Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 60 (1969)

Heft: 4

Artikel: Schäden an Niederspannungsanlagen durch Gewitterüberspannungen

Autor: Lehmann, G. / Naumann, W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916128

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: 08.08.2025

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

Schäden an Niederspannungsanlagen durch Gewitterüberspannungen

Von *G. Lehmann* und *W. Naumann*, Dresden

2482 - 2483

621.316.93:621.316.1.015.3

Die Frage nach der Notwendigkeit eines Überspannungsschutzes der Niederspannungsanlagen wird aus ökonomischer Sicht oft negativ beantwortet. An Hand der Blitzschadenstatistik des Bezirkes Dresden kann aber nachgewiesen werden, dass Überspannungsschäden nicht zu den seltensten Ereignissen zählen und deshalb nicht nur aus rein sicherheitstechnischen Gründen ein Überspannungsschutz angeraten erscheint. Aus einer Analyse der Überspannungsursachen werden wirksame Massnahmen abgeleitet, die auf eine Koordination der Isolation auch für Betriebsmittel mit Nennspannungen bis 1000 V hinauslaufen. An Beispielen werden die Auswirkungen von Blitzüberspannungen gezeigt.

La question de la nécessité d'une protection contre les surtensions dans les installations à basse tension est souvent contestée du point de vue économique. Sur la base des données statistiques relatives aux dommages causés par la foudre dans le district de Dresden, on peut néanmoins prouver que les dommages causés par les surtensions ne sont nullement si rares et qu'une protection contre les surtensions semble parfaitement indiquée, non seulement pour des raisons de sécurité. On déduit d'une analyse des causes de surtensions des mesures efficaces qui aboutissent à une coordination de l'isolement s'étendant même aux dispositifs d'exploitation accusant des tensions nominales jusqu'à 1000 V. Les effets des surtensions causées par la foudre sont illustrés par des exemples.

1. Einleitung

Neben der Blitzgefährdung eines Landes oder Gebietes ist die genaue Ermittlung über die Einschlagstelle des Blitzes, über seinen Weg und seine Auswirkungen am getroffenen Objekt sowohl wissenschaftlich als auch volkswirtschaftlich von grosser Bedeutung. Über am Schadensort getroffene Feststellungen und ihre Auswertungen sind in der Fachpresse verhältnismässig wenig Veröffentlichungen erschienen. Dagegen ist bereits früher auf die Notwendigkeit derartiger Beobachtungen hingewiesen worden, um Erfahrungen darüber zu sammeln, welche Auswirkungen der Blitz bei seinem Einschlag in Gebäude auf die elektrische Installationsanlage und die angeschlossenen Geräte hat [1; 2; 3; 4] [1]).

In der Klärung der Frage, welche Schäden bei Gewitter in Niederspannungsanlagen auftreten, sind in den letzten 10 Jahren im Bezirk Dresden ausgedehnte Untersuchungen von mehr als 4000 Blitzschadenfällen angestellt worden. In einer grösseren Anzahl von untersuchten Schadenfällen durch Fachkräfte konnte festgestellt werden, inwieweit die von den Geschädigten der DVA [2]) gegenüber gemachten Angaben zutrafen und welche Ursachen den Schäden zugrunde liegen.

Nachdem sich bei diesen Untersuchungen herausgestellt hatte, wie umfangreich die Auswirkungen einzelner Blitzeinschläge auf elektrische Betriebsmittel waren [4], sollen nun Einzelheiten näher beschrieben werden. Dazu sind die Analyse der Überspannungsursachen, die Untersuchung der Ausbreitung der Wanderwellen im Ortsnetz, die Ermittlung der Schadenhäufigkeit, die Art der Schäden und ihr Umfang sowie die Auswahl geeigneter Schutzmassnahmen notwendig.

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.
[2]) *DVA* Deutsche Versicherungsanstalt.

2. Die Auswertung der Blitzschadenstatistik

Um möglichst alle Blitzeinschläge und -auswirkungen zur Klärung der Frage der örtlichen Blitzgefährdung zu erfassen, wurden alle schadenersatzpflichtigen Blitzschäden auf einen besonderen Fragebogen registriert.

Für die hier zur Diskussion stehenden Probleme können insbesondere neben Ort und Zeit des Schaden- oder Störungsfalles folgende Angaben ermittelt werden:

a) Art des Einschlagortes (Antenne, Schornstein, Dächer u. ä.; Niederspannungsfreileitungen und -kabel);
b) Umfang der Auswirkungen von Überspannungen auf die verschiedenen Betriebsmittel (getrennt nach Nieder- und Mittelspannung);
c) Art der Übertragung der Überspannung in das Leitungssystem.

Bei der Auswertung der Blitzschadenstatistik muss auf folgende Schwierigkeiten hingewiesen werden:

In den Anfangsjahren der statistischen Erfassung blieben viele Bagatellschäden ungemeldet, und wichtige Meldebogen gingen verloren. Nur so ist das sprunghafte Anwachsen der Schäden (Tabelle I) ab 1963 zu erklären. Die Zuverlässigkeit der statistischen Aussage wird deshalb nicht grösser, wenn

Übersicht über Blitzschadensmeldungen und «Gewittertage» — Tabelle I

Jahr	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967
Zahl der Meldungen (ohne Energieversorgung)	90	54	76	75	268	535	415	398	618	926
Zahl der Meldungen der Energieversorgung										
a) Mittelspannung									126	211
b) Niederspannung									65	329
Zahl der «Gewittertage» [1])	26	24	28	35	46	83	58	57	92	114
Schäden und Störungen pro «Gewittertag»	3,5	2,3	2,7	2,1	5,8	6,5	7,2	7	7,4	11

[1]) Abweichend von der üblichen Definition ist hier jeder Tag gemeint, an dem mindestens ein Schaden gemeldet wurde.

die letzten 10 Jahre zugrunde gelegt werden. Es sollen die weiteren Betrachtungen nur auf die Jahre 1963 bis 1967 bezogen sein.

In Tabelle I wurden den Schadenmeldungen die Zahl der «Gewittertage» gegenübergestellt, wobei als «Gewittertag» jeder Tag mit mindestens einem Gewitterschaden gemeint ist. Dabei fällt zunächst die grosse Zahl der «Gewittertage» auf, die weit über dem isokeraunischen Pegel für das Dresdner Gebiet liegt (20 bis 30 Gewittertage pro Jahr). Diese Tatsache beweist erneut, dass schon in einem kleineren Gebiet, wie es der Bezirk Dresden mit 6738 km² ist, häufig Gewitter von nur lokaler Ausdehnung oder bevorzugter Gewitterzugsrichtung auftreten. Da aber wiederum die Schäden aus dem ganzen Bezirk gemeldet werden, kann die Zahl der ermittelten «Gewittertage» sehr gut zur Angabe der Schäden pro «Gewittertag» herangezogen werden (Tabelle I). Für die Jahre 1962 bis 1966 sind es etwa 6 bis 8 Schäden, pro «Gewittertag» ausgewiesen. Für das gewitterreiche Jahr 1967 erhöhen sie sich auf etwa 11. Diese Angaben beziehen sich nur auf die eingegangenen Meldungen der Bevölkerung und der öffentlichen Energieversorgung (Bereich: Niederspannung). Es fehlen aber in der Hauptsache viele Schäden aus der Forstwirtschaft.

Trotzdem die Tabelle I eine recht konstante Abhängigkeit der Schäden pro «Gewittertag» ausweist, wurden Schwankungen in der Blitzschadenhäufigkeit an einzelnen Gewittertagen in weiten Grenzen beobachtet [4].

2.1 Überspannungsursachen im Niederspannungsnetz

Eine genaue Untersuchung der Überspannungsursachen ist eine Notwendigkeit für die Analyse der Blitzschadenstatistik. Einmal erhöht sich die Zuverlässigkeit über die wirkliche Schadenursache, zum anderen wird die Blitzeinschlagdichte genauer bestimmbar, da Folgeschäden, die nur eine Blitzentladung als Ursache haben, als solche erkannt und nicht als Einschlag gezählt werden. Schliesslich führt sie auf die wichtige Frage der Schadenverhütung im Zusammenhang mit neuen Prüfmethoden (Stoßspannungsprüfung) in der Niederspannungstechnik.

Zunächst konnte festgestellt werden, dass nur selten Blitzeinschläge spurlos an den elektrischen Einrichtungen in Abnehmeranlagen vorübergehen. In 70...80 % der gemeldeten Fälle führten elektrische Betriebsmittel teilweise oder ganz den Blitzstrom zur Erde und wurden beschädigt, weil sie der Beanspruchung nicht gewachsen waren. Als Ursache des Blitzstromübertritts und der damit entstehenden Überspannung kommt sowohl die galvanische, induktive als auch kapazitive Einkopplung der Hauptentladung in das Energieübertragungssystem in Frage, so dass unterschieden werden kann zwischen:

a) *Direkteinschlag* in das Leiterseil (Ladungsausgleich Wolke—Erde über die Leitung);

b) *Nahblitzeinschlag* und Wolkenblitze (Spannungen werden auf die Leitung influenziert oder induziert durch den Auf- und Abbau elektrischer und magnetischer Felder);

c) *rückwärtigen Überschlag* (sonst nicht spannungführende leitfähige Gebäudeteile oder Masten werden durch einen Blitzeinschlag hohe Spannungen annehmen, die infolge einer Näherung zur elektrischen Installation oder Leitung durch einen Durch- bzw. Überschlag ihre Spannung dorthin übertragen).

Der Direkteinschlag zeichnet sich durch besonders hohe Spannungswellen (meist über 500 kV) aus. Als Innenwiderstand an der Einschlagstelle wird der Wellenwiderstand der Blitzbahn (ca. 300...600 Ω) wirksam. Seine Kennzeichen sind beschädigte Leiterseile, zerplatzte Isolatoren, zersplitterte Holzmasten und Blitzspuren am Putz oder am Mauerwerk unterhalb der Hauseinführung der Leitung. Nach Tabelle II machen sie im Jahresmittel etwa 5 % aus.

Durch Nahblitzeinschläge und Wolkenblitze entstehen die Überspannungen durch Fernwirkung auf den Freileitungen; diese pflanzen sich nach der Blitzentladung als Wanderwellen fort. Die Höhe der Überspannung ist nicht allein von der Ladung der Wolke, sondern auch von der Entfernung zwischen Einschlag und Freileitung abhängig. Viele Messungen und Berechnungen [6] ergaben dafür Werte zwischen 1 und 400 kV. Da Freileitungen weit verbreitet sind, vergrössert sich die Häufigkeit des Auftretens solcher Überspannungen. Die statistische Auswertung brachte eine durchschnittliche Häufigkeit von 58,7 %. Dabei ist zu beachten, dass auch die Mittelspannungsnetze über den Transformator Blitzspan-

Überspannungsursachen in Niederspannungsabnehmeranlagen — Tabelle II

Kreis	1963				1964				1965				1966				1967				Jahresmittelwert			
	di	in	rü	ges	di	in	rü	ges	di	in	rü	ges	di	in	rü	ges	di	in	rü	ges	di	in	rü	ges
1	1	12	13	*26*	—	9	5	*14*	2	10	7	*19*	4	36	37	*77*	2	19	16	*37*				
2	—	—	8	*8*	4	28	25	*57*	1	22	4	*27*	2	29	26	*57*	4	67	28	*99*				
3	—	16	15	*31*	1	42	19	*62*	5	62	7	*74*	3	32	18	*53*	7	62	17	*86*				
4	—	20	13	*33*	2	17	15	*34*	1	12	4	*17*	1	12	11	*24*	1	22	23	*46*				
5	—	2	3	*5*	—	1	6	*7*	—	1	5	*6*	—	—	4	*4*	—	3	10	*13*				
6	1	14	12	*27*	1	8	9	*18*	1	9	7	*17*	1	3	12	*16*	1	14	10	*25*				
7	1	9	10	*20*	—	—	2	*2*	—	5	2	*7*	1	3	2	*6*	5	17	6	*28*				
8	—	4	11	*15*	—	2	11	*13*	—	1	4	*5*	—	6	2	*8*	2	18	6	*26*				
9	3	13	7	*23*	2	15	10	*27*	2	22	4	*28*	—	10	—	*10*	6	22	12	*40*				
10	1	4	7	*12*	—	4	3	*7*	—	7	10	*17*	1	10	10	*21*	4	49	16	*69*				
11	—	22	15	*37*	—	4	—	*4*	—	8	11	*19*	1	5	4	*10*	3	31	18	*52*				
12	—	5	13	*18*	1	10	13	*24*	1	11	3	*15*	—	9	5	*14*	2	16	3	*21*				
13	2	53	22	*77*	1	19	2	*22*	5	17	2	*24*	4	39	20	*63*	5	66	22	*93*				
14	1	7	9	*17*	—	1	4	*5*	—	1	5	*6*	—	1	3	*4*	3	8	7	*18*				
15	4	24	10	*38*	1	12	5	*18*	—	28	10	*38*	—	23	18	*41*	1	25	14	*40*				
16	—	8	3	*11*	—	4	3	*7*	2	3	3	*8*	1	7	3	*11*	3	17	17	*37*				
Total	14	213	171	*398*	13	176	132	*321*	20	219	88	*327*	19	225	175	*419*	49	456	225	*730*	23	258	158	*439*
%	3,5	53,5	43	*100*	4,1	54,8	41,1	*100*	6,1	67	26,9	*100*	4,5	53,7	41,8	*100*	6,7	62,5	30,8	*100*	5,2	58,8	36,0	*100*

di Überspannungsschäden bei einem Direkteinschlag in das Netz
in Überspannungsschäden bei Nahblitzeinschlägen (induzierte Überspannungen, deren Entstehungsort nicht immer bekannt ist)
rü Überspannungsschäden in Gebäuden bei rückwärtigen Überschlägen
ges Total der Überspannungsschäden

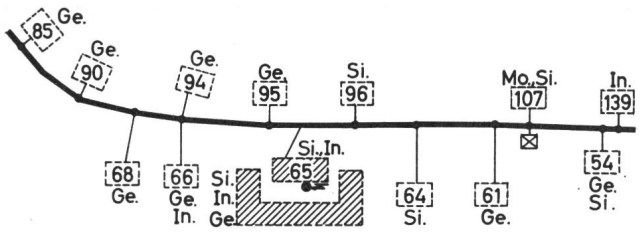

Fig. 1
Überspannungsfolgeschäden in einem Ortsnetz bei einem Schornsteineinschlag am 26. Februar 1966

Einschlagpunkt (23 m hoher Fabrikschornstein); 90 Gebäude mit Überspannungsschäden. Die Zahl bedeutet die Hausnummer; *Ge.* Schaden an einem Gerät; *In.* Schaden an der Hausinstallation; *Mo.* Schaden an einem Elektromotor; *Si.* Ansprechen der Sicherung

nungen in das Niederspannungsnetz übertragen. Als wirksamer Innenwiderstand derartiger Quellen von Wanderwellen ist der Wellenwiderstand der Freileitung ($Z_0 \approx 600\ \Omega$ pro Leiter) oder der des Ortsnetztransformators massgebend.

Rückwertige Überschlüsse sind mit grosser Wahrscheinlichkeit dann vorhanden, wenn ein Direkteinschlag in einem Gebäude stattgefunden hat und gleichzeitig Schäden an elektrischen Betriebsmitteln vorliegen. Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Überspannungen bei verschiedenen Einschlagpunkten lag bei:

Antennen	85 %
Schornsteinen	63 %
Giebel, Dachfirsten, Dachaufbauten	46 %
Weidezäunen	46 %

Der Antenneneinschlag weitet sich also häufig zu einem elektrischen Schaden aus.

Beim Einschlag in einen Schornstein entstehen längs der blitzstromdurchflossenen Russglanzschicht hohe Spannungsdifferenzen gegen Erde, die zu rückwärtigen Überschlägen zur Installation führen können. Bei Giebel- und Dachfirsteinschlägen sind es Unterdachantennen, Spanndrähte im Bodenraum, Drahtgeflechte in den Zimmerdecken oder Teile einer Blitzschutz- bzw. Erdungsanlage, die beim Einschlag Spannung führen und rückwärtige Überschläge verursachen können. Der Anteil rückwärtiger Überschläge beträgt nach Tabelle II 35,9 %.

Nach der Übersicht von Tabelle II können bereits gezielte Massnahmen zum Schutze der elektrischen Anlagen abgeleitet werden. Induzierte Überspannungen sind durch Überspannungsableiter im Ortsnetz auf den Stosspegel der Betriebsmittel herabzusetzen. Damit wären 60 % der Schäden vermeidbar. Rückwärtige Überschläge sind durch gute Erdungsanlagen der Gebäude (Fundamenterder), in denen alle leistungsfähigen Teile zusammengeschlossen werden, zu beseitigen. Direkteinschläge in ein Leiterseil können wohl kaum abgefangen werden, dafür ist aber auch die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens sehr gering. Weiterhin lässt sich sagen, dass Stoßspannungsgeneratoren, die die Stosspegel elektrischer Anlagen testen sollen, den Verhältnissen der härtesten und — wie gezeigt — keinesfalls seltenen Beanspruchung bei rückwärtigen Überschlägen anzupassen sind und einen Innenwiderstand von nicht mehr als 10 Ω haben sollten.

2.2 Ausbreitung der Überspannungen im Niederspannungsnetz

Schon aus der Analyse der Überspannungsursachen ist erkennbar, dass durch rückwärtige Überschläge nicht allein im betroffenen Objekt Überspannungen entstehen (Tabelle III). Derartige Überspannungen pflanzen sich oft über weite Teile des Ortsnetzes fort (Fig. 1). Dabei bilden auch Kabelnetze keine Ausnahme. So ereigneten sich z. B. bei einem Einschlag in eine Gemeinschaftsantenne einer Siedlung in mehreren über Kabel verbundenen Wohnblöcken bei 27 Haushalten Überspannungsschäden [11].

Energieärmere, induzierte Überspannungen sind zwar von vornherein nicht auf einen Punkt beschränkt, werden aber meistens schon in dem am schwächsten isolierten Betriebsmittel durchschlagen. Das beschädigte Betriebsmittel ist damit zum Überspannungsableiter des Ortsnetzes geworden.

Durch hohe Belastungsdichten und Verzweigungen der Niederspannungsnetze unterstützt durch eintretende Überschläge in den Hausinstallationen werden einlaufende Wanderwellen an ihrer Ausbreitung gehindert und abgebaut. Das erklärt die Erscheinung, weshalb mehrere Schäden gleichzeitig in einem Ort seltener auftraten, wenn es sich um induzierte Überspannungen handelte (vgl. Tabelle III); statt 29,7 % bei rückwärtigen Überschlägen nur 18,6 % bei induzierten Spannungen. Aus dieser Tatsache darf aber keinesfalls der Eindruck entstehen, dass sich die Niederspannungsnetze selbst schützen und der Einbau von Überspannungsschutzgeräten unnötig und unwirtschaftlich ist. Nicht vergessen werden darf darüber hinaus die Schaffung eines ausreichenden Isolationsniveaus der Betriebsmittel. Die grosse Zahl der Überspannungsschäden im Bezirk Dresden beweist, dass beide Massnahmen bisher noch ungenügend berücksichtigt wurden.

2.3 Überspannungsschäden an elektrischen Betriebsmitteln

In den Jahren 1966 und 1967 konnten zu den Schadenmeldungen von den Energiekonsumenten diejenigen der öffentlichen Energieversorgung beigefügt werden. Bezieht man alle aufgetretenen Schäden auf die vorhandene Netzlänge des betrachteten Gebietes, so erhält man für 1966 5,8 und für 1967 10,6 % Schäden pro km und pro Jahr. Nicht

Anteil der Schäden in Gebäuden infolge Überspannungen — Tabelle III

	1963	1964	1965	1966	1967	Jahresmittel
Totale Schäden in Gebäuden durch Überspannungen infolge rückwärtiger Überschläge	171	132	88	175	225	158
Davon Folgeschäden in Gebäuden durch Überspannungen, die über das Ortsnetz übertragen wurden	46	30	18	84	58	47
Prozentualer Anteil der Folgeschäden zur Gesamtzahl der Schäden durch einen rückwärtigen Überschlag	26,9	22,7	20,4	48	25,8	29,7
Totale Schäden durch induzierte Überspannungen	213	176	219	225	456	258
Davon gleichzeitig aufgetretene Folgeschäden durch induzierte Überspannungen	38	25	46	39	90	48
Prozentualer Anteil der Folgeschäden zur Gesamtzahl der Schäden durch induzierte Überspannungen	17,8	14,2	21	17,3	19,7	18,6

Häufigkeit der Blitzschäden von verschiedenen Niederspannungsbetriebsmitteln Tabelle IV

	1963	1964	1965	1966	1967	Jahresmittel	Häufigkeit %
Zahl der dauernd spannungsbeanspruchten Betriebsmittel . .	253	187	158	192	440	246	52,7
Zahl der vorübergehend spannungsbeanspruchten Betriebsmittel (z. B. Kühlschränke, Rundfunk- und Fernsehgeräte, Wassererhitzer usw.)	42	77	78	141	267	121	25,9
Zähler, Tarifschaltuhren	39	35	39	42	63	44	9,4
Elektromotoren	15	15	15	30	48	25	5,3
Antennen und Antennenzuleitungen	19	18	6	14	36	19	4,1
Weidezäune	8	5	7	7	32	12	2,6

mitgezählt wurden die Ortsnetztransformatoren, da für ihren Ausfall nach bisheriger Auffassung in der Hauptsache Überspannungen von der Mittelspannungsseite verantwortlich sein sollen. Von eingebauten Transformatoren im Bezirk wurden durch atmosphärische Überspannungen beschädigt:

1962	27
1963	8
1964	21
1965	37
1966	25
1967	31

Mit Sicherheit lässt sich leider nicht feststellen, von welcher Seite die Überspannung eingelaufen war. So lange aber nur die Mittelspannungsnetze gegen atmosphärische Überspannungen gut geschützt werden, wird sich die Zahl der Schäden nur durch einen gleichwertigen Überspannungsschutz im Niederspannungsnetz mindern lassen.

In den Haushaltungen, der Landwirtschaft und kleinen Betrieben wiesen die gesammelten Schadenmeldungen eindeutig aus, dass die dauernd unter Spannung stehenden Betriebsmittel (elektrische Installationen, Schalter, Glühlampen, Klingeltransformatoren usw.) am häufigsten beschädigt wurden (52,7 %, vgl. Tabelle IV). Es handelt sich dabei um explosionsartig davongeschleuderte Dosendeckel, aufgesprengte Steckdosen, Schalter sowie Sicherungskästen, aber auch nur um geschwärzte Isolierrohre und Putzschäden über den Leitungen. Solche Schäden sind besonders unangenehm, da sie die Energiezufuhr unterbrechen, die Gefahr des Entstehens gefährlicher Berührungsspannungen vergrössern und eine akute Brandgefahr schaffen. Dadurch sind Menschen und Inventar unmittelbar bedroht.

Dass die beweglich angeschlossenen und nicht dauernd unter Spannung stehenden Geräte nur etwa halb so oft (25,9 %) beschädigt werden, liegt sicher nicht an einer besseren Isolation — das Gegenteil ist der Fall —, sondern an der Vergünstigung, dass sie bei Gewitter vom Netz getrennt werden können. Gleiches könnte auch für Elektromotoren zutreffen. Ihre geringe Beteiligung wird aber in erster Linie darin begründet sein, dass sie viel seltener in den Haushalten anzutreffen sind.

Anders ist es bei den Zählern. Sie sind bei jedem Abnehmer mindestens einmal anzutreffen. Trotzdem sind sie nicht öfter als 9,4 % am Gesamtschadengeschehen beteiligt. Sie unterliegen in den meisten Ländern harten Isolationsprüfbestimmungen, die für sie ein relativ hohes Isolationsniveau schaffen und widerstandsfähig gegen atmosphärische Überspannungen machen.

Sehr häufig sprechen bei einem Gewitter die Fehlerspannung Schutzschalter und Überstromschutzeinrichtungen an, ohne dass gleich ein Schaden in der Anlage festgestellt werden kann (Ansprechen der Sicherungen s. Tabelle IV). In vielen Fällen handelt es sich um Über- und Durchschläge in Luft mit einem Nachstromlichtbogen, der, sofern nicht selbstlöschend, von den genannten Abschaltorganen gelöscht wird. Solange die Blitzspannung nur die Zündung auslöste, selbst aber noch so klein war, dass keine hohen Blitzströme eine Zerstörung hervorrufen, sind die Abschaltorgane mit niedriger Nennstromstärke in der Lage, Schäden zu verhüten. Bei Durchschlägen in Feststoffisolierungen wird die Isolationsfestigkeit geringer. Sie sollten unbedingt verhindert werden.

Die geschilderten Schäden und Störungen lassen sich schwer mit wirtschaftlichen Maßstäben messen. Es besteht keine scharfe Trennung zwischen elektrischen und Gebäudeschäden; oft sind auch Lichtbögen oder Kriechströme die eigentliche Ursache eines Brandes, ganz abgesehen von den Gefahren für Mensch und Tier bei der Entstehung unzulässig hoher Berührungsspannungen.

3. Stoßspannungsfestigkeit von Niederspannungsanlagen

In den letzten Jahren wurden auch im Bezirk Dresden an einer Reihe von Niederspannungsbetriebsmitteln Stoßspannungsprüfungen durchgeführt [7]. Dabei werden die geprüften Betriebsmittel ebenfalls unterschieden in solche, die dauernd spanungsbeansprucht sind, und in solche, die nur vorübergehend an Spannungen liegen. Die Stoßspannungsfestigkeit dieser einzelnen Gruppen steht im direkten Zusammenhang zur Gefährdung durch eine einlaufende Überspannung. So ist auch tatsächlich die Stoßspannungsfestigkeit der Hausinstallation wesentlich niedriger als die der Zähler (Fig. 2). Als Fehlerquellen in Hausinstallationen sind in erster Linie die Montagefehler in den Abzweigdosen zu nennen. Während eine fabrikneue und noch nicht verschaltete Abzweigdose eine Spannung zwischen 20 und 40 kV hält,

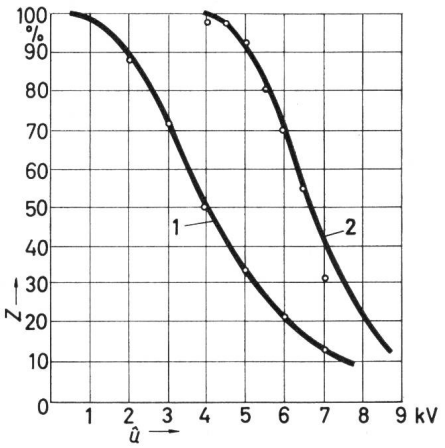

Fig. 2
Summenhäufigkeit der Stoßspannungsfestigkeit der Hausinstallationen und der Zähler
Z Anteil der geprüften Objekte, deren Stehstoßspannung den Abzissenwert überschreitet; *û* Scheitelwert der angelegten Stoßspannung; *1* Hausinstallationen; *2* Zähler

vermindert sich der Wert nach dem Einbau oft bis auf den zehnten Teil. Damit erklären sich auch die häufigen, explosionsartigen Zerstörungen der Abzweigdosen. Geräte konnten nur in Ausnahmefällen geprüft werden. Die nachfolgende Aufstellung deutet aber bereits eine niedrige Stoßspannungsfestigkeit an:

Lötkolben 60 W	3,8 kV
Lötkolben 100 W	3,9 kV
Bügeleisen	1,7 kV
Handbohrmaschinen	3,8 kV
Heizkörper	3,0 kV
Asynchronmotoren	4,5 kV

4. Koordination der Isolation in Niederspannungsanlagen

Da Niederspannungsnetze heute eine Stoßspannungsfestigkeit von mindestens 80 kV aufweisen, kann man auf Grund der Messergebnisse (Fig. 2) voraussagen, dass es wirtschaftlich nicht möglich ist, die Hausinstallationen und Geräte dadurch zu schützen, dass man diese noch höher als 80 kV isoliert. Nur durch die Zuordnung eines Schutzpegels (Einsatz von Überspannungsableitern) zum jeweiligen Isolationspegel, d. h. durch die Koordination der Isolation, ist ein Überspannungsschutz denkbar. Über den Einsatz von Überspannungsableitern in Niederspannungsnetzen ist bereits berichtet worden [8]. Sie sind in der Lage, vor allem die Spannungen abzuleiten, die im Ortsnetz induziert werden. Nach Aussagen der Statistik wären damit bereits 60 % der Schäden ausgeschaltet. Um einen Schutzbereich durch Überspannungsableiter zu gewährleisten, muss die Stoßspannungsfestigkeit der zu schützenden Anlagen höher sein als die Restspannung des Überspannungsableiters. Nach VDE 0675/9.57 beträgt für $U_n = 380$ V die Restspannung 2,5 kV. Deshalb sollten dauernd spannungsbeanspruchte Betriebsmittel (Hausinstallationen) mit der Nennspannung von 380 V eine Stosshaltespannung von 5 kV aufweisen. Dieser Wert gilt für eine komplette Anlage. Einzelmaterialien sollten mit 7 kV geprüft werden, um eine Sicherheit gegen Spannungsreflexionen in der Anlage zu bieten. Für vorübergehend spannungsbeanspruchte Betriebsmittel (beweglich angeschlossen oder allpolig abschaltbar) mit der Vergünstigung, dass sie in Gewitterperioden gerade vom Netz — beabsichtigt oder nicht — getrennt sind und ihre Lastwiderstände in vielen Fällen spannungsabsenkend wirken, wäre ein niedrigeres Isolationsniveau von 4 kV ausreichend. Die vorgeschalteten Trennstrecken sollten dann aber mit Sicherheit einen Überschlag verhindern und eine Stehspannung von 8 kV aushalten.

In vorbildlicher Weise hat der Schweizerische Elektrotechnische Verein schon 1963 eine Empfehlung zur Koordination der Isolationen herausgegeben [9], der viele Versuche vorausgingen [10]. Vermisst werden jedoch in ihr eine detaillierte Klassifizierung der Niederspannungsbetriebsmittel mit den dazugehörenden Isolationsniveaus und ihre Verbindung zu den angewendeten Kriech- und Luftstrecken.

Literatur

[1] *G. Lehmann:* Beobachtungen aus der Praxis über örtliche Blitzeinschlagstellen. Elektrie 17(1963), S. 235...239.

[2] *H. Dahl:* Über den Einfluss elektrischer Leitungen, Antennen und sonstiger Metallteile auf den Verlauf des Blitzes. Öffentlich-rechtliche Versicherung 64(1932), S. 251...252.

[3] *C. D. Beenken:* Über die Schutzwirkung von Blitzableitern und die Blitzschlaghäufigkeit in einigen Großstädten. ETZ 57(1936), S. 981...982.

[4] *G. Lehmann:* Schäden an elektrischen Installationsanlagen durch nicht zündende Blitzeinschläge in Gebäude und Antennen. ETZ–B 17(1965), S. 1...4.

[5] *G. Lehmann:* Blitzschädendichte und Gewitterhäufigkeit. ETZ–B 19(1967), S. 501...504.

[6] *H. Norinder:* Indirekte Blitzüberspannungen auf Kraftleitungen. ETZ 59(1938), S. 105...111.

[7] *W. Naumann:* Die Stoßspannungsprüfung in Niederspannungsanlagen, ein Hilfsmittel zum Vermeiden von Blitzschäden. ETZ–B 19(1967), S. 512...517.

[8] *S. Rusk:* Induced lightning overvoltages on powertransmission lines with special reference to the overvoltage protection of low-voltage networks. Dissertation, Technische Hochschule, Stockholm, 1958.

[9] Regeln und Leitsätze für die Bemessung und die Koordination der Isolation in Wechselstrom-Niederspannungsanlagen. Publikation des SEV Nr. 3002/1963.

[10] *H. Wüger:* Einführung zu den Regeln und Leitsätzen für die Bemessung und die Koordination der Isolationsfestigkeit in Wechselstrom-Niederspannungsanlagen. Bull. SEV 53(1962), S. 441...444.

[11] *G. Lehmann:* Schäden an elektrischen Installationsanlagen durch Blitzeinschläge in Gebäude, insbesondere in Antennen. Elektropraktiker 21(1967), S. 273...277.

Adresse des Autors:

Dr.-Ing. *G. Lehmann,* Zeunerstrasse 79, DDR–8027 Dresden, und Dipl.-Ing. *W. Naumann,* Hübnerstrasse, DDR–8027 Dresden.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Elektrische Energie-Technik und -Erzeugung
Technique et production de l'énergie

Methode zur Bestimmung der wirtschaftlichen und sicheren Lastverteilung einer Energieversorgung

621.311.177

[Nach *D. W. Wells:* Method for economic secure loading of a power system. Proc. IEE 115(1968)8, S. 1190...1194]

Die Hauptaufgabe eines automatischen Systems zur Lastverteilung ist die Bestimmung der gewünschten Generatorbelastungen. Die einzelnen Energieerzeuger müssen so eingesetzt werden, dass sich minimale Energiekosten ergeben, dass gleichzeitig eine festgelegte Leistungsreserve vorhanden ist, und dass die Belastungsweise des Netzes sicher ist. Die Verteilnetzbelastung wird als sicher betrachtet, wenn nach einem Ausfall einer beliebigen Einfach- oder Doppelleitung in den verbleibenden Leitungen keine Überlastungen auftreten.

Werden diese Grenzbedingungen der Netzbelastung weggelassen, so ist eine Berechnung mit normalen Rechenmethoden möglich. Soll aber die Netzsicherheit berücksichtigt werden, so treten so viele zusätzliche Bedingungen auf, dass eine Lösung mit konventionellen Methoden zu übermässig langen Rechenzeiten führt. Verwendet man dagegen ein lineares mathematisches Modell des Netzes und der Energieerzeuger, so kann eine abgeänderte Form der Simplex-Methode der linearen Programmierung zur Anwendung gelangen. Dadurch sind mit einem Rechner mit 1 µs Zykluszeit für Netze mit 100 Knotenpunkten Rechenzeiten von einigen Minuten zu erreichen. Für grössere Netze reichen aber Rechengeschwindigkeit und Speicherkapazität heutiger Rechner nicht mehr aus. *P. H. Merz*

Brennstoffelemente und andere neuere elektrochemische Stromquellen

621.352.6

[Nach *H. Baumgartner:* Brennstoffelemente und andere neuere elektrochemische Stromquellen. Schweiz. Energie-Konsument (1968), Sonderdruck, S. 1...17]

Eine Gegenüberstellung der bisher beinahe ausschliesslich angewendeten Energieumwandlung von chemischer Energie über Wärme, komprimierten Dampf, kinetische Energie in elektrische Energie mit der Energieumwandlung in einem Brennstoffelement zeigt die gewaltigen Vorteile des neuen Weges auf. Theoretisch