannungsprüfung kann bei dem in Frage kommenden kleinen Hochspannungen ohne weiteres mit Gleichspannung statt Stoßspannung erfolgen. Ohne diese Spannungsprüfung ist eine Abstimmung der Ableiter mit der Isolation stets ein Zufallspiel. Insbesondere für die gegenüber früher höhere Betriebsspannung unserer Normalspannungsnetze 220/380 V sollte jedenfalls danach getrachtet werden, dass die feste Isolation einer minimalen Spannungsprüfung mit einigen tausend Volt standhält. Eine solche, dem Einbau von Ableitern grundsätzlich stets vorausgehende Installationsprüfung wäre sehr zu empfehlen.

Ueber die Stossfestigkeit des üblichen Installationsmaterials wurden von W. Herzog im Auftrag des Starkstrom-Inspektorats umfangreiche Messungen durchgeführt. Daraus, wie auch aus den Beobachtungen in Wetzikon, ergibt sich, dass die schwachen Stellen zum ganz grossen Teil in allzu knappen, mehr zufälligen Luftdistanzen begründet sind, die z. B. in Abzweigdosen, Fassungen, Schaltern, Steckdosen usw. durch unsorgfältige Installation entstehen. Ausnahmen bilden Verbrauchs-Apparate, vor allem Kochplatten und Motoren, deren Isolation schon im allgemeinen sehr knapp ist.

Die Bedingung genügender Stossfestigkeit muss sich somit in erster Linie auf die fest montierte Installation beziehen, wo sie, wie es scheint, ohne nennenswerte Mehrkosten möglich ist. Es ist lediglich nötig, dass die Installationstechnik sich des neuen Gesichtspunktes bewusst wird, wobei die Kontrolle durch die beschriebene Spannungsprüfung ermöglicht wird.

Der Gedanke, die feste Installation mit höheren Spannungen zu prüfen als die angeschlossenen Verbraucher, scheint zunächst widersinnig. Doch lässt er sich durch zwei Gründe in gewissem Masse rechtfertigen: Einmal ist ein Defekt in der festen Installation im allgemeinen nicht gut zugänglich, oft nicht leicht zu finden und in vielen Fällen dauernd unter Spannung. Demgegenüber kann ein Verbraucher (Glühlampe, Kochplatte, Motor usw.) im allgemeinen leicht vom Netz abgetrennt und ausgewechselt werden. Zweitens wirkt jeder Verbraucher nach seinem Ohmwert (sofern er nicht wesentlich induktiv ist) als Ableiter und reduziert daher die Ueberspannung an seinen Klemmen mehr oder weniger.

Der alte Brauch elektrischer Ueberlandbahnen, bei Gewitter die Beleuchtung einzuschalten, entbehrt nicht einer gewissen Berechtigung. Noch besser sind in dieser Richtung natürlich Heisswasserspeicher, die sich als Ueberspannungsschutz, z. B. an Bahnfahrleitungen, in der Praxis sehr gut zu bewähren scheinen.

[1]) K. Berger: Der Ueberspannungsschutz von Hausinstallationen. Bull. SEV 1941, Nr. 25, S. 699.

3. *Die Art des Ableitereinbaues*

Die Versuche in Wetzikon haben dahin überrascht, dass es sich als günstiger erwies, die Ableiter nicht unmittelbar zur Installation zu setzen, sondern z. B. 100 m von ihr entfernt auf die Freileileitung. Diese Beobachtung erlaubt, einen einzigen Ableitersatz zum Schutz ganzer kleiner Häusergruppen anzuwenden. Die Erdung braucht nicht besser zu sein als ca. 5 Ω. Wo eine Wasserleitung als Erdung verfügbar ist, wird sie natürlich mit Vorteil benützt.

In genullten Netzen sollen die Ableiter stets zwischen allen 3 Polleitern und dem Nulleiter mit kurzen Verbindungen angeschlossen werden. Der Nullleiter ist an dieser Stelle auf kürzestem Weg zu erden. Auch eventuelle Kondensatoren bei der Hauseinführung oder am Hauptsicherungstableau sollen derart angeschlossen sein, wobei die Nulleitererdung auf kürzestem Weg an die Hauswasserleitung zu erfolgen hätte. Bei der Bemessung dieser Nulleiter-Erdleitungen sollte man sich stets vor Augen halten, dass darauf u. U. auch betriebsfremde Ströme zirkulieren können (Bahn- und Tramströme). Im Gegensatz zur heutigen Praxis in Hochspannungsanlagen wird der Niederspannungsableiter häufiger an Holzstangen eingebaut werden. Auf die Verhinderung von Kondenswasser- und andern Korrosionsschäden sollte somit von Anfang an Gewicht gelegt werden, damit sich frühere schlechte Erfahrungen nicht wiederholen. Dieser Punkt verdient besondere Beachtung, weil die Gefahr einerseits bei den üblichen Ableiterprüfungen nicht zum Vorschein kommt; anderseits führt sie im Betrieb als Erdschluss zu einer dauernden Berührungsgefahr (Schrittspannungen!) und zu Energieverlusten auf der Leitung, die nicht immer rasch entdeckt werden.

4. *Mögliche Verbesserungen und Grenzen der Schutzmöglichkeiten*

Zur Verbesserung der Schutzwirkung bestehen grundsätzlich folgende Möglichkeiten:

a) Vergrösserung der Installationskapazität durch Einbau von Kondensatoren mit einigen μF Kapazität zwischen Polleitern und Nulleiter beim Gebäude-Eingang und Erden des Nulleiters an vorhandene Wasserleitung auf dem kürzesten Weg.

b) Einbau von mehreren, längs der Freileitung im Abstand von ca. 100 m verteilten Ableitersätzen. Die Ansprechspannung der vom Gebäude weiter entfernten Ableiter dürfte höher eingestellt werden und ihre Erdungswiderstände brauchen nicht kleiner zu sein als ca. 20 Ω.

Die Lösung b) hat gegenüber der Lösung a) den Vorteil, dass der Nulleiter selber und das ganze Leitersystem weniger hohe Spannungssprünge mitmachen würde. Damit sinkt die Gefahr von Ueberschlägen im Gebäude auf noch nicht verbundene andere Leitersysteme, z. B. Gasleitungen, Telephonleitungen usw.

c) Erhöhen der Stossfestigkeit der Installation.

Trotz idealer Ableiter, d. h. solcher mit Ansprechspannung und Restspannung null, entstehen in der Hausinstallation Gewitterüberspannungen, weil sich die induktiven Spannungsabfälle auf den Anschluss- und Erdungsdrähten, sowie die Abfälle an der Erdung selber nie ganz vermeiden lassen. Diese bestimmen die Grenzen der Schutzmöglichkeit in derselben Weise wie in Hochspannungsanlagen. Nur spielen leider dieselben Spannungsabfälle einiger tausend Volt in der Hausinstallation eine viel gefährlichere Rolle als in einer Hochspannungsanlage. Es scheint wirtschaftlich kaum möglich, Hausinstallationen während naher direkter Blitzeinschläge in der Freileitung mittels Ableitern vor Ueberschlägen und Sicherungsdefekten *restlos* zu schützen. Dagegen kann wohl der weitaus grösste Teil indirekter Blitzüberspannungen, die heute zu Ueberschlägen in gefährdeten Installationen führen, mit einem Ableitersatz und eventuell Kondensatoren an der Hauseinführung unschädlich gemacht werden.

Mit der Anzahl in einem bestimmten Netz eingebauter Ableiter wachsen naturgemäss die Schutzmöglichkeiten, weil sich die Stoßströme doch einigermassen auf verschiedene Stromwege verteilen. Die Aufgabe eventueller Leitsätze und der Betriebserfahrung wird es sein, jene Orte oder Objekte festzustellen, an denen der Einbau eines Schutzes sich lohnt und anderseits jene andern Punkte auszuscheiden, an denen der Einbau überflüssig ist und somit eine Fehlinvestition von Arbeit und Material bedeuten würde.

VI. Diskussion des Berichtes und Referates über die Möglichkeiten des Schutzes von Haus-Installationen gegen atmosphärische Ueberspannungen gelegentlich der FKH-Mitgliederversammlung vom 17. Dezember 1943 in Zürich.

H. Germiquet, Inspektor der kantonalen Brandversicherungs-Anstalt, Bern, berichtet über seine Erfahrungen betr. Gewitterschäden in Netzen mit geerdetem und nicht geerdetem Sternpunkt der Ortsnetztransformatoren. Wie die Praxis zeigt, treten an den nicht geerdeten Netzen die meisten Erdschlüsse in den an der Peripherie der Ortsnetze angeschlossenen Installationen auf. Brände infolge Gewitterüberspannungen entstehen nach seiner Ansicht dadurch, dass beim Auftreffen von Ueberspannungen im Gebäudeinnern die Isolation an der schwächsten Stelle durchschlagen wird und dann der durch den nachfliessenden Betriebsstrom bedingte Lichtbogen benachbarte brennbare Gebäudeteile oder Gegenstände entzündet. Bei den Telephonleitungen, die den gleichen Gewitterüberspannungen ausgesetzt sind wie die Starkstrom-Freileitungen, sind keine Brände zu verzeichnen, da hier durch den Betriebsstrom kein Lichtbogen erzeugt wird. Ein besonders heikler Punkt sind die geerdeten Dachständereinführungen, indem dort bei Gewittern oft Erdschlüsse auftreten, ohne dass eine Abschaltung der Ortsnetztransformatoren erfolgt. Der Erdschlußstrom kann auch über die Metallmäntel der Bergmannrohre fliessen und bei Kreuzungen dieser Bergmannrohre mit Wasserleitungen oder anderen geerdeten Metallteilen kann an diesen Stellen ein Lichtbogen und damit ein Brand entstehen. Es wurde sodann festgestellt, dass bei Gewittern viel mehr Schraubsicherungen als Steckersicherungen zerstört werden. Der Sprechende erklärt sich diese Erscheinung dadurch, dass bei den Schraubsicherungen die Strombahn eine Schleife bildet, die beim Auftreffen von Gewitterüberspannungen überschlagen wird, was dann zur Zerstörung der Sicherung führt. Im weiteren führt der Sprechende aus, dass von Installationen, in denen die Leitungen nicht in Metallrohre, sondern offen verlegt und von benachbarten Metallteilen genügend distanziert sind, keine Gewitterüberspan-

nungsschäden zu verzeichnen sind. In bezug auf die Schutzwirkung durch das Einschalten der Apparate bei Gewittern hat der Sprechende die gleichen Erfahrungen gemacht wie Dr. Berger. Im weiteren bemerkt er, dass sich Durchschläge der Isolation infolge Gewitterüberspannungen oft nicht sofort im Moment des Durchschlages, sondern erst in einem späteren Zeitpunkt äussern, indem dann pötzich durch Uebertritt des Betriebsstromes an der geschwächten Stelle ein Brand entstehen kann.

A. Troendle, Oberingenieur der Materialprüfanstalt des SEV, Zürich, erklärt die bei den Schraubsicherungen beobachteten häufigeren Defekte dadurch, dass, wie dies auch die Stossüberschlags-Messungen bestätigt haben, die Isolationsfestigkeit der Schraubsicherungen zwischen den beiden Anschlussklemmen wesentlich geringer ist als bei den Steck-sicherungen.

Dr. K. Berger, Versuchsleiter der FKH, Zürich, äusserte sich zu den Ausführungen des Herrn Germiquet betr. Ueberschläge der Luftdistanz an engen Schleifen oder bei scharfen Ecken. Die Stossversuche und Blitzerfahrungen zeigen, dass selbst bei sehr engen Schleifen und sehr spitzwinklig abgebogenen Leitungen die Ueberspannungswelle immer längs der Leitung läuft. Die heute allgemein vermutete und gefürchtete Gefahr von Ueberschlägen an scharfen Biegungen scheint in Wirklichkeit nicht grösser zu sein, als dem rein elektrostatischen Feld an solchen Spitzen entspricht. Bezüglich des Unterschiedes zwischen Schraub- und Stecksicherungen ist der Redner der gleichen Auffassung wie Herr Troendle und findet das unterschiedliche Verhalten beim Betrachten beider Konstruktionen sehr plausibel.

Wenn eine Ueberspannungswelle auf eine Installation auftrifft, so wird im Innern der Installation die Isolation an irgendeiner Stelle durchschlagen. Durch den nachfliessenden Betriebsstrom wird dann die Sicherung zum Durchschmelzen gebracht. Trifft dann eine weitere Ueberspannungswelle auf die betreffende Installation, so kann die vom Durchschmelzen der Sicherungspatrone geschaffene, insbesondere bei der Schraubsicherung relativ kleine Isolationsstrecke überschlagen und durch den nachfliessenden Betriebsstrom ein Lichtbogen eingeleitet werden, der nicht mehr sofort erlischt, sondern zur Zerstörung des Sicherungselementes führt. Aus diesem Grunde sollten bei Gewittern auch die Hausanschlußsicherungen nicht herausgenommen werden. Sonst würde dort eine Funkenstrecke geschaffen, die beim Auftreffen einer Gewitterüberspannung einen nicht mehr sofort erlöschenden Lichtbogen einleiten könnte. Im weiteren erklärt der Sprechende, dass auch durch den Blitzstrom selbst, ohne Betriebsstrom, ein Brand eingeleitet werden kann, wenn er nur genügend lang dauert («zündender Blitz»). Zur Frage der Schwächung der Isolation durch Gewitterüberspannungen ist zu bemerken, dass bei den Versuchen in Wetzikon eine solche Erscheinung nicht festgestellt werden konnte. Es wurde nach den Versuchen der gleiche Isolationswiderstand gemessen wie vor den Versuchen.

H. Wüger, Oberingenieur der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich, Zürich, glaubt, dass man als «Betriebsmann» aus dem Bericht und dem Referat folgende Schlussfolgerungen ziehen kann: 1. Niederspannungsinstallationen bilden infolge ihrer grossen Kapazität selbst schon einen gewissen Schutz gegen Gewitterüberspannungen. 2. In grösseren Ortsnetzen brauchen keine Ueberspannungsableiter eingebaut zu werden, sondern der Einbau kann auf abgelegene Höfe beschränkt werden. 3. Durch das Einschalten von Ohmscher Belastung kann die Ueberspannung in Installationen vermindert werden. 4. Wenn mehrere Leitungen auf demselben Gestänge verlaufen, und die eine von einer Ueberspannung betroffen wird, kann durch kapazitive Wirkung die Ueberspannung auch auf die anderen Leitungen übertragen werden. 5. Störschutzkondensatoren wirken infolge ihrer Kapazität ähnlich wie Ableiter. Die Stossfestigkeit der Störschutzkondensatoren ist, wie aus den Versuchen in Wetzikon hervorgeht, eher höher als diejenige alter Anlagen. 6. Es muss dahin tendiert werden, die Isolationsfestigkeit (Stossfestigkeit) der elektrischen Installationen und des elektrischen Installationsmaterials zu vergrössern (mindestens 5 kV). Er glaubt, dass diese ohne Verteuerung des Installationsmaterials, nur durch sorgfältige Ausführung der Installationen möglich sein wird. Er verweist auf die Störschutzkondensatoren einer Firma, bei denen ursprünglich die Isolationsfestigkeit sehr stark streute und teilweise nur 2 kV betrug, die dann aber in Zusammenarbeit mit der Materialprüfanstalt des SEV und den EKZ ohne Forderung eines Mehrpreises derart verbessert werden konnte, dass sie heute mindestens 5 kV beträgt. 7. Es ist für die Schutzwirkung günstiger, wenn die Ableiter nicht unmittelbar an der Einführungsstelle der Freileitung in das zu schützende Gebäude, sondern in einer gewissen Distanz davon eingebaut werden. Die Werke haben es dann auch in der Hand, die Erdung der Ableiter richtig durchzuführen. Als Nachteil ist zu erwähnen, dass dann die Werke, nicht die Abonnenten, die Ableiter bezahlen müssen. Wenn die Ableiter aussen montiert werden, können Kreuzungen mit Wasserleitungen, Erdleitungen von Radio usw. im Innern der Gebäude vermieden werden. 8. Die Erdung der Ableiter braucht nicht besonders gut zu sein, Erdungswiderstände von 5...10 Ohm können noch als genügend angesehen werden. Bei abgelegenen Höfen ist es oft unmöglich, ohne grosse Aufwendungen kleinere Erdungswiderstände als 5...10 Ohm zu erzielen. 9. Durch den Einbau von 2 Ableitern in verschiedenen Abständen von dem zu schützenden Gebäude kann die Schutzwirkung vergrössert werden. An Stelle des zweiten Ableiters kann in der Installation selbst auch eine Kapazität eingebaut werden, vielleicht in Form eines Radiostörschutzkondensators, wodurch dann auch noch der Radioempfang verbessert wird. 10. Durch den Einbau von Ableitern können wohl indirekte, aber nur selten direkte Blitzeinschläge unschädlich gemacht werden. Direkte Blitzeinschläge sind jedoch viel seltener als indirekte. 11. Die Niederspannungsableiter sollten eine möglichst kleine Restspannung aufweisen. 12. Ableiter sollten eingebaut werden nach langen Leitungen, d. h. bei abgelegenen Höfen, ferner dort, wo Abzweigungen aus Netzgebilden austreten, und zwar am Anfang und Ende der betr. Leitungen.

E. Foretay, Ingenieur der Kabelwerke Cossonay, weist auf die günstige Durchschlagsfestigkeit der mit thermoplastischer Masse isolierten Leiter hin. Die Durchschlagsspannung solcher Leiter mit 1 mm² Cu-Querschnitt beträgt 30...50 kV.

M. F. Denzler, Oberingenieur des Starkstrominspektorates, Zürich, teilt mit, dass die papierisolierten Leiter eine weit geringere Isolationsfestigkeit aufweisen (kleiner als 4 kV). Heute müssen aber kriegsbedingt solche Leiter installiert werden, die auch nach dem Kriege kaum ausgewechselt werden. Er berichtet sodann über die vom Starkstrominspektorat seinerzeit durchgeführten Versuche betr. die Isolationsfestigkeit der auf dem Markte erhältlichen Installationsmaterialien. Aus den Versuchen geht hervor, dass, mit Ausnahme der erwähnten papierisolierten Leiter, die Forderung einer Mindestisolationsfestigkeit von 4...5 kV ohne weiteres gestellt werden könnte, da das meiste Installationsmaterial heute schon eine solche Prüfspannung aushält. Die Versuche im Letten wurden durchgeführt unter Verwendung sowohl von neuem wie auch von altem Installationsmaterial (Schalter, Sicherungen, Steckdosen, Verbindungsdosen, Lampenfassungen, Drähte usw., die aus alten Anlagen ausgebaut wurden).

W. Werdenberg, Direktor des Elektrizitätswerkes der Stadt Winterthur, erkundigt sich, wie weit Gebäude vom Ortsnetztransformator entfernt sein dürfen, damit bei den betreffenden Gebäuden keine Ableiter eingebaut werden müssen, sondern diese durch den Ortstransformator selbst beim Auftreffen einer Ueberspannungswelle noch genügend geschützt sind.

Dr. K. Berger erläutert, dass unter der Annahme einer indirekten, kapazitiv induzierten Gewitterüberspannung mit der Frontsteilheit von nur 3 kV/μs durch den Entladestrom der Freileitung in einer Entfernung von 500 m von einem geerdeten Leitungspunkt (Ortstransformator oder Ableiter) schon ein Spannungsabfall von ca. 9 kV gegen Erde auftritt. Eine Entfernung von 500 m muss deshalb schon als äusserste Grenze bezeichnet werden.

H. Wüger glaubt, dass eine Distanz von 500 m für die Schutzwirkung von Ortstransformatoren schon sehr reichlich ist. Wie die Praxis zeigt, treten in Installationen, die von Ortsnetztransformatoren über Freileitungen von 300...400 m gespiesen werden, bei Gewittern oft Störungen auf. Längere Niederspannungs-Freileitungen als 300...400 m kommen praktisch schon deshalb nicht in Frage, weil sonst der Spannungsabfall zu gross würde. Die Entfernung zwischen Ableiter und dem zu schützenden Objekt sollte nicht grösser als 200 bis max. 300 m sein.

H. Fröhlich, Ingenieur der Landis & Gyr A.-G., Zug, vertritt die Ansicht, dass die Ableiter nach der Stossfestigkeit der heute vorhandenen Installationen bemessen, nicht umgekehrt die Installationen den Ableitern angepasst werden sollten. Dies kann dadurch erreicht werden, dass die Restspannung der Ableiter möglichst klein gewählt und für eine gute Erdung der Ableiter gesorgt wird.

Dr. A. Roth, Direktor der Sprecher & Schuh A.-G., Aarau, kommt auf die Frage des Schutzwertes von Ableitern bei direkten Einschlägen in die Freileitungen zu sprechen. In solchen Fällen entstehen Ueberschläge an den Freileitungs-Isolatoren und diese wirken dann als Ableiter. Die Hausinstallationen werden dann nur mit der verbleibenden Restspannung beansprucht. Im weiteren bestätigt er die Ausführungen des Herrn Dr. Berger, dass durch den Einbau von Ableitern abgelegene Höfe geschützt werden können. Dies geht daraus hervor, dass in solchen Installationen, wo vor dem Einbau von Ableitern bei Gewittern regelmässig Glühlampen und Schmelzeinsätze von Sicherungen zerstört wurden, nach dem Einbau von Ableitern keine derartigen Defekte mehr auftraten.

H. Elsner, Ingenieur der Kondensatorenfabrik Fryburg, bestätigt, dass die Kondensatorenfabrik Fryburg auf Anregung der EKZ und in Zusammenarbeit mit der Materialprüfanstalt des SEV die Isolationsfestigkeit ihrer Störschutzkondensatoren wesentlich verbessert hat. Dagegen sind heute noch viele Kondensatoren auf dem Markte, die infolge ihrer kleinen Abmessungen niemals eine Stoßspannung von z. B. 5 kV aushalten würden. In bezug auf den Einbau von Kondensatoren als Ueberspannungsschutzmittel, die dann zugleich als Radiostörschutzkondensatoren wirken würden, bezweifelt er, ob durch den Einbau eines einzigen Kondensators an der Eintrittsstelle der Freileitung in das Gebäude ein wirksamer Störschutz in dem betreffenden Gebäude erzielt werden kann, da die vielen Leitungen im Innern des Gebäudes zu fest miteinander verkoppelt sind. Dagegen kann durch eine solche Massnahme der Uebertritt von Radiostörungen aus einem Gebäude über die Freileitung in entferntere Gebäude verhindert werden. Im weiteren weist er daraufhin, dass die Stossfestigkeit der heute auf dem Markt befindlichen Kondensatoren für Phasenkompensation oft sehr gering ist.

Ein weiterer **Votant** äussert sich zum ungünstigen Einfluss der Induktivität der Erdleitungen von Ableitern auf deren Schutzwert. Zur Verkleinerung dieser Induktivität könnten die in Drehstromnetzen an die 3 Pole angeschlossenen Ableiter nicht an eine gemeinsame Erdleitung, sondern an getrennte Erdleitungen angeschlossen werden. Im weiteren wirft er die Frage auf, ob nicht bei den an Drehstromnetzen angeschlossenen Drehstromapparaten, die in Stern geschaltet sind, der Sternpunkt an Erde gelegt werden sollte, damit auf diesem Wege in die Installation eindringende Ueberspannungen nach Erde abfliessen könnten.

Dr. K. Berger teilt noch mit, dass nach der von der Gebäudeblitzschutzkommission des SEV geführten Statistik über Blitzschäden auf Grund der Angaben von 18 kantonalen Feuerversicherungsanstalten die *jährliche* Schadensumme (Gebäudeschäden), bezogen auf 12 Jahre, ca. 50 000 Fr. beträgt. Nach der Statistik der Brandassekuranz-Anstalt des Kantons Zürich beträgt der jährlich durch den Blitz verursachte angemeldete Schaden im Kanton Zürich ca. 7000 Fr. Der Sprechende bemerkt sodann, dass es erwünscht wäre, wenn noch weitere Stossversuche, und zwar an abgelegenen Höfen, wo der Einbau von Ableitern in erster Linie in Frage kommt, gemacht werden könnten. Auf Grund der heute vorliegenden Versuchsresultate ist es nicht möglich, schon allgemeine Richtlinien für den Schutz von Hausinstallationen durch Ableiter aufzustellen. Eventuell zeigen sich bei solchen Versuchen an Installationen mit kleinerer Kapazität auch noch Erscheinungen, die bei den Versuchen in Wetzikon, die sich auf Installationen mit einer verhältnismässig grossen Kapazität bezogen, nicht auftraten.

Da das Wort zur Diskussion nicht weiter verlangt wird, richtete der **Vorsitzende** der FKH, *H. Habich,* Stellvertreter des Oberingenieurs der Abteilung für Bahnbau und Kraftwerke der SBB, Bern, an die versammelten Interessenten folgende Wünsche:

1. Wenn beim Installationsmaterial Neukonstruktionen geschaffen werden, so sollte bei diesen die Isolationsfestigkeit (Stoßfestigkeit) auf Grund der heutigen Erkenntnisse vergrössert werden (d. h. Erhöhung der Prüfspannung).

2. Speziell den Kriechwegen und Luftdistanzen zwischen den Phasen, dem Nulleiter und geerdeten Metallteilen sollte vermehrte Beachtung geschenkt werden.

3. Bei den Meisterprüfungen für Elektroinstallateure sollte von den Experten auch auf die Notwendigkeit einer sorgfältigen Installation der Apparate und insbesondere der Leitungen, sowie auf die Folgen nicht sorgfältiger Installation aufmerksam gemacht werden.

4. Die Werke möchten prüfen, ob nicht wenigstens bei denjenigen Installationen, die durch Ableiter geschützt werden sollen, die heute übliche Messung des Isolationswiderstandes durch eine Spannungsprüfung ersetzt werden kann.

5. Da sich die Transformatoren mit Zickzack-Schaltung der Unterspannungswicklung für die Ableitung von Gewitterüberspannungen ganz besonders günstig erwiesen haben, ist zu erwägen, ob diese Transformatoren nicht in vermehrtem Masse verwendet werden sollten.

6. Bei dem Bau von Schmelzsicherungen sollte dafür gesorgt werden, dass beim Durchschmelzen des Schmelzdrahtes eine solche Distanz entsteht, dass an dieser Stelle beim Auftreffen einer Gewitterüberspannung kein Ueberschlag erfolgt. Dies gilt ganz speziell für die Hauptsicherungen der Installation.

7. Die Ableiter sollten mit einer Kennvorrichtung ausgerüstet werden, die anzeigt, wenn ein Defekt (dauernder Erdschluss) erfolgt und deshalb eine Auswechslung nötig ist, damit nicht Unfälle an der Ableitererdung in ungenullten Netzen entstehen.

Zum Schluss bittet der **Vorsitzende** alle Interessenten, der FKH ihre Beobachtungen und Erfahrungen mit Gewitterüberspannungen mitzuteilen, damit diese praktischen Erkenntnisse bei einer eventuellen späteren Aufstellung von Richtlinien für den Schutz von Hausinstallationen gegen Gewitterüberspannungen verwertet werden können.