Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 38 (1947)
Heft: 18

Artikel: Stossversuche an einer Hausinstallation in Uitikon am Albis, 1945
Autor: Berger, K. / Pichard, R.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1056755

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: 13.12.2025

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

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

BULLETIN

RÉDACTION:
Secrétariat de l'Association Suisse des Electriciens
Zurich 8, Seefeldstrasse 301

ADMINISTRATION:
Zurich, Stauffacherquai 36 ♦ Téléphone 23 77 44
Chèques postaux VIII 8481

Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

38e Année | N° 18 | Samedi, 6 septembre 1947

Stossversuche an einer Hausinstallation in Uitikon am Albis, 1945

Von *K. Berger* und *R. Pichard*, Zürich
(Mitteilung der Forschungskommission des SEV und VSE für Hochspannungsfragen, FKH)

621.315.37 : 621.316.93

Die elektrische Installation eines einzelnen Hauses wurde untersucht, indem in einer Entfernung von rund 400 m Stoßspannungen verschiedener Steilheiten und Scheitelwerte auf die Anschlussleitung gegeben wurden. Die in der Hausinstallation auftretenden Ueberspannungen wurden oszillographiert und Schutzmassnahmen untersucht. Ueberschläge traten besonders an Bügeleisen, Lichtzählern, Klingeltransformatoren, Lampen, Schaltern und anderen Apparaten auf, jedoch nie an fest installierten Leitungen.

L'installation électrique d'un immeuble a été soumise à des chocs de tension de différentes raideurs et amplitudes, à partir d'une distance d'environ 400 m, sur la ligne de raccordement de l'immeuble. Les surtensions provoquées de la sorte dans cette installation ont été relevées à l'aide d'un oscillographe et quelques dispositifs de protection furent examinés. Des claquages se produisirent surtout aux fers à repasser, compteurs des circuits d'éclairage, transformateurs de sonnerie, lampes, interrupteurs, etc., mais jamais à des lignes installées à demeure.

I. Veranlassung und Zweck der Versuche

Als Fortsetzung und Ergänzung der Versuche an einem Gebäude-Komplex der EKZ in Wetzikon (1942)[1]) wurden solche an einem einzelnen Haus durchgeführt. Die Speisung der Hausinstallation erfolgte über eine 675 m lange Drehstrom-Freileitung mit 4 Leitern in 380/220 V. Das Haus, Eigentum von Gärtner Blickensdorfer, wurde 1939 erbaut; es liegt etwa 800 m nordwestlich vom Dorf Uitikon.

Die Versuche bezweckten:

1. Messung mit Kathodenstrahloszillographen des Spannungsverlaufes beim Eindringen von Ueberspannungen (Stosswellen) in die Hausinstallation.
2. Feststellung der Schutzmöglichkeiten mit heutigen Niederspannungsableitern schweizerischen Fabrikats und mit Kondensatoren.
3. Vergleich verschiedener Ableitertypen für Niederspannung in verschiedenen Anordnungen (Einfach- und Doppelschutz).
4. Kontrolle und Wirkung von Ableiter-Ansprechzählern.
5. Bestimmung der elektrisch schwachen Stellen und der mittleren Stossfestigkeit der Hausinstallation.

II. Versuchs-Anordnung

Im *Situationsplan* Fig. 1 ist die Lage der Versuchs-Anordnung ersichtlich. Die Distanzen zwischen Stossgenerator, Haus und Ableitern sind im *Prinzipschema* Fig. 2 angegeben. Sodann gibt Fig. 3 ein allpoliges Schema der Versuchsanordnung.

Der Stossgenerator *G* wurde über Widerstände oder eine Drosselspule oder direkt auf einen oder alle 4 Netzleiter plötzlich entladen und der dadurch entstehende Spannungsverlauf im Haus *C* mit den KO (*F*) registriert.

Die Speisung des Stossgenerators erfolgte über ein Kabel, das provisorisch am Netz auf der Dorfseite der Ableiter *A* angeschlossen war. Der KO-Wagen dagegen bezog seine Energie aus der gestossenen Leitung selbst, unter Benützung des bestehenden Leitungsschwanzes zwischen Stange 125 und KO-Wagen *F* beim Waldeingang.

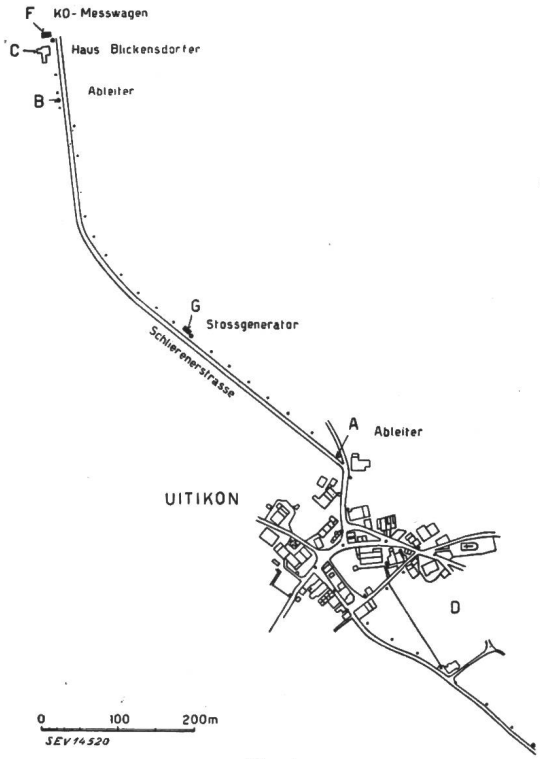


Fig. 1
Situationsplan der Stossversuche Uitikon
D Dorf Uitikon; *C* Prüfobjekt (Haus Blickensdorfer); *G* Stossgenerator (fahrbarer Stossgenerator der FKH); *A* Ableiter zum Schutze des Dorfes; *B* Ableiter zum Schutze des Hauses Blickensdorfer; *F* Fahrbare Kathodenstrahl-Oszillographen (KO) im Messwagen der FKH.

[1]) Bull. SEV Bd. 35(1944), Nr. 19, S. 523...533.

Bei den ersten Vorversuchen haben sich die Ableiter in *A* als einziger Schutz für das Dorf als ungenügend erwiesen. Deshalb wurden auf der Dorfseite dieser Ableiter zwei Isoliertransformatoren 500/380/220 V und vor dem KO-Wagen ein dritter montiert. Tabelle I enthält die Daten dieser Transformatoren. Während der Versuche stand die Hausinstallation stets unter Betriebsspannung.

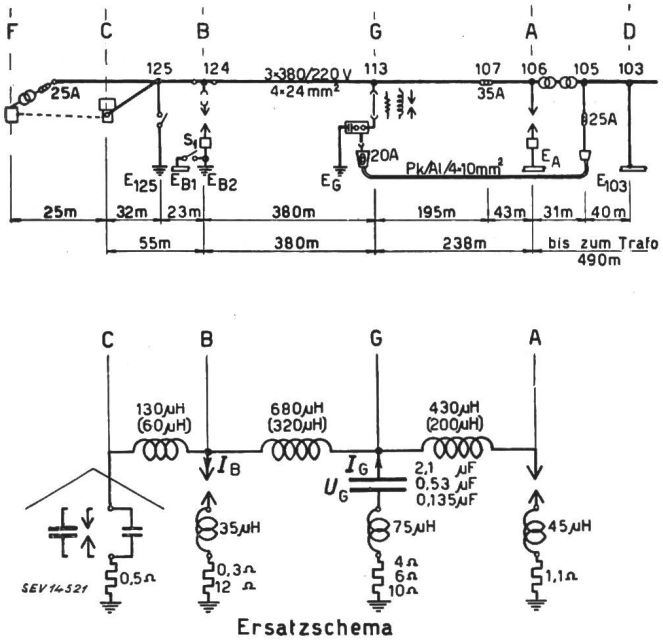


Fig. 2
Prinzipschema der Versuchsanordnung
Oben: Einpoliges Schaltschema
Unten: Ersatzschema
(Bedeutung der Buchstaben siehe Legende zu Fig. 1)

Prüfobjekt: Haus Blickensdorfer

Das Schema der Installation im Innern des Hauses zeigt Fig. 4. Um unnötige und kostspielige Schäden zu vermeiden, waren während der Stossversuche der Wasserpumpen-Motor, der Kochherd und der

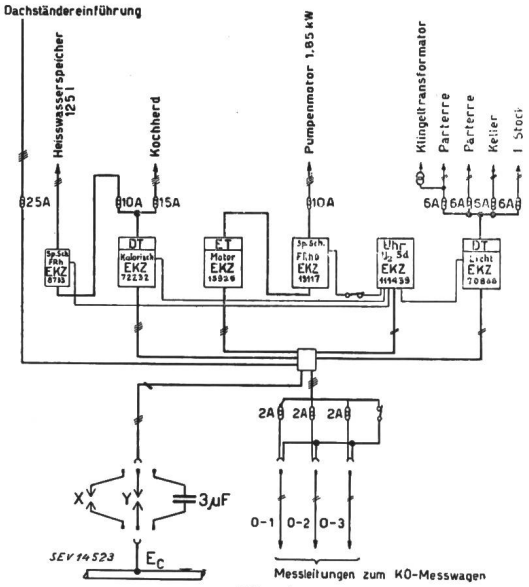


Fig. 4
Schema der Installation im Haus Blickensdorfer *(C)*

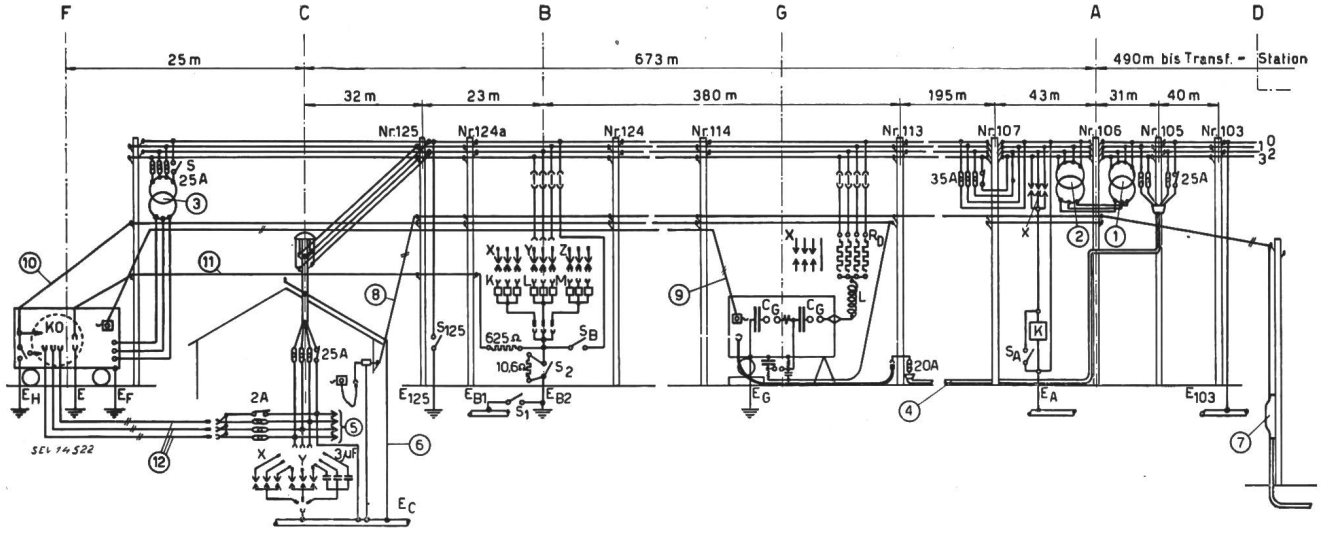


Fig. 3
Allpoliges Schema der Versuchsanordnung

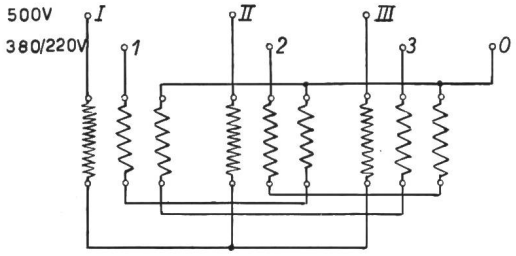
		Erdungswiderstände
A	Ableitereinbaustelle, Dorfschutz	E_A = 1,15... 1,1 Ω
B	Ableitereinbaustelle, Hausschutz	E_{B1} = 0,4 Ω
C	Wohn- und Gärtnerhaus Blickensdorfer	E_{B2} = 1,7 ... 1,4 Ω
D	Dorf Uitikon	E_{125} = 4,3 Ω
F	Fahrbare Messoszillographen	E_C = 1,2 ... 0,5 Ω
G	Stossgenerator	E = ca. 100 ...170 Ω
X, Y, Z	Ableitertypen	E_F = ca. 30 ... 56 Ω
K, L, M	Ansprechzähler	E_H = ca. 20 ... 18 Ω
S, S₁, S₂, S_A, S_B	Ueberbrückungsschalter	E_G = 2 ... 1,9 Ω

1, 2, 3 } Schutztransformatoren 6 kVA
Z 3×380 V Y 3×500 V
4 Zuleitung zum Stossgenerator [Pk/Al/4×10 mm²]
5 Hausinstallation (siehe Fig. 4)
6 Blitzableiter
7 Kabelkasten T+T
8 Amtstelephonleitung
9 Feldtelephonleitung vom Stossgenerator zum Messoszillographen
10 Auslöseleitung
11 Messleitung der Ableitererde
12 Messleitungen Pol + 0 verdrillt

Streuinduktivität der Transformatoren
gemessen mit Volt- und Ampèremeter in Dietikon am 11. 10. 45.

Tabelle I

Einbaustelle	Position Fig. 3	EKZ Nr.	Uebersetzung V	Leistung kVA	Kurzgeschlossene Klemmen	Induktivität zwischen Klemmen	Induktivität in µH
A, Dorfseite	1	1505	220/380/500	6	I, II, III	1 – 0	755
					keine	(1, 2, 3) – 0	ca. 15
					1, 2, 3, 0	I – III	4000
A, Leitungsseite	2	1566	500/380/220	6	I, II, III	1 – 0	870
					I, II, III	2 – 0	900
					I, II, III	3 – 0	900
					keine	(1, 2, 3) – 0	ca. 100
					1, 2, 3, 0	I – II	4500
					1, 2, 3, 0	II – III	4400
					1, 2, 3, 0	III – I	4500
F, KO-Wagen	3	1563	220/380/500	6	I, II, III	1 – 0	1080
					I, II, III	(1, 2, 3) – 0	ca. 100
					1, 2, 3, 0	I – III	5000



Heisswasserspeicher ausgeschaltet. Vor Beginn und nach Beendigung der Versuche wurden von allen Teilen der Installation folgende Grössen gemessen:

der Isolationswiderstand bei 500 V mit Megohmmeter,
die Durchschlagfestigkeit mit maximal 3000 V Prüfgleichspannung,
die Kapazität mit Philoskop (50 Hz).

Die Resultate sind in den Tabellen II bis IV eingetragen. Für die kleinen Werte der Kapazität der einzelnen Teile ist die normale Messung mit Philoskop nicht sehr genau, da tg δ (δ = Verlustwinkel) zwischen 0,5 und 1 liegt. Die gemessenen Werte der Kapazität sind deshalb etwas zu hoch. Für die ganze

Messung der Isolationswiderstände der Hausinstallation
mit Megohmmeter TTC 0,1...50 MΩ, 500 V

Tabelle II

		Pol – *E*		Pol – 0		0 – *E*		Pol – folgender Pol		Pol – (0+*E*)	
		am 20. 2. MΩ	am 3. 9. MΩ	am 20. 2. MΩ	am 3. 9. MΩ	am 20. 2. MΩ	am 3. 9. MΩ	am 20. 2. MΩ	am 3 9. MΩ	am 20. 2. MΩ	am 3. 9. MΩ
Licht-Gruppe Parterre I		0,28	8,0	0,7	15,0	0,5	12,0				
Parterre II		0,68	7,0	0,8	15,0	0,5	15,0				
Keller		4,5	1,8	2,3	1,8	4,5	2,0				
I. Stock		1,9	7,0	1,7	4,0	1,4	7,0				
Zählerausgang-Gruppensicherungen		40	40	50	50	40	40				
Licht-Gruppen zusammen		0,1	1,1	0,24	1,3	0,2	1,3				1,0
Steigleitung	Pol 1	1,5	> 20	1,6	> 20			4	> 20		
	Pol 2	2,5	> 20	2,5	> 20			3,6	> 20		
	Pol 3	1,5	> 20	1,4	> 20			2,3	> 20		
	0—*E*					1,7	> 20				
Kochherdleitung	Pol 1	30	10						10		
ab Zähler	Pol 2	30	7						6		
ohne Kochherd	Pol 3	40	8						10		
	0—*E*					16	16				
Kochherdnullung angeschlossen	0—*E*					1,4	0,05				
Kochherd (mit Nullung) eingeschaltet	Pol 1	2,1	0,6								
	Pol 2	2,2	0,6								
	Pol 3	1,9	0,6								
Boiler samt Zuleitung (3phasig)		20	> 20								
Ganze Hausinstallation	Pol 1									9	9
	Pol 2									4	4
	Pol 3									7	0,9

Lichtinstallation wurde die Kapazität durch Kompensation der Verluste mit dem Philoskop bestimmt.

Der Nulleiter ist beim Wasserpumpen-Motor und beim Heisswasserspeicher dauernd mit der Wasserleitung des Hauses und am Dachständer solid mit der Blitzableitererdung verbunden. Der Erdungswiderstand betrug dort 0,5 Ω.

Pol 1, 2 und 3 von oben nach unten. Der Nulleiter war in *A* dauernd an die Ableitererdung von 1,1 Ω und in *C* dauernd an die Wasserleitung von 0,5 Ω geerdet; in *B* und bei Stange 125 wurde wahlweise geerdet oder auch nicht. Die Leitungsstangen tragen überdies 2 Telephonschleifen, eine für das Staatstelephon des Herrn Blickensdorfer und eine unbe-

Messung der Isolationsfestigkeit der Hausinstallation mit 3000 V positiver Gleichspannung (aus KO-Gleichrichter)
(Bei tiefem Isolationswiderstand der Installationsteile konnte der Gleichrichter nicht mehr die volle Spannung (3000 V) abgeben)

Tabelle III

Installationsteile	am 20. 2. 45		am 3. 9. 45		Bemerkung
	Erreichte Spannung kV	Dauer der Prüfung min	Erreichte Spannung kV	Dauer der Prüfung min	
Steigleitung (3 Pole — [O + E]) . . .	3,0	1			gut
Steigleitung + Herdleitung	3,0	3			gut
Steigleitung + Herdleitung + Licht Parterre 1	1,2		3,0	1	gut
Steigleitung + Herdleitung + Licht Parterre 2	1,6...2,5		1,7		hält Spannung
Steigleitung + Herdleitung + Licht Keller	3,0	1	0,5		Draht in Abzweigdose feucht und karbonisiert
Steigleitung + Herdleitung + Licht 1. Stock	3,0	1	3,0	1	gut
Ganze Hausinstallation Pol 1—(0+E)			3,0	1	gut
Pol 2—(0+E)			3,0	1	gut
Pol 3—(0+E)			1,7		hält Spannung
ohne Parterre II Pol 2—(0+E)			2,7		
ohne Parterre II Pol 3—(0+E)			2,4		Ueberschlag Kochzähler
Pol 3—(0—E) ohne Gruppensicherungen; mit Licht- und Kochzähler (Distanz vergrössert)			3,0	1	gut

Messung der Kapazität der Hausinstallation
mit Philoskop (50 Hz)

Tabelle IV

		Pol – *E*		Pol – 0		0 — *E*		Pol – folg. Pol		Pol — (0+*E*)	
		am 20. 2. pF·10³	am 3. 9. pF·10³	am 20. 2. pF·10³	am 3. 9. pF·10³	am 20. 2. pF·10³	am 3. 9. pF·10³	am 20. 2. pF·10³	am 3. 9. pF·10³	am 20. 2. pF·10³	am 3. 9. pF·10³
Licht-Gruppe	Parterre I	?	5,0	3,5	2,7	10,0	5,9				
	Parterre II	3,5	2,1	1,0	0,8	8,0	4,0				
	Keller	6,1	7,5	2,4	3,0	8,0	9,6				
	1. Stock	6,8	4,0	3,0	1,8	12,5	6,3				
Lichtgruppen zusammen		ca. 60	20,0	11,5	9,0	45	28,0				
Lichtgruppen zusammen, Verluste mit 400 kΩ kompensiert											20,5
Steigleitung	Pol 1		1,9		1,0				0,5		
	Pol 2		1,7		1,0				1,8		
	Pol 3		3,2		1,0				1,8		
	0 — *E*						1,4				
Kochherdleitung	Pol 1								0,3		0,9
	Pol 2								0,5		1,0
	Pol 3								0,3		1,0
Ganze Hausinstallation	Pol 1								1,0		3,7
	Pol 2								1,0		2,8
	Pol 3								0,7		27,0

Die ganze Lichtinstallation ist an Phase 3 angeschlossen. Der Kochherd ist zwischen den Polen 1, 2 und 3, der Heisswasserspeicher zwischen den Polen 1 und 2 angeschlossen.

Freileitung

Die 380/220-V-Drehstromleitung besteht aus 4 Leitern zu je 24 mm², in der Anordnung Nulleiter,

nützte offene Schleife. Zwischen Generator und Ableiter *A* ist die Leitung mit 3 Trennsicherungen (35 A) abgesichert.

Stossgenerator

Der verwendete fahrbare Stossgenerator der FKH besteht aus 8 Kondensatoren zu je 1,05 μF, die wahlweise parallel oder in Serie geschaltet werden kön-

nen, was verschiedene Stoßspannungshöhen und Entladedauern ermöglicht. Zwischen je zwei in Serie geschalteten Stufen befindet sich ein Widerstand von 1 Ω und eine Schaltfunkenstrecke der Marx-Schaltung.

Der Erdungswiderstand des Stossgenerators betrug 2 Ω, die mittlere Länge aller Verbindungen von der Erdung bis zur 380-V-Leitung etwa 40 m, was schätzungsweise zirka 75 μH entspricht.

Die Stösse wurden folgendermassen auf die Leitung gegeben:

I. auf nur einen Leiter a) direkt
b) über eine Drosselspule L von 6 mH (bei Osz. Nr. 129 L = 7 mH).

II. auf alle 4 Leiter a) über Ableiter (Typ X), die alle 4 Leitungsdrähte während des Stosses kurzschliessen, diesen Kurzschluss aber nach einer Halbwelle wieder aufheben.
b) über Drosselspule L (6 mH) und Ableiter (Typ X).

III. auf alle 4 Leiter a) über Widerstände R_D = je 500 Ω (160 μH) pro Leiter.
b) über Drosselspule L (6 mH) mit Widerständen zu je R_D = 500 Ω (160 μH) pro Leiter.

Die Stoßspannungen am Generator (U_G) betrugen:

3 kV (2 × 1,5 kV) mit 4 Kondensatoren parallel, 2 Stufen in Serie (2,1 μF)
10 kV (2 × 5,0 kV) mit 4 Kondensatoren parallel, 2 Stufen
30 kV (2 × 15 kV) mit 4 Kondensatoren parallel, 2 Stufen
60 kV (4 × 15 kV) mit 2 Kondensatoren parallel, 4 Stufen (0,53 μF)
120 kV (8 × 15 kV) mit 1 Kondensator pro Stufe, 8 Stufen (0,13 μF)

Die gesamte Energie des Stossgenerators betrug dabei:

bei 3 kV Entladespannung: 10 Ws
bei 10 kV Entladespannung: 100 Ws
bei 30, 60 und 120 kV Entladespannung: 950 Ws

Sämtliche Stösse waren positiver Polarität.

Die Auslösung des Stossgenerators erfolgte bei den Vorversuchen durch Aufladen der Kondensatoren bis zum Ansprechen der Schalt-Funkenstrecken. Da der KO derart zu spät öffnete (ein Verzögerungskabel hätte wegen zu hoher Kapazität den ganzen Verlauf der Spannung grundsätzlich geändert), wurde in der Folge der Stossgenerator auf bestimmte Spannung geladen und dann mittels eines Hilfsstossgenerators («Anstossgenerators») zu 7×3 μF (7 × 3000 V) vom KO-Wagen her ausgelöst. Die durch die Laufzeit der Wellen hin und zurück gewonnene Zeit ermöglicht die Messung des ganzen Vorgangs; die Oszillogramm-Aufzeichnung beginnt schon zirka 3 μs vor dem Beginn des Stosses. Ein Leiter der offenen Telephonschleife diente zur Ladung und Auslösung des Hilfstossgenerators vom KO-Wagen aus.

Ableiter und Ansprechzähler

Für die Versuche standen zur Verfügung:

3 Ableiter-Typen, nämlich
Typ X ohne Restspannung,
Typ Y mit tiefer Restspannung,
Typ Z mit höherer Restspannung.

Alle 3 Typen sind Schweizer Fabrikat. Die gemessenen Ansprechspannungen der Ableiter sind in Tabelle V angegeben.

3 Ableiter-Ansprechzähler (Typen bezeichnet mit K, L und M), nämlich 1 ausländisches und 2 schweizerische Fabrikate. Der Zählertyp M besitzt 4 Zählwerke verschiedener Empfindlichkeit.

Ansprechspannungen der Ableiter
gemessen mit langsam steigender positiver Gleichspannung

Tabelle V

Ableiter	Typ X			Typ Y			Typ Z		
	Min. kV	Max. kV	Mittel kV	Min. kV	Max. kV	Mittel kV	Min. kV	Max. kV	Mittel kV
				Ableiter in B					
Pol 1	1,9	2,0	1,95	1,1	1,1	1,1	2,2	2,2	2,2
Pol 2	1,8	2,2	2,0	0,8	0,9	0,85	2,0	2,3	2,15
Pol 3	1,8	2,2	2,0	0,7	0,7	0,7	1,8	2,4	2,1
				Ableiter in C					
Pol 1	1,95	1,95	1,95	1,2	1,4	1,3	—	—	—
Pol 2	1,75	1,75	1,75	0,95	1,4	1,2	—	—	—
Pol 3	1,90	1,90	1,90	1,15	1,35	1,25	—	—	—

Im Punkt A (Dorfseite) war pro Pol je ein Ableiter des Typs X angeschlossen, dazu ein für alle 3 Ableiter gemeinsamer Zähler des Typs K. Wegen seiner hohen Restspannung musste der Zähler bei den meisten Versuchen überbrückt werden.

Der Widerstand der Ableitererdung in A betrug 1,1 Ω, ihre Induktivität samt allen Verbindungsdrähten schätzungsweise 45 μH (zirka 25 m mittlere Länge der Drähte).

Im Punkt B (Fig. 1, 2 und 3) waren 3 Ableitersätze der Typen X, Y und Z (von jedem Typ ein Ableiter pro Pol) und 3 Ansprechzählersätze der Typen K, L und M (je ein Zähler pro Pol) in einem Kasten derart eingebaut, dass sie mit kurzen Verbindungsdrähten und Steckern wahlweise und rasch eingeschaltet werden konnten.

Für die Ableiter in B standen wahlweise 2 Erdungen zur Verfügung:

E_{B2}: aus Kupferband 3 × 30 mm, 1 m tief in grauer Lehmerde, in Form eines T von ca. 10 m pro Schenkel, mit 1,4 Ω und ca. 20 μH Widerstand und Induktivität.

E_{B1}: eine Wasserleitung (mit 4,0 Ω und einer unbekannten Induktivität), die mit der Erdung E_{B2} durch den Schalter S_1 verbunden werden konnte.

Um schliesslich eine schlechtere Ableitererdung nachzuahmen, wurde in bestimmten Fällen die Erdung E_{B2} in Serie mit einem induktionsarmen Metallwiderstand von 10,6 Ω benützt. Die während der Front der steilen Wellen in Frage kommende totale Induktivität der Ableitererdung in B samt Verbindungsdrähten bis zum Anschluss an die 380-V-Leitung betrug zirka 35 μH.

Im Haus (Punkt C) waren am Eingang des Verteil- und Zählertableaus Steckhülsen montiert, an denen ein Satz Ableiter des Typs X, ein Satz des Typs Y oder ein Satz Kondensatoren zu je 3 μF wahlweise zwischen jeden Pol und Wasserleitung angeschlossen werden konnte. Vom gleichen Ort aus

gingen die drei Messleitungen über 2-A-Sicherungen zum KO-Wagen (siehe Fig. 4). Im Haus waren keine Ansprechzähler eingebaut.

KO-Messwagen

Von den 3 Doppel-KO des Messwagens wurden 2 für die Messung und der dritte für die gleichzeitige Beobachtung benützt.

Im allgemeinen wurde die Spannung jedes Pols gegen den Nulleiter, sowie die Spannung des Nulleiters gegen eine Sondererdung registriert. In einzelnen Fällen wurde statt der Sternspannungen 1 oder 2 die Spannung zwischen Ableitererdung *B* und Sondererde gemessen. Der KO-Wagen war an eine separate Erdung (E_F) von 30...55 Ω geerdet. Er hatte mit Ausnahme der Strommessungen keine metallische Verbindung mit dem Netz. Die Messplatten waren ebenfalls vom KO-Gehäuse isoliert, und unmittelbar an ohmschen-kapazitiven Spannungsteilern angeschlossen, die besonders für diese Versuche konstruiert wurden. Diese Teiler hatten je eine totale Kapazität von 40 pF, einen Widerstand von 13 500 Ω und ein Teilverhältnis von $^1/_5$. Sie waren je zwischen Pol und Nulleiter der Messleitungen geschaltet. Die 3 Messleitungen bestanden aus Soflex-Installationsdraht. Zirka 20 m lange Drähte für Polleiter und Nulleiter wurden paarweise miteinander verdrillt. Sie entsprachen einer Verlängerung der Hausinstallation. Die Oszillogramme zeigen die Spannungen am Ende dieser Leitungen an. In jedem anderen Punkt der Installation ist natürlich der Spannungsverlauf etwas anders; jedoch dürften bei Frequenzen unterhalb 1 MHz die Unterschiede auf den betrachteten Längen noch nicht übermässig gross sein. Für die Messung der Spannung zwischen Nulleiter und Sondererde wurde eine zirka 6 m vom KO-Wagen entfernte, aus 3 Sonden bestehende Sondererdung (*E*) verwendet. Ihr Widerstand betrug 80 Ω im feuchten und 170 Ω im trockenen Zustande. Diese Variationen können vernachlässigt werden gegenüber dem Widerstand des Spannungsteilers (13 500 Ω, 40 pF).

Als Zeitablenkung der Oszillogramme wurde in den meisten Fällen eine logarithmische Skala benützt, mit einer Zeitkonstanten von 57 μs (0,712 μF, 80 Ω). Nur bei den Vorversuchen an der Telephonleitung wurde 14,2 μs und bei einzelnen Aufnahmen mit Kondensatorschutz 140 μs verwendet.

Die Auslösung des Hilfstossgenerators erfolgte durch Erdung seiner Ladeleitung an eine dritte Erdung (E_S), um derart eine Beeinflussung des Potentials des KO durch Influenzwellen zu vermeiden.

Mit Ausnahme der Vorversuche war während der Versuche der Sternpunkt des Isoliertransformators auf der Stange beim KO-Wagen (Fig. 3, Schalter *S*) vom Nulleiter getrennt, da sonst ein grosser Teil der Ladung der Stosswelle durch den Transformator abgeflossen wäre. Gegenüber Stössen auf allen 4 Leitern ist diese Ableitwirkung besonders günstig bei Zickzack geschalteten Transformatoren, die in solchen Fällen eine im Vergleich zur normalen Kurzschluss-Induktivität sehr kleine Strominduktivität besitzen (siehe Tabelle I), wie sich bereits in Wetzikon ergeben hatte.

Einrichtungsarbeiten

Von den EKZ wurden folgende Einrichtungsarbeiten übernommen:

Stossgenerator- und Ableitererdungen aus Cu-Band in *A*, *B* und *C*,
Stangen für Montage von Widerständen, Ableitern und Zählern,
3 Isoliertransformatoren,
Kasten für umschaltbare Ableiter und Zähler,
Podest für den KO-Wagen.

Die EKZ stellten auch das Kabel zur Speisung des Generators zur Verfügung und besorgten dessen Verlegung.

Die PTT stellten zur Verfügung:

die Zores-Eisen als Kabelschutz
ein Paar Kurzwellen-Sender und -Empfänger samt Personal zur Bedienung als drahtlose Verbindung während der Vorversuche, und später
ein Feldtelephon samt Drähten auf Masten der Versuchsleitung montiert, zur Verbindung zwischen KO-Wagen und Stosswagen.

Die Bau-Unternehmung H. Stutz in Uitikon besorgte im Auftrag der FKH das Steinbett für den Stossgeneratorwagen.

III. Versuchs-Varianten

Das Versuchs-Programm sah folgende Varianten vor:

a) Ein- und allpolige Stosswellen:
I) Stoss *direkt* auf *einen* Leiter allein (einpoliger Stoss, auf Pol Nr. 3)
II) Stoss *direkt* auf *alle 4 Leiter* (allpoliger Stoss, auf 3 Pole + Nulleiter)
III) Stoss *über je 500 Ω auf alle 4 Leiter*

b) Stossfront *steil* (ca. 1 μs reduzierte Frontdauer)
Stossfront *flach* (Verwendung von Drosselspulen)

c) Gebäudeinstallation *ohne Belastung*
Gebäudeinstallation *mit Belastung* von:
3 × 450 W je zwischen Pol und Nulleiter
1 × 450 W zwischen gestossenem Pol und Nulleiter
1 × 900 W zwischen gestossenem Pol und Nulleiter
Die Belastung war immer am Ende der Messleitung, unmittelbar beim KO angeschlossen.

d) *Ableitererdung* mit kleinem Widerstand (in *B*: 0,35 Ω, oder in *C*: 0,5 Ω)
Ableitererdung mit grösserem Widerstand in *B*: 12 Ω)

e) Nulleiter mit Ableitererdung *verbunden* (Normalfall des 380/220-V-Einheitsnetzes)
Nulleiter von Ableitererdung *getrennt* (ähnlich einem 500-V-Netz ohne Nulleiter)

f) *Ableiteranschluss* in *B* (an der Stange, 55 m vor dem Haus)
Ableiteranschluss in *C* (im Haus selbst)
Ableiteranschluss in *B und C* (Mehrfachschutz)
Gebäude *ohne* Ableiterschutz.

g) *Ableitertyp X, Y* oder *Z*.
Schutz durch 3 Kondensatoren zu 3 μF

h) Ableiter *ohne Ansprechzähler*
Ableiter *mit Ansprechzählern* Typ *K, L* oder *M*.

i) Verschiedene Spannungshöhe der Stösse:
3 kV — 10 kV — 30 kV — 60 kV — 120 kV

k) *Spezialversuche mit Radio-Störschutz-Kondensatoren:*
ohne Kondensatoren
mit 1 Kondensator (0,1 μF) zwischen gestossenem Pol und Nulleiter

mit 3 Kondensatoren (je 0,1 μF) zwischen jedem Pol und Nulleiter (⅄)
mit 3 Kondensatoren (je 0,1 μF) zwischen je 2 Polen (△)

Diese Versuche wurden mit 60-kV-Wellen durchgeführt in den Varianten b (steile und flache Front), c (ohne und mit Belastung) und g (mit Ableitertypen *X* und *Z*).

Neben diesen Varianten a...k wurden Vor- und Ergänzungsversuche durchgeführt, nämlich:

Vorversuche:

Stoss auf die Telephonleitung,
Stoss auf Pol 3 über 500 Ω Dämpfungswiderstand,
Sternpunkt des Transformators für die KO-Wagenspeisung mit Nulleiter verbunden (Schalter S, Fig. 3, geschlossen)

Ergänzungsversuche:

Messung des in *B* abgeleiteten Stromes (Wellenstrom und quasistationärer schwingender Strom), zur Bestimmung des Wellenwiderstandes und der Induktivität der Leitung sowie der Stromverteilung zwischen *A* und *B* (Oszillogramme Nr. 762 bis 774, 923 bis 933, Beispiel Fig. 13 und 14)

Wirkung der Ableiter in den Influenzpolen (bei Stoss auf Pol 3)

Vergleichsversuche mit und ohne Ableiter in *A* (nur bei flachen Wellen)

Die Zahl aller Kombinationen, die sich durch die Varianten a...i ergeben, ist enorm; nur ein kleiner Teil davon wurde durchgeführt. Um die Uebersicht zu erleichtern, wurden die wichtigsten Kombinationen in den Haupttabellen I, II und III (entsprechend den drei Hauptvarianten unter a) graphisch dargestellt. Die ausgeführten Versuche sind darin durch ihre Oszillogramm-Nummern, die gemessenen Ueberspannungen und ihre Dauer, wie auch besondere Beobachtungen durch gewisse Abkürzungen dargestellt, wie in Kapitel VII näher beschrieben ist.

IV. Vorversuche an der Hausinstallation

Bei diesen Versuchen, die am 21. und 22. 2. 45 stattfanden, waren die Isoliertransformatoren zwischen Punkt *A* und Dorf und vor dem KO-Wagen noch nicht eingebaut. Da die ankommende Stosswelle selbst den KO auslöste, fehlt in den Oszillogrammen die erste Spannungspitze.

In *A* waren immer Ableiter mit Ansprechzählern angeschlossen, in *B* Ableiter mit und ohne Ansprechzähler, in *C* stets Ableiter ohne Ansprechzähler. *Einpolige* Stösse von zirka 3 kV wurden direkt auf Pol 3 gegeben, allpolige *Stösse auf 4 Leiter* über je 500 Ω Dämpfungswiderstand, mit steigender Generatorspannung von 5 kV bis 30 kV bei 8 μF Generatorkapazität, und 44 kV bis 94 kV bei 2 μF Kapazität.

Mit Ableitern in *B* ohne Ansprechzähler wurde im Haus auch bei 94 kV Generatorspannung (d. h. 46-kV-Stoss auf der Leitung) nichts besonderes bemerkt. Mit Ansprechzählern entstand ein Ueberschlag in der Schaltuhr (Sicherung ist geschmolzen). Waren die Ableiter dagegen im Haus angeschlossen (ohne Ansprechzähler), so wurden bei einer Generatorspannung von 52 kV (d. h. 25-kV-Stoss auf der Leitung) 2 Lampen und eine Sicherung (Keller) zerstört. Am folgenden Tag wurde ein Defekt der Primärwicklung des Klingeltransformators festgestellt (Draht geschmolzen).

Auf der Dorfseite waren als Vorsichtsmassnahme die beiden ersten Netzanschlüsse (2 Scheunen) an ihren Hauptsicherungen abgetrennt. Während der Versuche wurde dort nichts abnormales beobachtet. Die Wirkung der Versuche auf die Dorf-Installation wurde jedoch erst am folgenden Tag bekannt, als dem Ortsmonteur der EKZ in Uitikon zirka 50 Lampendefekte angemeldet wurden!

Auf Grund dieser Erfahrung (trotz guter Ableiter mit sehr guter Erdung von 1,1 Ω) wurden zwei gleiche Isolier-Transformatoren in Serie eingebaut (380/220/500 V, *Z*/*Y*, und 500/380/220 V, *Y*/*Z*), die zusammen mit den vorhandenen Ableitern das Dorf bei allen folgenden Versuchen restlos geschützt haben.

V. Vorversuche an Telephonleitung und Telephoninstallation

Da die Telephonleitung auf der ganzen Strecke *A*—*C* (Fig. 1 und 2) auf den Stangen der Starkstrom-Leitung verlegt ist, musste zuerst der Ueberspannungs-Schutz des Telephons geprüft werden. Diese Prüfung fand am 27. 2. und 1. 3. 45 in Anwesenheit der Herren Dr. Keller, Koelliker und Hellbock der PTT statt.

Stösse wurden auf beide Telephonleiter (blau und gelb) über je einen Widerstand von 500 Ω gegeben; die Freileitung war zuerst am Kabelkasten im Dorf Uitikon vom Kabel abgetrennt, später am Kabel angeschlossen. Im ersten Fall war die Leitung in *A* mit Schichtwiderständen von 1000 Ω zwischen beiden Leitern und 200 Ω von deren Mitte an Erde abgeglichen.

Der Stossgenerator hatte eine Kapazität von 2,1 μF (2 Stufen zu 4,2 μF).

Mit dem KO wurden die Spannungen gemessen zwischen

Telephonleiter gelb — Sondererde (*E*)
Telephonleiter blau — Sondererde (*E*)
Telephonleiter gelb — Telephonleiter blau
Hausinstallation Pol 3 — Nulleiter
Nulleiter — Sondererde (*E*)

Da der KO von der Stosswelle selbst ausgelöst wurde, fehlt die erste Spitze auf den Oszillogrammen.

Die gemessenen grössten Spannungswerte sind samt Beobachtungen in Tabelle T angegeben.

Während aller folgenden Versuche an der Hausinstallation blieb das Telephon stets in Betrieb. Es hat durch keinen Versuch irgendwelche Störung erlitten. Stösse auf die Niederspannungsleitung während eines Telephongesprächs äusserten sich im Telephon als starke Schläge der Telephonmembran (Knall). Diese Schläge wurden auch vom Gesprächspartner, z. B. von der Telephonzentrale, deutlich gehört, infolge der akustischen Uebertragung des Schalls von der Telephonmembran zum Mikrophon bei abgehobenem Mikrotelephon in Uitikon.

Die Spannungsspitzen an den Telephonleitern haben im Haus sehr kurze Halbwertdauer, nämlich zwischen 0,3 und höchstens 2 μs.

Vorversuche an der Telephon-Leitung Tabelle T

Versuch No.	Kabel im Dorf	Stossspannung des Generators kV	Grösste gemessene Spannungsspitze zwischen Leitern	kV	Bemerkungen
T/1	getrennt	+ 25	gelb – *E* blau – *E* gelb – blau Pol 3 – 0 0 – *E*	2,2 3,1 2,4 – 1,9 0,7	Kohle-Blitzschutzapparate im Haus Blickensdorfer sprechen an.
T/2	getrennt	+ 36	gelb – *E* blau – *E* gelb – blau Pol 3 – 0 0 – *E*	2,2 2,1 2,1 – 1,7 1,0	dito
T/3	getrennt	+ 54	gelb – *E* blau – *E* gelb – blau Pol 3 – 0 0 – *E*	2,8 2,9 1,9 – 3,1 1,2	dito
T/4	verbunden	+ 55	gelb – *E* blau – *E* gelb – blau Pol 3 – 0 0 – *E*	3,5 4,9 2,1 2,0 1,5	Bei der 1. Aufnahme sprechen die Ueberspannungssicherungen beim Uebergang Leitung-Kabel an. 2. Aufnahme: Schmelzsicherung am Eingang des Kabels schmilzt durch.
T/5	verbunden	+ 54	gelb – *E* blau – *E* gelb – blau Pol 3 – 0 0 – *E*	– 5,6 – 5,9 3,4 – 2,8 1,5	Telephon im normalen Betrieb (mit Ausnahme der 2 Widerstände zu je 500 Ω zum Stossgenerator!) Kohle-Blitzschutz im Leiter *b*, Edelgas-Blitzschutz im Leiter *a*; beide sprechen am Kabel-Eingang an; in der Verteilstation Waldegg sprechen sie nicht an.
T/6	verbunden	+ 80	gelb – *E* blau – *E* gelb – blau Pol 3 – 0 0 – *E*	– 6,7 – 7,3 5,7 – 3,6 2,1	Gleicher Schutz wie T/5. Beim Kabeleingang, 1. Stoss; Schmelzsicherung 6 A schmilzt durch. Im Haus Blickensdorfer: Kohlen-Blitzschutz spricht an, Schmelzsicherungen gut (Ableiter Pol 1 Punkt *B* angesprochen).

Nach 20 μs sind die Ueberspannungsschwingungen fast völlig abgeklungen. Zuletzt wurden Stösse von 102 kV Generatorspannung auf die Telephonleitung geschickt, aber nicht oszillographiert. Auch dabei entstanden keine Schäden oder irgendwelche anomale Erscheinungen. Auf Grund dieser Versuche konnten die Hauptversuche an der Starkstrominstallation ohne Bedenken und ohne irgendwelche Beschädigung des Telephons durchgeführt werden.

VI. Rechnerische Betrachtung der Stossform

Die Stossform entsteht als Folge des Wellenspiels zwischen Stossgenerator und Leitungsenden. Während die erste vorlaufende Welle ausschliesslich durch die Daten und die Ladespannung des Stossgenerators, ferner durch die Wellenwiderstände der Leitung bestimmt ist, bekommen die an den Leitungsenden angeschlossenen Impedanzen (Installationskapazität, Ableiter, Erdungswiderstände usw.) von Wellenlaufzeit zu Wellenlaufzeit erhöhten Einfluss, bis nach vielen Laufzeiten der quasistationäre Strom-Spannungs-Zustand erreicht ist, der sich aus dem üblichen Ersatzschema mit konzentriert gedachten Werten L, C und R von Induktivität, Kapazität und Widerstand errechnen lässt. Für Zeitpunkte innerhalb weniger Laufzeiten stellen die auf Grund des quasistationären Ersatzschemas berechneten Strom-Spannungswerte Mittelwerte dar, um deren Kurvendarstellung die wahren Momentanwerte als Treppenkurve herumpendeln. Die grössten Abweichungen lassen sich einfach erkennen, wenn berücksichtigt wird, dass die Zeitdauer zwischen 2 Treppenstufen stets gleich der doppelten Wellenlaufzeit ist. Während die genauen Momentanwerte sich nur auf Grund eines Wellenfahrplans Schritt für Schritt ermitteln lassen (was mathematisch einer Reihenentwicklung entspricht), ist die Auswertung des quasistationären Kreises geschlossen möglich, weshalb sie hier benutzt wurde.

Für einen gedämpften Schwingungskreis mit den Bezeichnungen nach Fig. 5, mit dem Schwingungswiderstand $Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$ und dem Ueberspannungsfaktor oder Qualitätsfaktor $Q = \frac{Z}{R}$ ergeben sich rechnerisch die Verhältniszahlen ψ, φ und τ für Stromscheitelwert $\hat{\imath}$, Frontdauer T_f und Halbwertdauer T_H als Funktion Q. Dabei lässt sich der Wert Q aus den Oszillogrammen folgendermassen ausrechnen. Es bedeutet:

α_1/α_2 das Verhältnis der absoluten Grösse von zwei aufeinander folgenden Amplituden einer Schwingung (nach einer Halbperiode gemessen), dann ist

$$Q = \frac{Z}{R} = \frac{\sqrt{\frac{L}{C}}}{R} = \frac{1}{2}\,\frac{\sqrt{\pi^2 + \left[\ln\left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right)\right]^2}}{\ln\left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right)} \qquad \text{(Fig. 6)}$$

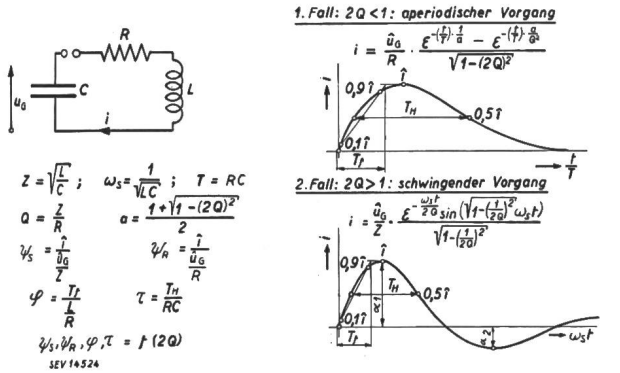


Fig. 5

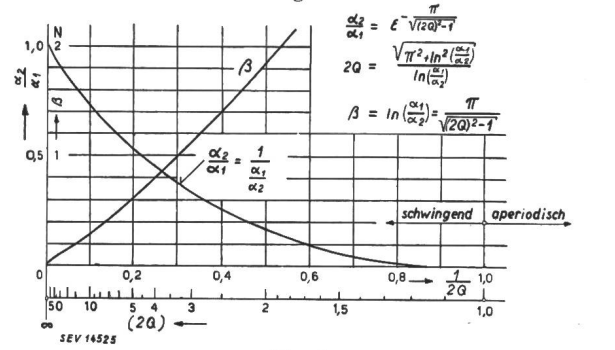


Fig. 6

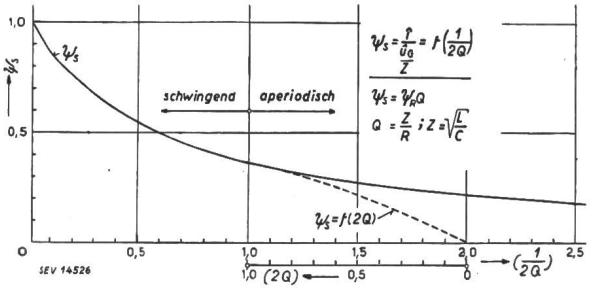


Fig. 7

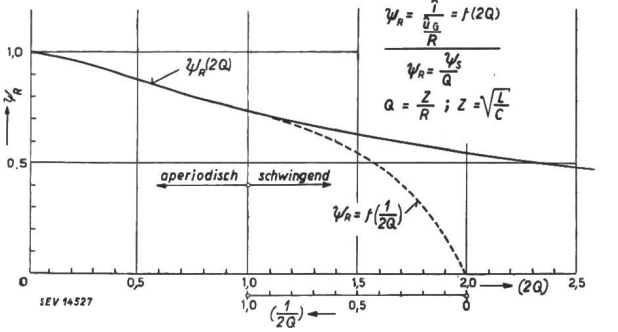


Fig. 8

Aus Q ergeben sich folgende Verhältniswerte:

ψ_S Verhältnis $\dfrac{\hat{\imath}}{\dfrac{\hat{u}_G}{Z}}$ gilt für $Q > 1/2$ (schwingender Strom, Rechnungsresultat dargestellt in Fig. 7)

ψ_R Verhältnis $\dfrac{\hat{\imath}}{\dfrac{\hat{u}_G}{R}}$ gilt für $Q < 1/2$ (aperiodischer Strom, Rechnungsresultat dargestellt in Fig. 8)

φ Verhältnis $\dfrac{T_f}{\dfrac{L}{R}}$ (Rechnungsresultat dargestellt in Fig. 9)

τ Verhältnis $\dfrac{T_H}{RC}$ (Rechnungsresultat dargestellt in Fig. 10)

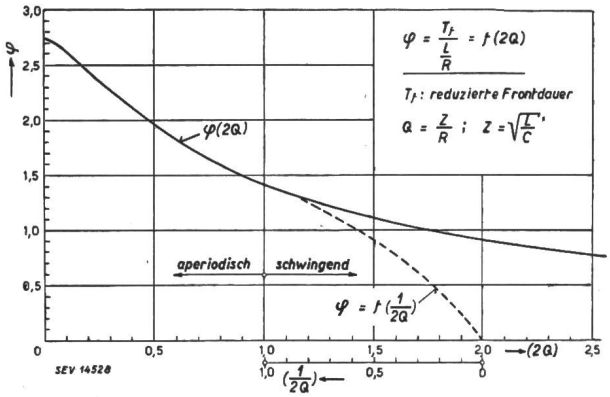


Fig. 9

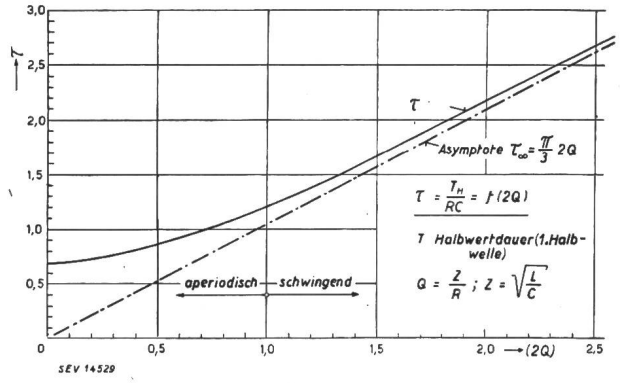


Fig. 10

In jedem hier in Frage kommenden Versuchsschema lässt sich der wesentliche Teil auf den gedämpften Schwingungskreis Fig. 5 reduzieren. Es führt zu weit, hier in jedem Fall die wirksamen L-, C-, R-Werte anzuführen und deren Rechnungswerte anzugeben. Die wesentlichen Ergebnisse sind im folgenden kurz zusammengefasst.

Direkter Stoss (steile Stösse)

Wird ein Stoss vom Generator direkt auf die Leitung gesandt, so entsteht in jeder Leitungsrichtung eine Welle, die beinahe mit Lichtgeschwindigkeit v_L fortwandert. Die Höhe der Spannung $\hat{u}_W$ beider Wellen ist ungefähr gleich der des Stossgenerators $\hat{u}_G$. Die Stromstärke $\hat{\imath}_W$ ist in jeder Richtung gleich $\hat{u}_W/Z_W$.

An beiden Ableiterstellen (A und B oder C) werden die Wellen reflektiert, so dass jeder Ableitersatz zuerst fast den doppelten Wellenstrom bekommt. Da die Laufzeiten der Wellen hin und zurück (zirka

2 μs) klein sind im Vergleich zur Entladezeit des Generators, schaukelt sich der Strom auf. Sein Verlauf geht über in eine gedämpfte Schwingung der Stosskapazität (C_G) mit der totalen Kreisinduktivität $L_{tot} = L_G + L_{res}$ (siehe Ersatzschema Fig. 2). Aus der Frequenz lässt sich die resultierende Induktivität der Leitung L_{res} plus des Stossgenerators L_G und somit auch der Wellenwiderstand bestimmen, da die Kapazität C_G bekannt ist. Aus dem Verhältnis zweier aufeinanderfolgender Amplituden der Schwingung ($a_1 : a_2$) kann weiter der Wert $Q = \sqrt{\frac{L_{res} + L_G}{C_G}} : R_{tot}$ ausgerechnet werden, wo R_{tot} den totalen ohmschen Widerstand des Schwingungskreises darstellt.

Der Scheitelwert des Generatorstroms $\hat{\imath}_G$ wird:

$$\hat{\imath}_G = \psi_s \frac{\hat{u}_G}{Z_{tot}} \quad \text{(Wert } \psi_s \text{ siehe Fig. 7)}$$

Die Verteilung der Ströme in den Ableitern A und B bzw. C geschieht umgekehrt proportional zur Induktivität der beiden Zweige, sofern die Ableiter-Restspannung als sehr klein gelten kann. Somit bekommt der Punkt B zirka 40 % des gesamten Generatorstromes $\hat{\imath}_G$.

Stoss über Drosselspule (flache Wellen)

Durch das Einschalten einer Drosselspule von 6 mH (L_{Dr}) werden die Induktivität des Generators und damit die Frontdauer vergrössert. Da die Ableiter lange vor dem Scheitelwert des Stromes ansprechen, ist der Strom in diesem Falle vor allem durch Drosselspule, Stosskapazität und Generatorspannung bestimmt.

Da die Laufzeit der Wellen viel kleiner ist als die Frontdauer, steigt die Spannung der Leitung praktisch überall gleichzeitig langsam an, indem der Strom aus Generator und Drosselspule die Kapazität der Leitung auflädt. Wenn die Ableiter in A und B oder C ungleiche Ansprechspannung haben, kann es vorkommen, dass der erste ansprechende Ableiter den ganzen Generatorstrom $\hat{\imath}_G$ übernimmt, weil der zweite Ableiter vom ersten kurzgeschlossen wird und nicht mehr ansprechen kann. Wenn beide Ableiter ansprechen, verteilen sich die Ströme wieder nach den Impedanzen, die aber jetzt infolge der geringen Frequenzen (1370...5500 Hz) viel mehr von den variablen Ableiter- und Erdungswiderständen abhängen. Deshalb ist die Stromverteilung zwischen A und B bei flachen Stössen nicht genau angebbar.

Stoss über Dämpfungswiderstände auf 4 Leiter ($R_D = 500\ \Omega$ pro Leiter)

Bei dieser Anordnung verläuft der Entladestrom des Generators aperiodisch. Die grösste Spannung an der Leitung $\hat{u}_W$ beträgt nur ein Bruchteil derjenigen am Generator $\hat{u}_G$; sie dauert nur zirka 4 μs. Bereits nach der Laufzeit vom Generator bis Ableiter A und zurück (in 2 μs) erleidet die Spannung eine sprunghafte Herabsetzung um zirka 1/4 (theoretisch 1/3), siehe Osz. 761 (Fig. 13).

Der Stoss besteht somit lediglich aus einem kurzdauernden Spannungsimpuls, dessen durch die Leitungslänge bestimmte Dauer viel kleiner ist als die Entladedauer des Stossgenerators.

Die Stromverteilung über die Ableiter A und B oder C bleibt nicht konstant, da sie anfänglich vorwiegend durch die Wellenwiderstände, dann quasistationär in erster Linie durch die Induktivitäten der Zweige und schliesslich nach langer Stromdauer durch die ohmschen Widerstände bestimmt ist. Wenn die Erdungswiderstände der beiden Zweige nicht im gleichen Verhältnis zu ihren Induktivitäten sind, so entsteht längs der Leitung über beide Ableiter ein Ausgleichstrom, der gegen Ende des Stosses sogar grösser sein kann als der Generatorstrom. Dadurch kehrt der Strom in B seine Polarität um (Osz. Nr. 772, Fig. 13).

Stoss über Drosselspule und Dämpfungswiderstände

Der Strom schwingt stark gedämpft. Die Stromverteilung über A und B oder C ist verschieden, je nachdem, welcher Ableiter zuerst anspricht.

Messung der Stromkreiskonstanten, Berechnung der Wellenformen

Um die Stromkreiskonstanten (Impedanz, Induktivität und Widerstand) berechnen zu können, wurde die Hausinstallation bei den Hauptsicherungen ausgeschaltet, und der Ableiterstrom in B mit Shunt (0,44, 1,0 und 5,0 Ω) und abgeglichenem 100-m-Papier-Bleikabel am KO gemessen (Oszill. 762... 774, 925...933, Fig. 13 und 14). Die Auswertung dieser Messungen und die daraus berechneten Wellenformen bei verschiedenen Generatorschaltungen sollen aus Platzgründen hier nicht angeführt werden.

VII. Versuchsresultate

Massgebend für die Stossbeanspruchung einer Hausinstallation ist in erster Linie der Spannungsscheitelwert, der deshalb aus den Oszillogrammen bestimmt wurde. In zweiter Linie ist zu unterscheiden zwischen relativ «*langdauernden*» Spannungen, z. B. Restspannungen der Ableiter oder Spannungen an Erdungswiderständen, die während des ganzen Stosses vorhanden sind, und «*kurzdauernden*» Spannungsspitzen, z. B. an Erdungsinduktivitäten, die nur während der Strom*front* bestehen, oder Spannungen während des Ansprechverzugs der Ableiter, die im allgemeinen nur bis zirka 3 μs dauern. Im allgemeinen wird eine Hausinstallation kurzdauernde Spannungen eher aushalten als langdauernde, weil bekanntlich der Stossfaktor bei Spannungen kurzer Dauer grösser ist.

Die langdauernden Spannungen sind in der ganzen Hausinstallation etwa gleich gross, da sie sich während ihrer Dauer ausgleichen. Hingegen muss man annehmen, dass kurzdauernde Spannungen lokalen Charakter haben. Von jedem Oszillogramm wurden deshalb folgende Spannungen ausgewertet:

die höchste positive kurzdauernde Spannung
die höchste positive langdauernde Spannung

die höchste negative kurzdauernde Spannung
die höchste negative langdauernde Spannung

Als *kurzdauernde* Spannungsspitzen wurden Spannungen bezeichnet, deren Halbwertdauer *kleiner als 5 μs* ist,

als *langdauernde* Spannungen solche, deren Halbwertdauer *grösser als 5 μs* ist.

Eine schwach gedämpfte Hochfrequenzschwingung von mehr als 70 kHz um die Nullinie gilt als kurzdauernde Spannung.

Bei der Ueberlagerung einer langdauernden Spannung mit einer Hochfrequenzschwingung gilt als «langdauernde Spannung» der Scheitelwert der ersten Kurve nach Abklingen der überlagerten Schwingung.

Die Resultate sind im folgenden auf 2 Arten dargestellt:

Erstens sind in Tabelle VI alle Oszillogramme der Hauptversuche in fortlaufender Reihenfolge ausgewertet. Von dieser sehr umfangreichen Tabelle wird hier nur ein Blatt als Beispiel reproduziert.

Zweitens wurde versucht, in drei grossen *Haupttabellen I, II* und *III* alle wesentlichen Resultate und Beobachtungen übersichtlich unter Verwendung abkürzender Symbole zusammenzustellen. Dies ist dadurch geschehen, dass in diesen Tabellen die verschiedenen Versuchs-Varianten als Abszisse (ohne und mit Ableiter, Ableiterart, Ansprechzähler, Höhe der Wellenspannung oder Generatorspannung) und als Ordinate (Wellenform, Belastung, Ableiterort, Erdungswiderstand, Nulleitererdung) aufgetragen sind. In jedes sich so ergebende Tabellenfeld ist sodann zuerst die Nummer der zugehörigen Oszillogramme eingetragen. Mit dieser Nummer lassen sich in der Auswertungstabelle der einzelnen Oszillogramme (Tab. VI) alle Auswertungsdaten nachschlagen. Wo nur diese Nummer im Tabellenfeld steht, wurden die Messungen gemacht, ohne dass sich Ueberspannungen von mehr als 1500 V Stoss erga-

Auswertung der Oszillogramme (Beispiel)

Bedeutung der Abkürzungen:

KD	Kurzdauernde Spannung
LD	Langdauernde Spannung (Ableiter oder Zähler)
a	spricht sicher an
?	unsicher
n	spricht sicher nicht an
—	nicht vorhanden
ü	Ueberschlag in der Hausinstallation
Bd oder Cd	Ableiterdefekt in *B* oder *C*
Zd	Zählerdefekt in *B*
*	Aufnahme wiederholt
U_{B-E}	Spannungsdifferenz zwischen Ableitererdung *B* und Bezugserde *E*

Tabelle VI

Osz.	Pol 1—0 KD kV	Pol 1—0 LD kV	Pol 1—0 Abl. in B	Pol 1—0 Abl. in C	Pol 1—0 Zähler in B	Pol 1—0 Bem. Nr.	Pol 2—0 KD kV	Pol 2—0 LD kV	Pol 2—0 Abl. in B	Pol 2—0 Abl. in C	Pol 2—0 Zähler in B	Pol 2—0 Bem. Nr.	Pol 3—0 KD kV	Pol 3—0 LD kV	Pol 3—0 Abl. in B	Pol 3—0 Abl. in C	Pol 3—0 Zähler in B	Pol 3—0 Bem. Nr.	0—E KD kV	0—E LD kV	0—E Bem. Nr.	U_{B-E} bei ε_{max} kV	Tab. und Kol.
1 bis 55	Vorversuche					1–9						1–9						1–9					10a
56*	+ 4,9	+ 0,0	—	—	—	ü	+ 1,0	+ 3,7	—	—	—		+ 0,0	+ 5,2	—	—	—	ü	+ 1,7	+ 0,1			I
(57)	— 0,0	— 4,7				10	— 0,0	— 4,9					— 0,0	— 1,2				10	— 1,7	— 0,0			I
(267)																							
57*	+ 1,6	+ 0,0	—	—	—		+ 0,0	+ 0,0	—	—	—		+ 0,0	+ 3,0	—	—	—		+ 0,8	+ 0,0			I
(56)	— 0,0	— 1,5					— 0,0	— 1,9					— 0,0	— 1,0					— 0,8	— 0,0			I
(267)																							
58*	+ 1,5	+ 0,0	a	—	—		+ 0,8	+ 0,0	n	—	—		+ 1,2	+ 0,2	a	—	—		+ 0,7	+ 0,0			
(274)	— 2,1	— 0,0					— 0,0	— 2,6					— 0,3	— 0,2					— 0,7	— 0,0			
59*	+ 0,8	+ 0,0	a	—	—		+ 0,5	+ 0,0	a	—	—		+ 1,0	+ 1,3	a	—	—		+ 0,6	+ 0,0			
(277)	— 0,6	— 0,3					— 0,6	— 0,4					— 0,0	— 0,7					— 0,8	— 0,0			
60*	+ 0,7	+ 0,0	a	—	—		+ 0,7	+ 0,0	n	—	—		+ 0,8	+ 1,1	a	—	—		+ 0,7	+ 0,0			
(280)	— 2,4	— 0,5					— 0,0	— 2,3					— 0,0	— 0,5					— 0,9	— 0,0			
51	+ 0,9	+ 0,0	a	—	a		+ 0,5	+ 0,0	n	—	n		+ 1,2	+ 1,5	a	—	a		+ 0,7	+ 0,0			I 9
	— 1,1	— 0,4					— 0,0	— 1,7					— 0,0	— 0,3					— 0,7	— 0,0			
53	+ 0,0	+ 0,0	a	—	n		+ 0,7	+ 0,0	n	—	n		+ 0,6	+ 0,8	a	—	n		+ 0,4	+ 0,0			I 17
	— 2,0	— 0,2					— 0,0	— 1,6					— 0,0	— 0,6					— 0,6	— 0,0			
64	+ 0,6	+ 0,0	a	—	a		+ 0,7	+ 0,0	a	—	a		+ 0,5	+ 1,2	a	—	a		+ 0,6	+ 0,0			I 26
	— 0,4	— 0,3					— 0,3	— 0,3					— 0,5	— 0,4					— 0,5	— 0,0			
65	+ 0,7	+ 0,0	a	—	a		+ 0,7	+ 0,0	a	—	a		+ 0,9	+ 1,4	a	—	a		+ 0,6	+ 0,0			I 30
	— 0,7	— 0,4					— 0,7	— 0,3					— 0,0	— 0,3					— 0,5	— 0,0			
66	+ 1,0	+ 0,0	a	—	n		+ 0,5	+ 0'0	a	—	n		+ 0.8	+ 1,4	a	—	n		+ 0,6	+ 0,0			I 34
	— 0,6	— 0,3					— 0,7	— 0,4					— 0,0	— 0,4					— 0,5	— 0,0			
67	+ 0,7	+ 0,0	n	—	n		+ 1,0	+ 0,0	n	—	n		+ 0,5	+ 1,2	a	—	a		+ 0,7	+ 0,0			I 43
	— 0,0	— 2,0					— 0,0	— 1,5					— 0.0	— 0,7					— 0,7	— 0,0			
68	+ 1,1	+ 0,0	n	—	n		+ 0,4	+ 0,0	n	—	n		+ 0,7	+ 1,0	a	—	a		+ 0,6	+ 0,0			I 47
	— 0.0	— 1,8					— 0,0	— 2,2					— 0,0	— 0,2					— 0,6	— 0,0			
69	+ 0,3	+ 0,0	n	—	n		+ 0,8	+ 0,0	n	—	n		+ 0,7	+ 1,0	a	—	n		+ 0,4	+ 0,0			I 51
	— 0,0	— 1,9					— 0,0	— 1,4					— 0,0	— 0,7					— 0,5	— 0,0			
70*	siehe Osz. 283, 360a																						
71*	+ 1,2	+ 0,0	a				+ 1,1	+ 0,0	a				+ 1,9	+ 0,7	a				+ 0,7	siehe Osz. 286			
	— 1,9	— 0,4					— 1,8	— 0,4					— 0,0	— 0,4					— 0,8				
72*	siehe Osz. 362																						
73*	siehe Osz. 361																						
74*	siehe Osz. 83 u. 363																						

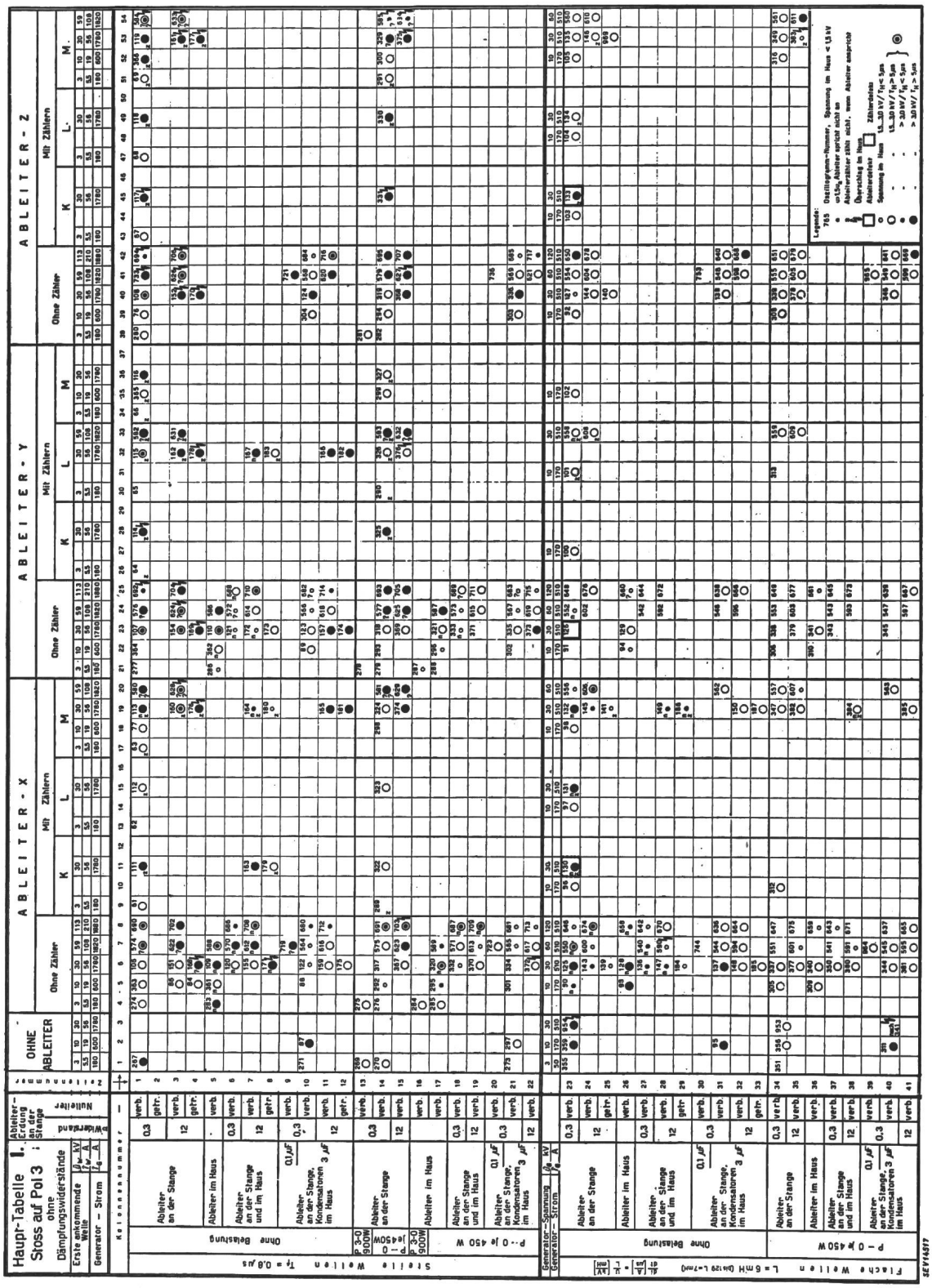
(usw. bis Nr. 969): Die weitern Auswertungsblätter (ca. 50) werden aus Raumgründen nicht wiedergegeben.

ben. Ein leeres Tabellenfeld bedeutet, dass jener Fall nicht oszillographiert wurde.

Sodann sind in dieser «symbolischen Darstellung» in den Haupt-Tabellen I, II und III die gemessenen Spannungen oberhalb 1500 V durch Kreise angegeben, deren Farbe der Höhe und deren Durchmesser der Dauer der Spannung entsprechen, und zwar bedeuten:

Weisse Kreise: Spannungen zwischen 1500 und 3000 V Scheitelwert,

Schwarze Kreise: Spannungen über 3000 V Scheitelwert.



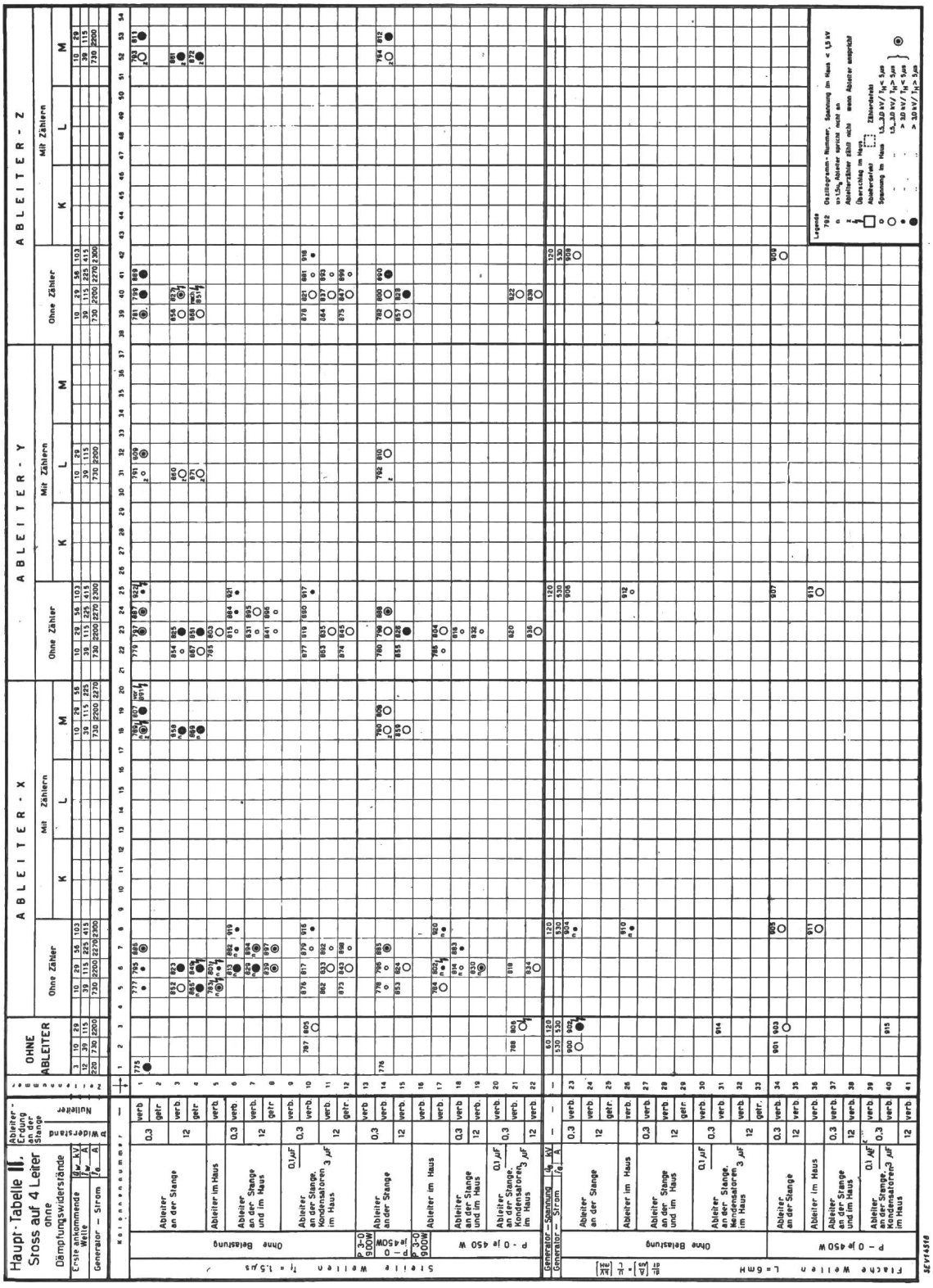
SEV14917

Als *anomale Vorgänge* sind besonders bezeichnet:

mit n, wenn ein Ableiter nicht anspricht, trotzdem die Spannung des betreffenden Pols das 1,5fache der Ansprechspannung erreicht,

mit Z, wenn ein Ableiter anspricht, aber sein Zähler nicht zählt.

Ein mit vollem Strich eingerahmtes Feld bedeutet einen defekten Ableiter. Ein mit unterbrochenem Strich eingerahmtes Feld bedeutet einen defekten Zähler.



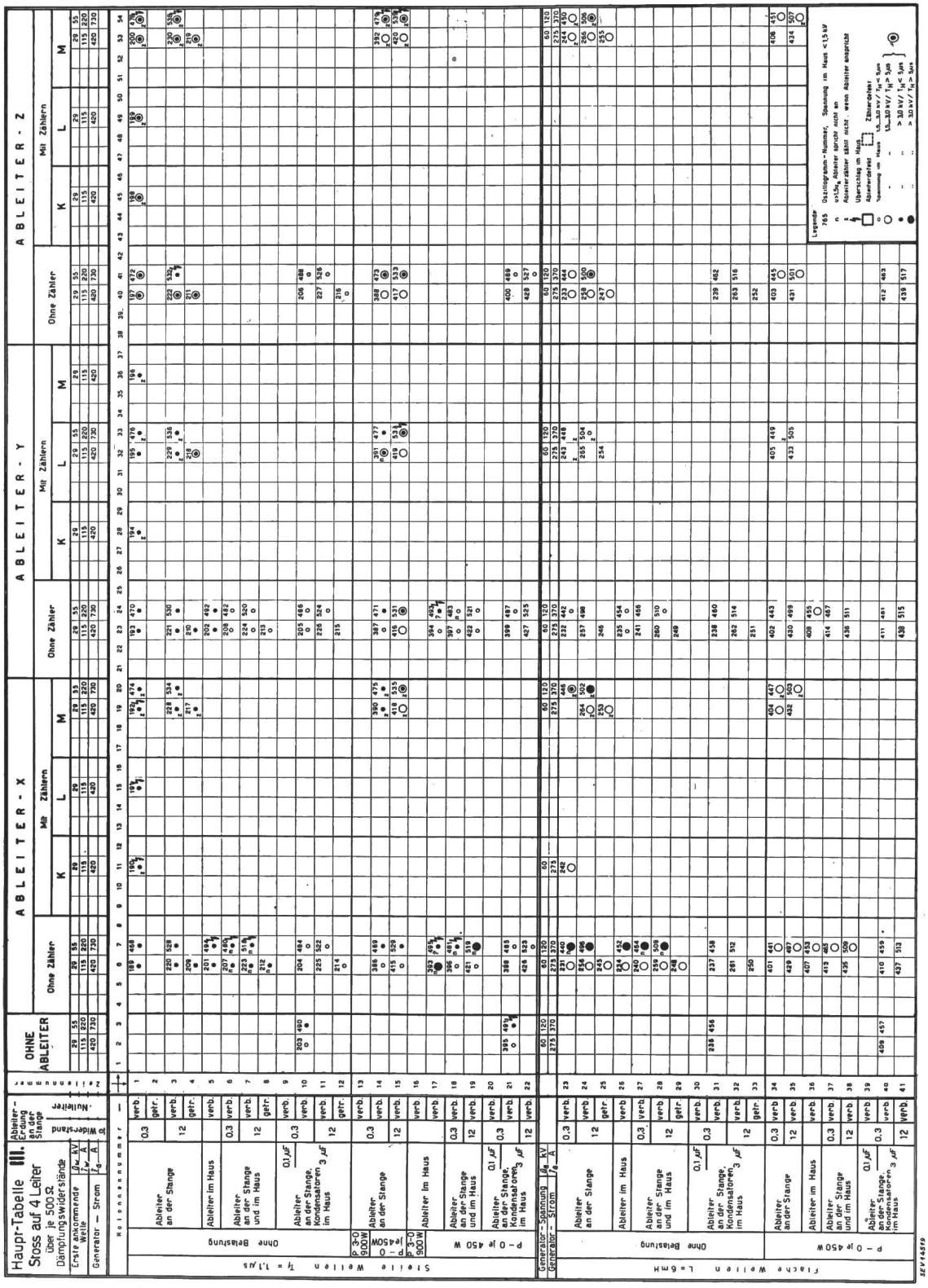
Um umgekehrt auch aus der Auswertungstabelle VI die entsprechenden Versuche in den Haupt-Tabellen I, II und III zu finden, ist in Tabelle VI zu jeder Oszillogramm-Nummer auch die Nummer

der Haupttabellen I, II oder III und die dort im Tabellenkopf notierte Kolonnennummer (z. B. I 54) angegeben worden.

Sowohl in den Haupttabellen I, II und III als auch in der Auswertungstabelle VI sind die Vorversuche (Osz. 1...55), die speziellen Versuche mit Störschutzkondensatoren (Osz. 718...766), Versuche zur Bestimmung der Leitungskonstanten (Osz. 762...774 und 925...933) sowie einige andere Spezialversuche weggelassen worden.

In der letzten Tabelle (VII) sind schliesslich alle Beobachtungen über Defekte und Ueberschläge, die sich bei den Versuchen ergaben, zusammengestellt. Ihre Nummerierung entspricht den Bemerkungsnummern in Tabelle VI.

Als Ergänzung sind sodann dem Bericht die Ko-



pien einiger Oszillogramme beigelegt (Fig. 13...28), deren Bedeutung in den Legenden angegeben ist. Die letzten zwei Fig. 29 und 30 zeigen einige photographische Ansichten der Versuchsanordnung, die von den EKZ aufgenommen wurden.

VIII. Diskussion der Resultate

1. *Allgemeines*

Die Resultate bestätigen *qualitativ* diejenigen von Wetzikon, insbesondere darin, dass die auftretenden Spannungen in der Hausinstallation nicht nur vom Ableiter, sondern auch vom Widerstand und der Induktivität der Ableitererdung, von der Entfernung der Ableiter vom Haus, sowie von Kapazität und ohmscher Belastung der Installation abhängen. Die Kapazität der Installation bildet mit der Induktivität der Freileitung bis zum Ableiter einen Schwingungskreis, der vom gesamten Spannungsabfall der Welle im Ableiter, in der Induktivität seiner Anschlussdrähte (an die Freileitung und an die Erdung) und z. T. in der Erdung angestossen wird. In allen Oszillogrammen, besonders in Nr. 90 und 550 ist diese Schwingung gut ersichtlich (Fig. 15 und 18). Ihre Frequenz von zirka 92 kHz stimmt mit der Kapazität von 20 500 pF und der Induktivität von zirka 160 μH überein.

Aus den Versuchen zeigt sich zunächst wieder, dass mit Ableitern ein begrenzter Schutz der Installation möglich ist. Die Grenze der Schutzmöglichkeit hängt gemäss den Haupttabellen I, II und III vor allem von der *Steilheit* zulaufender Wellen ab, was sich aus dem Vergleich der oberen und unteren Hälfte der Tabelle, Kolonnen «ohne Zähler», ergibt: In den 3 Kolonnen «ohne Zähler» der Haupttabelle I sind in der obern Tabellenhälfte viel mehr schwarze Kreise enthalten als unten, speziell bei den Ableitern *Y* und *Z*. Mit Ableiter *X* zeigten sich im Gegensatz dazu einige hohe Ueberspannungen bei Wellen bis zu 30 kV, nicht aber oberhalb. Der Grund liegt hier in der hohen *Ansprechspannung* dieses Ableiters, was aus den Symbolen «*n*» (Nicht-Ansprechen) hervorgeht. *Allgemein war es nicht möglich, die Hausinstallation mit einem Ableitersatz gegen steile Wellen von mehr als zirka 60 kV Höhe bzw. zirka 60 kV/μs Steilheit zu schützen.* Bereits bei dieser Wellenhöhe und Steilheit entstehen trotz der Ableiter mit einer Ableitererdung von 12 Ω *Ueberschläge* in der Installation, insbesondere mit Ableitern mit spannungsabhängigen Widerständen (mit «Restspannung»). Wesentlich günstiger liegt der Schutzbereich der Ableiter nur bei *flachen* Wellen, tiefe Ansprech- und Restspannung der Ableiter vorausgesetzt. Die einzelnen Einflüsse seien nun gesondert betrachtet.

2. *Wirkung der Ableiter-Eigenschaften*

Restspannung. Die Restspannung der Ableiter bleibt infolge der Ventil-Charakteristik der spannungsabhängigen Widerstände oder infolge der stromabhängigen Lichtbogenspannung bei Ableitern ohne Widerstand während der Ableitung eines Stossstroms annähernd konstant. Die dahinter liegende Installationskapazität vollführt im allgemeinen eine Schwingung um diesen Mittelwert. Ihre Spannung kann daher etwa die doppelte Restspannung des vorgeschalteten Ableiters erreichen.

Ansprechspannung. Mit nur zirka 200 V/μs Anstieggeschwindigkeit der Ueberspannung (Steilheit) ist die Ansprechspannung der Ableiter *höher* als bei Gleichspannung oder Niederfrequenzspannung, auffallenderweise aber auch *höher* als bei Stoßspannung normaler Steilheit (z. B. 10 kV/μs)! Für einen Ableiter (Typ *X*) mit 1,8...2,2 kV Ansprechspannung bei Gleichstrom streut sie z. B. von 2,2 kV (Osz. 96, 97, Haupttabelle I, Kol. 10 und 14) bis 4,6 kV! (Osz. Nr. 125, 132, Haupttabelle I, Kol. 6 und 19).

Bei Ueberspannungen kleiner Höhe und bei *flachen,* langsam ansteigenden Ueberspannungen kommt einer genügend tiefen Ansprechspannung der Ableiter grosse Bedeutung zu, wie das vorstehende Zahlenbeispiel und die Tabellen zeigen.

Bei *steilen* und hohen Wellen, und insbesondere falls der Ableiter z. B. 50 m vor dem Haus angeschlossen ist, spielt die Höhe der Ansprechspannung und der Verzug des Ansprechens keine wesentliche Rolle mehr, da der Spannungsimpuls bis zum Ansprechen seiner kurzen Dauer wegen sehr klein ist. Ist der Ableiter im Haus selber, so ist die Wirkung des Ansprechverzugs deutlicher, weil bis zum Ansprechen die ganze Installationskapazität aufgeladen wird. So sind z. B. in Osz. Nr. 686 (Abl. in *B* und *C*, Haupttabelle I, Kol. 8) die Spannungsspitzen durchschnittlich gleich hoch (6,3; 5,9 und 7,9 kV) wie ohne Ableiter in *C* (8,4; 4,8 und 6,4 kV, Nr. 690, Fig. 28) trotzdem die Ableiter in *C* schliesslich noch angesprochen haben. In Osz. Nr. 480, Haupttab. III, Kol. 7, wo die Ableiter mit 7,2 und 4,2 kV nicht ansprechen, entsteht vorher bereits ein Ueberschlag in der Hausinstallation. In Osz. Nr. 494 und 495 (Haupttabelle III, Kol. 7) erreichen die Spannungsspitzen 8,5 und 8 kV (Ableiter in *C*).

3. *Verhalten der spannungsabhängigen Ableiter-Widerstände bei kleinen, langdauernden Stoßströmen*

Ableiter mit spannungsabhängigen Widerständen scheinen auf kleine langdauernde Stoßströme mit einigen 100 A Höhe und einigen 100 μs Dauer empfindlicher zu sein als auf kurze Stösse, auch wenn die gesamte abgeleitete Ladung diejenige des garantierten normalen Ableitvermögens nicht übersteigt oder noch nicht erreicht. Zwei Defekte an solchen Ableitern konnten nicht abgeklärt werden.

4. *Wirkung der Induktivität der Ableitererdung und ihrer Zuleitung*

Die Induktivität des Ableiterkreises spielt bei der Ableitung steiler Wellen die überwiegende Rolle, denn sie lässt sich in den günstigsten Fällen nur schwer unter zirka 30 μH herabsetzen; sie verursacht die gemessenen, kurzdauernden Spannungsspitzen. Bei einer 50-kV-Welle von $T_F = 1$ μs Frontdauer auf allen 4 Leitern (250 Ω Wellenwiderstand)

erreicht z. B. der induktive Spannungsabfall an der Erdleitung während der Frontdauer (1 μs) zirka $\hat{u}_E$ = 10 kV.

Befinden sich die Ableiter in *B*, so wandert diese Spannungsspitze weiter bis zur Hausinstallation und wird von deren Kapazität reduziert oder absorbiert.

Ein Auszug aus den Auswertungen der Oszillogramme gibt folgende kurzdauernde Spannungsspitzen:

	Abl. Typ	Pol 1	Pol 2	Pol 3
Osz. Nr. 468 (H.Tab. III, Kol. 7)	*X*	8,3 kV	8,3 kV	4,8 kV
Osz. Nr. 470 (H.Tab. III, Kol. 24)	*Y*	7,5 kV	7,3 kV	4,6 kV
Osz. Nr. 472 (H.Tab. III, Kol. 41)	*Z*	8,5 kV	7,8 kV	5,7 kV
Osz. Nr. 530 (H.Tab. III, Kol. 24)	*X*	9,5 kV	8,5 kV	6,0 kV (Fig. 17)
Osz. Nr. 690 (H.Tab. I, Kol. 8)	*X*	8,4 kV	4,8 kV	6,4 kV (Fig. 28)
Osz. Nr. 692 (H.Tab. I, Kol. 25)	*Y*	6,0 kV	5,0 kV	7,1 kV (Bemerkung 63, Tab. VII)
Osz. Nr. 694 (H.Tab. I, Kol. 42)	*Z*	6,2 kV	5,1 kV	7,9 kV
Osz. Nr. 886 (H.Tab. II, Kol. 7)	*X*	10 kV	6,6 kV	4,1 kV (Fig. 24)
Osz. Nr. 887 (H.Tab. II, Kol. 24)	*Y*	6,8 kV	6,4 kV	4,6 kV (Fig. 16)
Osz. Nr. 889 (H.Tab. II, Kol. 41)	*Z*	7,9 kV	7,1 kV	6,5 kV

Der geringe Einfluss des Typs des Ableiters und die bessere Schutzwirkung der grösseren Kapazität des Pols 3 gegenüber Pol 1 für den Fall, wo alle Leiter zugleich gestossen werden (Haupttabellen II und III) sind auffallend.

Sind die Ableiter im Haus installiert, so erhöht sich das Potential des Nulleiters und der ganzen Installation um den Spannungsabfall in der Erdleitung und der Erdung des Hauses:

Osz. Nr. 109 (H.Tab. I, Kol. 6)
kurzerhand: 2,5 kV, langdauernd: 0,8 kV, Abl. Typ *X*
Osz. Nr. 110 (H.Tab. I, Kol. 23)
kurzerhand: 1,8 kV, langdauernd: 0,8 kV, Abl. Typ *Y*

5. *Wirkung des ohmschen Widerstandes der Ableitererdung*

Der erzeugte Spannungsabfall an der Erdung erwies sich als proportional zum abgeleiteten Strom.

Ist der Nulleiter nicht mit der Ableitererdung verbunden, so bildet die Summe aus dem Erdungs-Spannungsabfall und der Restspannung des Ableiters die gesamte Ueberspannung (siehe Fig. 22, Osz. Nr. 851, H.Tab. III, Kol. 23). Ist dagegen der Nulleiter mit der Ableitererdung verbunden, so verteilt sich bei *flachen* Wellen der abgeleitete Strom über die verschiedenen Erdungen des Nulleiters umgekehrt proportional zu ihren ohmschen Widerständen (Wasserleitung des Hauses, Erdung der Stange Nr. 125).

Bei *steilen* Wellen spielt sich dieser Vorgang folgendermassen ab:

Der grösste Teil des Ableiterstromes fliesst zuerst in die Ableitererdung E_B, nur ein Bruchteil fliesst längs des Nulleiters zur Hauserdung E_C, weil der Wellenwiderstand des Nulleiters zirka 530 Ω beträgt. Durch das Wellenspiel zwischen den Erdungen schaukelt sich der Nulleiterstrom auf und entlastet die Ableitererdung E_B, so dass der Ableiterstrom sich allmählich verschiebt von der nahen zu entfernteren Erdungen. Dieser Vorgang findet hier statt mit der Zeitkonstanten =

$$\frac{\text{Induktivität des Nulleiters} = 160\ \mu\text{H}}{\text{Summe der Erdungswiderstände } (1{,}4 + 0{,}5)\ \Omega} = \text{zirka } 84\ \mu\text{s}.$$

(Vergleiche Fig. 22, Osz. 851, 825, 797.)

6. *Wirkung der Kapazität der Installation*

Die Wirkung der Kapazität ergibt sich z. B. aus dem Vergleich der Spannung auf allen 4 Leitern beim steilen allpoligen Stoss.

Der Pol 3, an den die ganze Lichtinstallation angeschlossen ist, zeigt mit seinen 20 000 pF kleinere Spannungsspitzen als die anderen Pole mit nur zirka 2000 pF Kapazität (vergleiche Pol 1 und Pol 3 in Osz. 887, Fig. 16 und 530, Fig. 17). Dies erklärt auch, warum bei den Versuchen in Wetzikon, wo die Installationskapazität zirka 0,1 μF betrug, die Spannungsspitzen bei gleicher Stosswelle (60 kV) nur etwa 40 % der Werte des Pols 3 in Uitikon erreichten.

Mit künstlicher Vergrösserung der Kapazität der Installation durch Kondensatoren (3 μF als Ueberspannungsschutz oder 0,1 μF als Radio-Störschutz) nimmt die Spannungskurve einen stark geänderten Verlauf: Die Eigenfrequenz der 3-μF-Kapazität mit der Leitungsinduktivität bis zum Ableiter sinkt von zirka 92 kHz auf 7 bis 10 kHz. Die höchsten Frequenzen (Grössenordnung 1 MHz) kommen aber trotzdem in der Hausinstallation zum Vorschein, da der induktive Spannungsabfall in den Zuleitungen der Kondensatoren jetzt eine Rolle spielt, auch wenn diese nicht länger sind als ein Meter!

Die künstlich vergrösserte Installationskapazität verzögert den Anstieg der Spannung im Haus. Der wellenartig über die Leitung von *B* nach *C* übertragene Spannungsimpuls ist massgebend für die Höhe der erreichten Spannung in der Installationskapazität. Bei flachen Wellen (Ableiter in *B*) beweist die Messung der Spannung an der Ableitererdung in Osz. Nr. 594 (H.Tab. I, Kol. 7) einen Ansprechverzug von 70 μs. Das späte Ansprechen sieht man ebenfalls im Osz. Nr. 544a, Fig. 24 (Punkt *A*).

Mit Störschutzkondensatoren von 0,1 μF zwischen Polen und Nulleiter liegt die Eigenfrequenz der Hausinstallation mit der Induktivität der Leitung bis zu den Ableitern bei zirka 40...50 kHz. Somit werden die Spannungsspitzen verflacht. Was sie in Höhe verlieren, gewinnen sie in der Dauer, sofern der von *B* nach *C* übertragene Spannungsimpuls erhalten bleibt.

Beim Stossen auf nur einen Pol war zufälligerweise die Eigenfrequenz der nicht gestossenen Pole (Gesamt-Leitungs- und Transformator-Induktivität in *A* mit Störschutzkondensatoren) gerade gleich gross wie die Entladefrequenz des Stossgenerators (bei 0,53 μF), so dass eine Resonanzerscheinung auftrat. Es entstanden also Spannungen, die normalerweise nicht erscheinen. Deshalb sind die Resultate der hier nicht reproduzierten Osz. Nr. 719, 722, 726 (3,4...4,2 kV langdauernd) als Spezialfall anzu-

sehen. Diese Erscheinung verschwand, sobald die Ableiter der nicht gestossenen Influenz-Pole zum Ansprechen kamen.

Durch den Anschluss von Störschutzkondensatoren zwischen Polen übertragen sich die auftretenden Ueberspannungen in stärkerem Mass auf die anderen Pole.

7. *Wirkung der Belastung*

Mit 450 W Belastung (zirka 100 Ω) zwischen Pol und Nulleiter werden alle Oberschwingungen gedämpft (siehe Osz. Fig. 19). Die Spannungskurve in der Hausinstallation zeigt ziemlich genau den gesamten Spannungsabfall in Ableiter und Erdung mit Ausnahme der ersten Spitze, die aber stark gedämpft wird.

Ist die Installation mit Kondensatoren von 3 μF (in C) versehen, so spielt diese Belastung (R = 100 Ω) bei der Aufladung der Kondensatoren nur eine kleine Rolle, da die Entlade-Zeitkonstante ($C\,R$) 300 μs beträgt und somit während des Stosses keine wesentliche Kondensatorentladung eintreten kann.

Bei *flachen* Wellen absorbiert die Belastung jedoch einen grossen Teil des Stoßstroms und der Ueberspannung, so dass die Ableiter oft infolge der reduzierten Ueberspannung gar nicht zum Ansprechen kommen.

8. *Wirkung des Doppelschutzes*

Um die Installation gegen 100-kV-Stösse bzw. Stösse von zirka 100 kV/μs Steilheit zu schützen, derart, dass die Spannung im Hause 3 kV nicht viel übersteigt, kommt nur ein Mehrfachschutz in Frage; z. B. ein Doppelschutz durch Ableiter zirka 50 bis 100 m vor dem Hause *und* Ableiter oder Kondensatoren am Eingang der Installation.

Wie unter «Induktivität der Erdung» bemerkt, bleibt, nachdem der Stoss die ersten Ableiter passiert hat, eine kurzdauernde Welle bestehen, die im Haus bzw. im 2. Ableitersatz abgeleitet werden muss (siehe Osz. Nr. 530, Fig. 17; 886, Fig. 24; 887, Fig. 16; 690, Fig. 28 und 692: 7,1 kV, H.Tab. I, Kol. 8). Bei sehr grossen Installationen können diese Spitzen von der Eigenkapazität der Installation absorbiert werden.

Wird *im Haus* ein zweiter Satz von Ableitern verwendet, so ist für diese eine tiefe, verzugsfreie Ansprechung wertvoll. Die Auswertung des Osz. Nr. 686 (5,9 kV bis 7,9 kV, H.Tab. I, Kol. 8) und 919 (4,1 bis 5,0 kV, H.Tab. II, Kol. 8) zeigt die Wirkung des Ansprechverzuges. Trotzdem die tiefen Ansprechspannungen deutlich zum Ausdruck kommen, sind die Spannungsspitzen in Osz. Nr. 688 (2,4 bis 3,0 kV, H.Tab. I, Kol. 25) und 921 (2,4 bis 3,4 kV, H.Tabelle II, Kol. 25) hie und da knapp an der Grenze des Zulässigen.

Der Ableiter *vor dem Haus* (Stange) darf etwas höhere Ansprechspannung aufweisen. Es ist aber vorteilhaft, wenn dieser nur eine sehr kleine oder besser gar keine Restspannung besitzt, sonst verschiebt er während eines langdauernden Stosses den gesamten Strom auf den anderen Ableiter im Gebäude, da dessen Erdung im allgemeinen besser ist. Der wirksamste Schutz wird erreicht, wenn der erste Ableitersatz vor dem Haus sehr kleine Restspannung aufweist, wobei etwas höhere Ansprechspannung zulässig ist («Grobschutz»), und der zweite Ableitersatz im Haus selber vor allem tiefe Ansprechspannung garantiert, wobei eine mässige Restspannung zulässig ist («Feinschutz» gegen kurzdauernde Spitzen). Derart lässt sich das Eindringen gefährlicher Ueberspannungen für Wellen bis zirka 100 kV ins Haus verhindern.

Mit *Kondensatoren im Haus* (3 μF pro Pol) statt der Ableiter verschwinden alle Ansprechspitzen. Durch das Umschwingen um die Spannung der Ableiter an der Stange werden jedoch die «langdauernden» Spannungen teilweise sogar etwas erhöht, vergleiche Auswertung der Osz. Nr. 108 ohne Kondensatoren (kurzdauernd 3,3 kV, langdauernd 2,2 kV) mit Osz. Nr. 124 mit Kondensatoren (kurzdauernd 1,4 kV, langdauernd 3,3 kV, H.Tab. I, Kol. 40).

Kondensatoren allein, ohne Ableiter in der Nähe, wirken nur für sehr kleine Ladungen (9 mC für 3 μF) als Schutz.

9. *Ansprechzähler*

Die Ansprechzähler des Typs K haben eine für Niederspannung zu hohe Restspannung von zirka 3000 V und sollten deshalb nicht zur Kontrolle von Niederspannungsableitern verwendet werden.

Die Zähler des Typs L reagieren schon bei kleinen Ladungen; da sie aber eine Sicherheits-Funkenstrecke besitzen, die bei grossen Ladungen anspricht und dabei das Zählwerksystem überbrückt, wird das Ansprechen der Ableiter nicht immer gezählt.

Die grundsätzlich für Hochspannungsnetze bestimmten Zähler des Typs M reagieren nicht bei sehr kleinen Ladungen. Das Ansprechen der Ableiter der Influenzpole zählen sie z. B. nur sehr unregelmässig. Auch bei aperiodischen Stössen kleiner Höhe (Stoss auf 4 Leiter über 500 Ω Widerstände) zeigen diese Zähler kein Ansprechen der Ableiter im Niederspannungsnetz.

Bei flachen Stössen haben 6mal alle 3 Stoss-Messbereiche angesprochen: Osz. Nr. 132, 145, 149, 187 (H.Tab. I, Kol. 19), Nr. 135 (H.Tab. I, Kol. 53), Nr. 562 (H.Tab. I, Kol. 20). Das Nachstrom-Zählwerk hat 10mal angesprochen und zwar

5mal mit Ableiter Typ X
Osz. Nr. 160, 164, 180 (H.Tab. I, Kol. 19), 629 (H.Tab. I, Kol. 20), 807 (H.Tab. II, Kol. 19)
4mal mit Ableiter Typ Y
Osz. Nr. 116 (H.Tab. I, Kol. 36), 196 (H.Tab. III, Kol. 36), 365 (H.Tab. I, Kol. 35)
1mal mit Ableiter Typ Z
Osz. Nr. 172 (H.Tab. I, Kol. 23).

10. *Spezielle Erscheinungen*

Bei der Aufnahme des Osz. Nr. 550 wurde beobachtet, dass der Verlauf der Spannung in Pol 3 ganz unregelmässig, entweder wie Osz. Nr. 550 oder Osz. Nr. 550a aussah (Fig. 24, H.Tab. I, Kol. 7).

Die Ursache dieses Vorganges liegt darin, dass die flachen Stösse *auf der Freileitung* am Fusse eine sehr kurzdauernde Spannungsspitze aufweisen, die

Ueberschläge und Defekte Tabelle VII

Bem. Nr.	Datum		Osz. Nr.	H.Tab.- u. Kol.-Nr.
1	27. III.	1 Lampe 25 W im Vorraum defekt. Ueberschlag u. Kurzschluss in d. Lampe	19	Vor-
2	„	Ueberschlag im Kochzähler EKZ 72232	26	versuche
3	4. IV.	Bei Beobachtung Ueberschläge (mit 20 kV)	vor 33	
4	„	Bei Beobachtung Ueberschlag im KO Schaltbrett	vor 46	
5	„	Bei Beobachtung 2 Ueberschläge	nach 47	
6	„	Ueberschlag in Phase 3 (Grenze)	48	
7	5. IV.	Bei Beobachtung jedesmal Ueberschläge am Kochzähler 72232. 2 Luftdistanzen Pol 1 und Pol 3 — Eisen wurden vergrössert	vor 49	
8	„	Ueberschlag am Sperrschalter	53	
9	„	Ueberschlag am Sperrschalter	55	
10	5. IV.	Ueberschlag am KO Tafel und Sperrschalter, Pol 1 und Pol 3	56	
11	13. IV.	Bei Beobachtungen, 2 Glühlampen im Schlafzimmer und 1 Sicherung beschädigt	90 bis 95	
12	18. IV.	Ueberschlag in Pol 3	114	I – 28
13	„	Ueberschlag in Pol 3	117	I – 45
		Nach dem Osz. Nr. 121 wurde in Pol 3 Gr. Parterre eine defekte Sicherung gefunden		
		Am Ende des Verusuchstages wurde festgestellt (nach dem Osz. 124): Nachttischlampe im Schlafzimmer defekt. Sichtbare Ueberschlagspuren am Umschalter im Schlafzimmer und Estrichtreppe		
14	20. IV.	Widerstandsblock des *Y*-Ableiters in Pol 3 durchgeschlagen	126	I – 23
15	„	Bei Beobachtung Widerstandsblock des *K*-Ansprech-Zählers in Pol 3 (Nr. 503) nach 3 Stössen durchgeschlagen. Widerstandsblock durch Nr. 502 ersetzt, nach 3 Stössen ebenfalls durchgeschlagen. Osz. Nr. 130 am 24. IV. mit neugebrachtem *K*-Zähler aufgenommen	vor 130	I – 11
16	24. IV.	Funkenstrecke des Z-Ableiters in Pol 3 durch Perlen überbrückt. Nach Reinigung wieder in Betrieb gesetzt	vor 133	I – 45
17	25. IV.	Wahrscheinlich Ueberschlag in Pol 3 ?	142*	I - 53 (969)
18	2. V.	Ueberschlag in Pol 3. 6-A-Sicherung der Lampe im Kellergang defekt	152	I – 40
19	„	Ueberschlag in Pol 3	161	I – 53
		Am Ende des Versuchstages (nach dem Osz. 164) wurde anhand von deutlichen Spuren Ueberschlag am Schalter im Kinderzimmer festgestellt — Lampe nicht defekt		
20	3. V.	Ueberschlag in Pol 1	168	I – 6
21	„	Ueberschlag in Pol 1	169	I – 23
22	„	Ueberschlag in Pol 1	170	I – 40
23	„	Wahrscheinlich Ueberschlag in Pol 1 ?	171	I – 6
		Während dieser Versuche Sicherungen in Glühlampen, Werkstatt, Vorkeller und Schlafzimmer geschmolzen		
24	4. V.	Ueberschlag in Pol 3 (hörbar in verschiedenen Schaltern u. im Lichtzähler)	176	I – 19
25	„	Ueberschlag in Pol 3	177	I – 53
26	„	Ueberschlag in Pol 3	178	I – 32
27	11. V.	Ueberschlag in Pol 2	190	III – 11
28	„	Ueberschlag in Pol 2	191	III – 15
29	„	Ueberschlag in Pol 2	192	III – 19
30	28. V.	Unterbruch in der Belastung Pol 1 (Bügeleisen). Nicht festgestellt, wann stattgefunden	329 bis 332	I – 5, 45 40, 53
31	„	Ueberschlag im Bügeleisen Pol 3. Meßsicherung durhgeschmolzen	331	I – 45
32	„	Unterbruch in der Belastung Pol 2 (Bügeleisen). Nicht festgestellt, wann stattgefunden	337 bis 341	I – 6, 23, 40
33	„	Bei Beobachtung während des Versuches mit Kondensatoren 3 μF pro Pol—0 und Belastung 450 W pro Pol—0 Ueberschlag	nach 341	I – 3
34	„	Bei Demonstrationen für FKH mit 2 × 1,7 kV mit und ohne Ableiter Transformator im Messwagen durchgeschlagen; 1 × 25-A-Sicherung durchgeschmolzen		
35	26. VI.	Bei Beobachtung 1 Ueberschlag (Grenze)	vor 372	I – 6
36	27. VI.	Ueberschlag in Pol 3	375	I – 53
37	27. VI.	Ueberschlag in Unterputz-Steckdose Kinderzimmer (zwischen Metallbüchse und Metallplatte). Sicherung Pol 3 durchgeschmolzen	376	I – 32
38	„	Ueberschlag in Pol 3. Sicherung Parterre durchgeschmolzen	383	I – 53
39	29. VI.	Ueberschlag in Pol 2	478	III – 54
40	„	Ueberschlag in Pol 2	479	III – 54
41	„	Wahrscheinlich Ueberschlag in Pol 2 ?	480	III – 7
42	„	Wahrscheinlich Ueberschlag in Pol 2 ?	481	III – 7
		Während dieser Versuche Sicherungen in der Messleitung Pol 2 geschmolzen		
43	„	Wahrscheinlich Ueberschlag in Pol 3 ?	491	III – 3
44	„	Wahrscheinlich Ueberschlag in Pol 2	493	III – 24
45	„	Wahrscheinlich Ueberschlag in Pol 2 ?	494	III – 7
46	„	Wahrscheinlich Ueberschlag in Pol 2 und Pol 3 ?	495	III – 7

Bem. Nr.	Datum		Osz. Nr.	H.Tab.- u. Kol.-Nr.
47	2. VII.	Bei Beobachtung Ueberschläge im Lichtzähler zwischen Steuerdrahtklemmen und Nulleiterdraht	vor 518	III – 7
48	»	Bei dem Osz. Nr. 525 festgestellt, dass ein Bügeleisen nicht warm wird	519, 521, 523	III – 7,24
49	„	Ueberschlag in Pol 3	532	III – 41
50	„	Ueberschlag in Pol 3 (wahrscheinlich im Bügeleisen ?)	537	III – 33
51	„	Ueberschlag in Pol 3	538	III – 54
52	„	Ueberschlag in Pol 3 (wahrscheinlich im Bügeleisen ?)	539	III – 54
53	4. VII.	Ueberschlag in Pol 3	584	I – 54
54	„	Ueberschlag im Bügeleisen, Pol 3	585	I – 54
55	„	Bei Beobachtung Ueberschlag in Pol 3; Lampe WC 1. Stock defekt	590	I – 7
56	„	Ueberschlag in Pol 3	624	I – 24
57	„	Ueberschlag in Pol 3	626	I – 41
58	„	Ueberschlag in Pol 3	627	I – 41
59	„	Ueberschlag in Pol 3	628	I – 20
		Ueberschlag war vermutlich irgendwo in Gruppe I. Stock. Von Osz. Nr. 629 bis 634 Gr. I. Stock abgeschaltet		
60	„	Ueberschlag in Pol 3	633	I – 54
61	„	Ueberschlag im Bügeleisen, Pol 3	634	I – 54
62	6. VII.	Irgendwo in der Messanordnung (KO ?)	680, 7, 8	I – 8, 25
		Ueberschläge vermutet	691, 3, 6	I – 8,25, WC
		(Oszillogrammbild des Nulleiters)	700-717	I–8, 25, 42, WC
63	„	Ueberschlag in Pol 3	692	I – 25
64	„	Ueberschlag in Pol 3	694	I – 42
65	„	Ueberschlag in Pol 2 und Pol 3, Sicherung von Bügeleisen defekt	703	I – 8
66	„	Ueberschlag in Pol 3	704	I – 25
67	„	Ueberschlag in Pol 3	706	I – 42
68	9. VII.	Ueberschlag in Pol 3 Gruppe I. Stock bis Osz. Nr. 759, abgeschaltet	733	I – 41
69	21. VIII.	Ueberschlag in Pol 2	783	II – 5
70	„	Ueberschlag in Pol 2	789	II – 18
71	„	Ueberschlag in Pol 3	801	II – 6
72	„	Ueberschlag in Pol 3	802	II – 6
73	„	Ueberschlag in Pol 3, Bügeleisen	806	II – 3
74	22. VIII.	Ueberschlag in Pol 3, Kinderzimmer	827	II – 40
75	„	Ueberschlag in Pol 2 (sehr wahrscheinlich)	849	II – 6
76	„	Ueberschlag in Pol 2 (sehr wahrscheinlich)	850	10c
77	„	Bei Beobachtung Ueberschläge (keine Aufnahme)	nach 851	II – 40
78	24. VIII.	Bei Beobachtung hie und da Ueberschläge in allen 3 Phasen	vor 891	II – 20
79	„	Ueberschlag in Pol 3	802	II – 3
80	„	Ueberschlag in Pol 3 (Haus)	922	II – 25
81	30. VIII.	Bei Beobachtung Ueberschlag (Isoliertransformator an der Messwagenstange ?)	vor 954	I – 3
82	„	Bei Beobachtung Ueberschlag in Pol 3. Sicherung Part. durchgeschmolzen	vor 955	Tab. 10c
83	31. VIII.	Bei Beobachtung Ueberschläge im Lichtzähler. Sicherung Parterre durchgeschmolzen	vor 957	Tab. 10c

im Oszillogramm nicht sichtbar ist, weil sie in der Hausinstallation nicht auftritt, da sie von ihrer Kapazität verschluckt wird. Diese Spitze kommt von der kapazitiven Kupplung zwischen Stossgenerator und Leitung (direkt durch die Luft oder zwischen den Windungen der Drosselspule). Bringt eine solche Spitze den Ableiter zum Ansprechen, so verläuft die Spannung nach Osz. Nr. 550a. Verpasst aber der Ableiter diese kurze Gelegenheit, so muss sich die gesamte Leitung und Installation bis auf die Ansprechspannung aufladen. Mit dem Ansprechen des Ableiters entlädt sich die Installation in einer gedämpften Schwingung.

Die gleiche Ursache erklärt den Unterschied zwischen Osz. Nr. 544 und 544a.

11. Schwache Stellen der Hausinstallation

Die Hausinstallation, die 1939 gebaut wurde, zeigt höhere Festigkeit als diejenige in Wetzikon, trotzdem der Isolationswiderstand nicht sehr hoch war. Die Drähte waren besonders im Winter sehr feucht. Die Ueberschläge fanden aber nicht an besonders feuchten Orten, sondern fast immer an Schaltern, Abzweigdosen, Lampen oder Apparaten statt.

Viele Ueberschläge wurden an einem *Schalter* festgestellt, der dabei überbrückt wurde, die in Serie geschaltete Lampe einschaltete und zur Zerstörung brachte (Fig. 11).

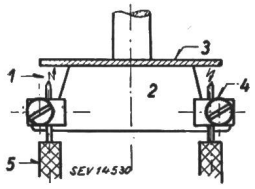


Fig. 11

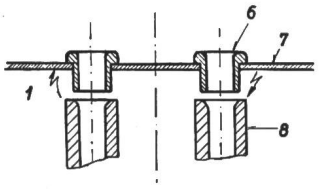


Fig. 12

1 Ueberschlag; *2* Steatitkörper; *3* Metallplatte; *4* Klemme; *5* Draht; *6* Schutzhülsen; *7* Unterputzplatte; *8* Steckhülsen.

Der Fehler liegt sowohl an der Konstruktion (zu kleine Abstände) als auch am Installateur, der die blanken Drahtspitzen zu weit vorstehen liess (kleine Details!).

An einer *Steckdose* entstand in ähnlicher Weise ein Ueberschlag von einer Steckhülse auf die Unter-

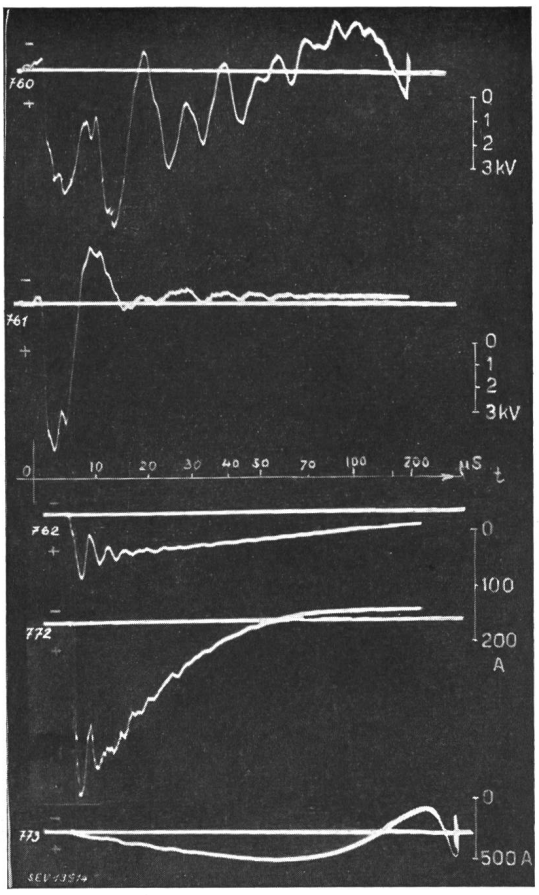


Fig. 13

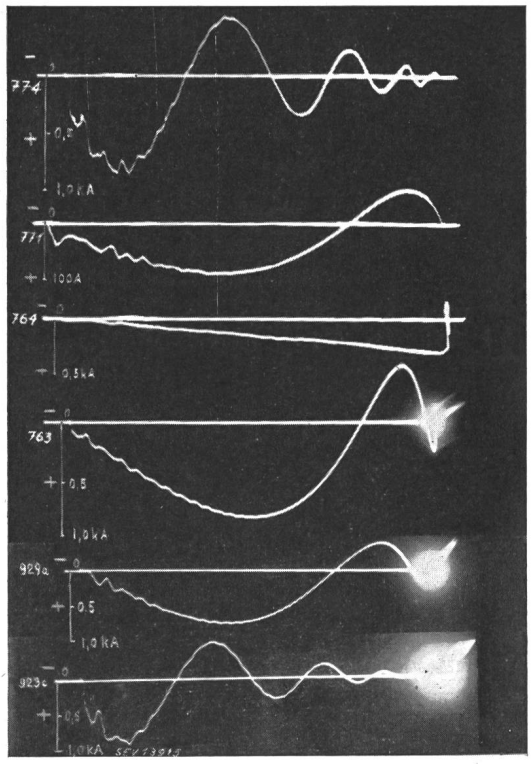


Fig. 14

Fig. 13 und 14

Bestimmung der Leitungskonstanten und Wellenform

a) *offene Leitung:* Messung der Spannung am Ende der Leitung in Pol 3, Punkt *F*, ohne Hausinstallation, Ableiter nur in *A*.

Osz. Nr. 760: Direkter Stoss auf Pol 3 ($\hat{u}_G$ = 4 kV; C_G = 2,1 µF)

761: Stoss auf 4 Leiter über je 500 Ω ($\hat{u}_G$ = 12 kV; C_G = 2,1 µF)

b) *kurzgeschlossene Leitung:* Messung des Stromes im Punkt *B*, ohne Hausinstallation, Ableiter nur in *A*.

		$\hat{u}_G$ = kV	C_G = µF
Osz. Nr. 762:	Stoss auf 4 Leiter über je 500 Ω Summenstrom von 3 Polen	30	2,1
772:	Stoss auf 4 Leiter über je 500 Ω Summenstrom von 3 Polen	120	0,131
773:	Stoss auf Pol 3 über 6 mH Strom Pol 3	120	0,131
774:	Direkter Stoss auf Pol 3 Strom Pol 3	120	0,131
771:	Stoss auf 4 Leiter über je 500 Ω und 6 mH Summenstrom von 3 Polen	120	0,131
764:	Stoss auf Pol 3 über 6 mH Strom Pol 3	30	2,1
763:	Direktor Stoss auf Pol 3 Strom Pol 3	30	2,1
929a:	Direkter Stoss auf 4 Leiter Summenstrom von 3 Polen	30	2,1
923c:	Direkter Stoss auf 4 Leiter Summenstrom von 3 Polen	120	0,131

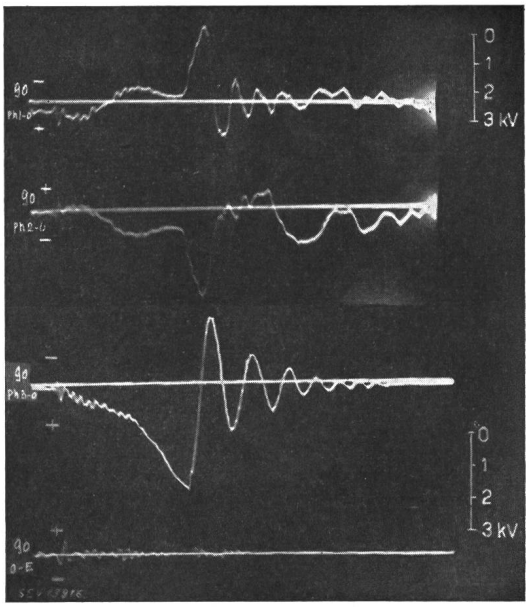


Fig. 15
Vergleich des Spannungsverlaufs in den 3 Polen und im Nulleiter
(Osz. Nr. 90)
Stoss über 6 mH auf Pol 3 ($\hat{u}_G$ = 10 kV; C_G = 2,1 µF)
Ableiter Typ *X* in *B*, Hausinstallation ohne Belastung.
(Siehe Haupttabelle I, Kolonne Nr. 5, flache Wellen)

putzplatte und von dieser Platte wieder auf die andere Hülse (Fig. 12).

Bei *Glühlampen* wurde am häufigsten der Glühfaden beim Anschluss an den Zuführungsdrähten zerstört. Einige Lampen zeigten Kupferniederschläge auf dem Glas (Perlen zirka 1...2 mm ⌀). Die Erscheinung wurde bei anderweitigen Versuchen abgeklärt: In gasgefüllten Lampen liegt nämlich die innere Durchschlagspannung der eingeschalteten Lampen sehr tief, so dass die brennenden Lampen als Ableiter wirken!

Im *Lichtzähler* gab es mehrmals Ueberschläge zwischen einer Steuerdraht-Klemme und Nulleiterdraht, aber ohne weitere Beschädigung des Appa-

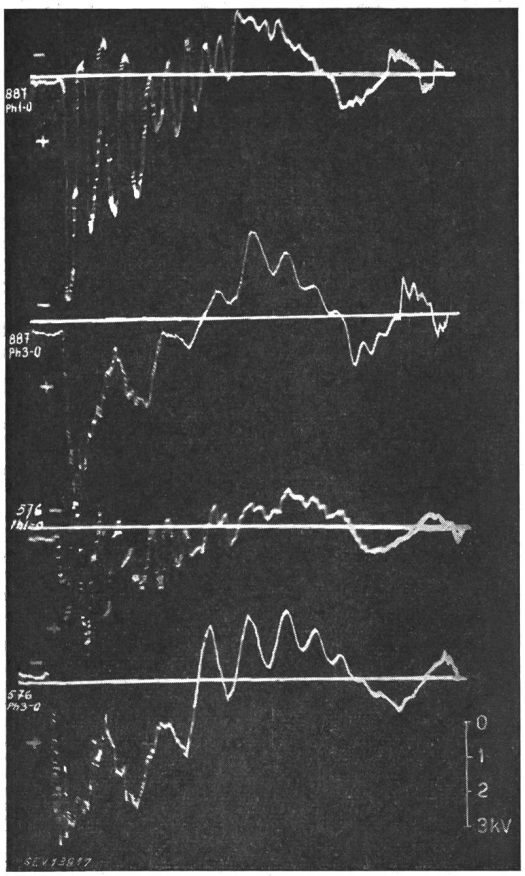


Fig. 16

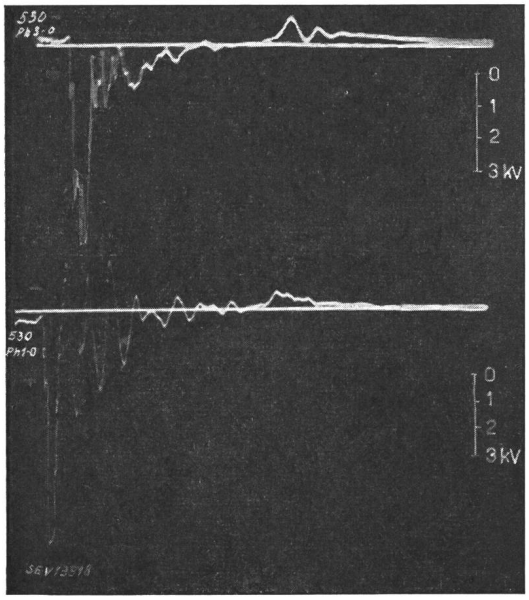


Fig. 17

Fig. 16 und 17

Vergleich der Versuchs-Variante a

Osz. Nr.

576: *Direkter Stoss auf 1 Leiter (Pol 3)* (Haupt-Tab. I, Kol. 24)

887: *Direkter Stoss auf 4 Leiter* (Haupt-Tab. II, Kol. 24)

530: *Stoss auf 4 Leiter über je 500 Ω* (Haupt-Tab. III, Kol. 24)

Ableiter Typ *Y* in *B*: $\hat{u}_W$ = 60 kV; C_G = 0,53 μF; steile Welle; Vergleich Pol 1 und Pol 3.

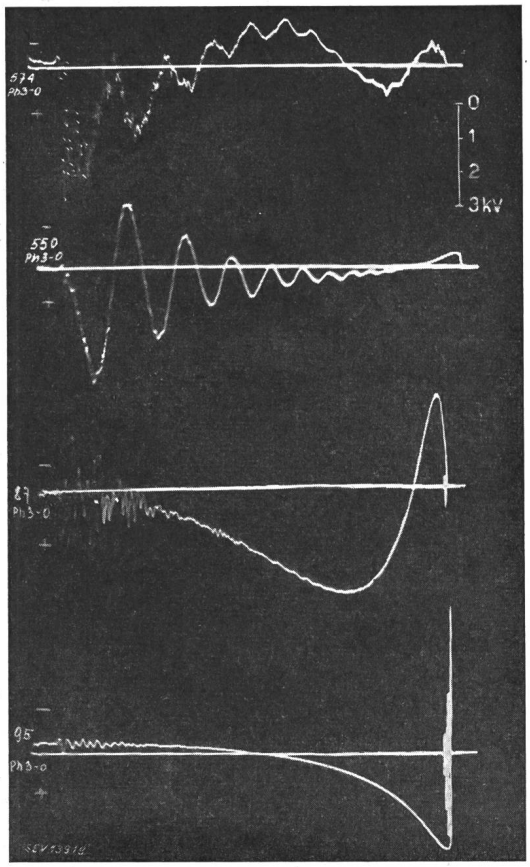


Fig. 18

Vergleich der Versuchs-Variante b

Osz. Nr.

574, 87: *Steile Wellen*

550, 95: *Flache Wellen*

574, 550: (Haupt-Tab. I, Kol. 7); $\hat{u}_G$ = 60 kV, Ableiter Typ *X* in *B*

87, 95: (Haupt-Tab. I, Kol. 2): $\hat{u}_G$ = 10 kV; Kondensatoren 3 μF in *C*

rates. Durch Zurechtdrücken der blanken Zuleitungsdrähte wurde eine schwache Stelle im Innern eines Zählers behoben, die vorher zu einigen Kurzschlüssen geführt hatte.

Die *Bügeleisen*, die als Installations-Belastung dienten, verursachten oft Ueberschläge an der mangelhaften Isolation und Unterbrüche im Heizkörper, die offenbar als Folge von Ueberschlägen entstanden.

Im übrigen wird hierzu auf Tabelle VII verwiesen, in der alle Beobachtungen über Defekte und Ueberschläge zusammengestellt sind.

Eine Verschlechterung der Installation durch die sehr ausgedehnten Versuche liess sich weder durch die Messung des Isolationswiderstandes (Tabelle II) noch durch die Messung der Isolationsfestigkeit (Tabelle III) nachweisen. Aus den üblichen Widerstandsmessungen ergibt sich sogar fast durchwegs eine Zunahme des Widerstandes im September 1945 auf das Mehrfache des Wertes im Februar 1945, was daraus verständlich ist, dass mit dieser Methode lediglich die Feuchtigkeit der Installation festgestellt wird.

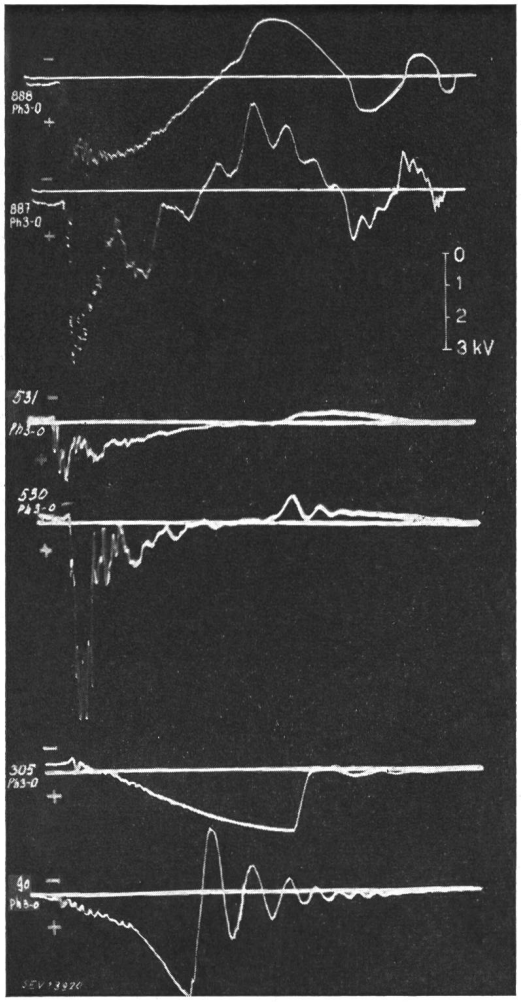


Fig. 19

Fig. 19 (links)
Vergleich der Versuchs-Variante c

Osz. Nr.
888, 531, 305: *mit Belastung 450 W pro Phase*
887, 530, 90: *ohne Belastung*
888, 531: (Haupt-Tab. II, Kol. 24) $\hat{u}_W$=56 kV; Ableiter Typ *X* in *B*
531, 530: (Haupt-Tab. III, Kol. 24) $\hat{u}_W$=55 kV; Ableiter Typ *X* in *B*
305, 90: (Haupt-Tab. I, Kol. 5) $\hat{u}_G$ =10kV; flache Welle, Ableiter Typ *X*

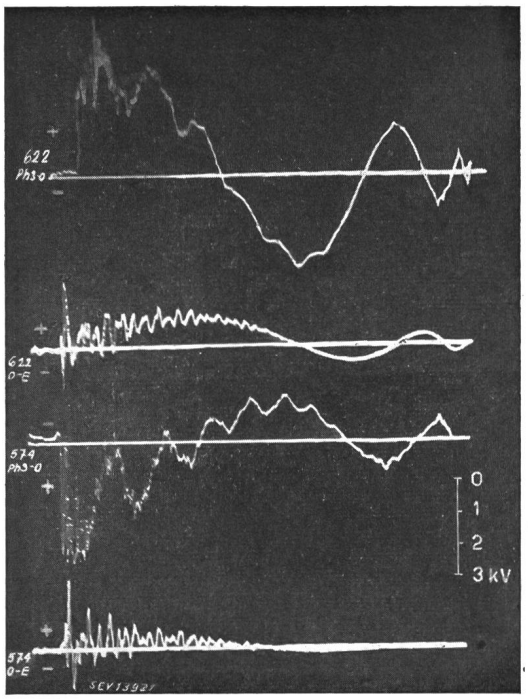


Fig. 20

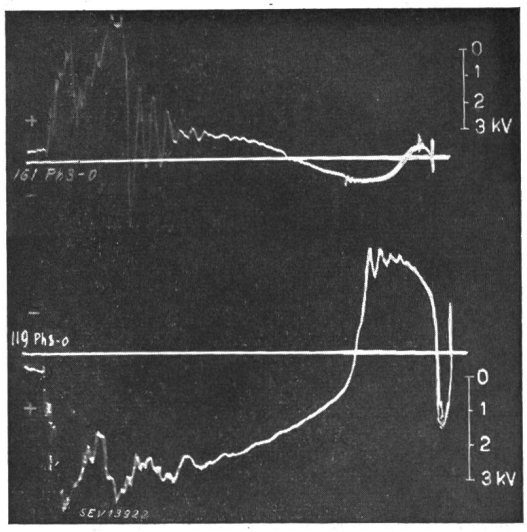


Fig. 21

Fig. 20 und 21
Vergleich der Versuchs-Variante d

Osz. Nr.
622, 161: Erdungswiderstand der Ableiter: 12 Ω (mit Nulleiter verbunden)
574, 119: Erdungswiderstand der Ableiter: 0,35 Ω
622, 574: (Haupt-Tab. I, Kol. 7) $\hat{u}_W$ = 59 kV, Ableiter Typ *X*
161, 119: (Haupt-Tab. I, Kol. 53) $\hat{u}_W$ = 30 kV, Ableiter Typ *Z* mit Zähler *M*
161: Ueberschlag (Bemerkung Nr. 19, Tab. VII)

IX. Zusammenfassung

In Uitikon am Albis wurden Stossversuche an einer zirka 800 m vom Dorf entfernten einzelnen Hausinstallation durchgeführt. Der Stossgenerator befand sich etwa in der Mitte zwischen Dorf und Haus. Die Spannung im Haus wurde oszillographisch registriert. Die durch Ableiter oder Kondensatoren geschützte Isolation wurde geprüft mit verschiedenen Stössen, bei verschiedenen Anordnungen, z. B.:

Stösse auf 1 Leiter
Stösse auf 4 Leiter
Schwingende Ströme
Aperiodische Ströme (gedämpft mit Widerständen)
Steile und flache Stösse (durch Serieschaltung von Drosselspulen)
bei 3, 10, 30, 60 und ca. 100 kV Stoss-Scheitelwert.

Als Schutzmassnahmen wurden untersucht:

3 Ableiter-Typen (Schweizer-Fabrikate) (1 Typ ohne, 2 mit Restspannung)
Kondensatoren 3 μF oder 0,1 μF (Störschutzkondensatoren)
Ableiter ca. 60 m vor dem Haus
Ableiter oder Kondensatoren im Haus selbst
Gute oder schlechte Erdungen
Nulleiter mit Ableitererdungen verbunden oder getrennt
Installation ohne oder mit Belastung

Ausserdem wurden 3 Ansprechzähler-Typen versuchsweise eingebaut.

Die Messungen zeigen, dass bei steilen Stössen (50 kV mit zirka 1 μs Front) und einfachem Schutz

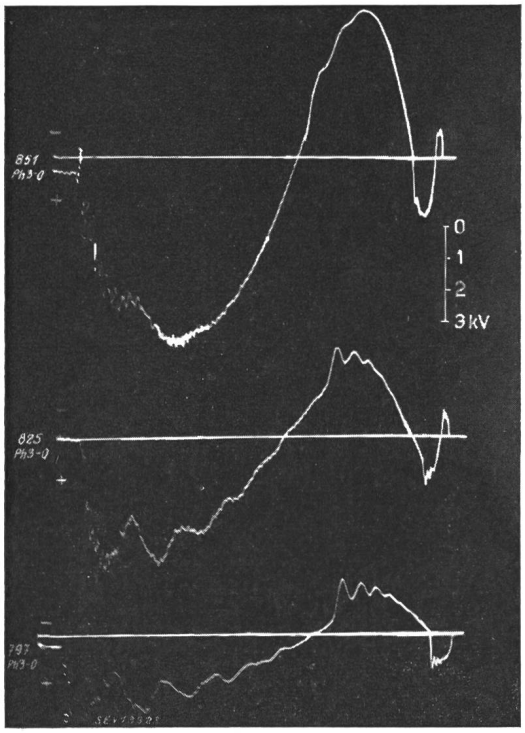


Fig. 22
Vergleich der Versuchs-Variante e

Osz. Nr.
851: Erdung der Ableiter in *B* (12 Ω) vom Nulleiter *getrennt*
825: Erdung der Ableiter in *B* (12 Ω) mit Nulleiter *verbunden*
797: Erdung der Ableiter in *B* (0,3 Ω) mit Nulleiter *verbunden*
(Haupt-Tab. III, Kol. 23) $\hat{u}_W$=29 kV, auf 4 Leiter, Ableiter Typ *Y* in *B*

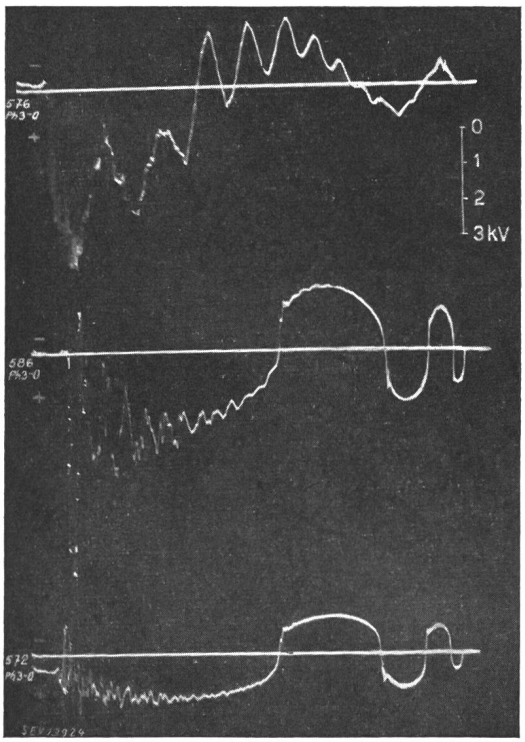


Fig. 23
Vergleich der Versuchs-Variante f

Osz. Nr.
576: Ableiter Typ *Y* in *B*
586: Ableiter Typ *Y* in *C*
572: Ableiter Typ *Y* in *B* und *C*
(Haupt-Tab. I, Kol. 24) $\hat{u}_W$ = 59 kV, auf Pol 3

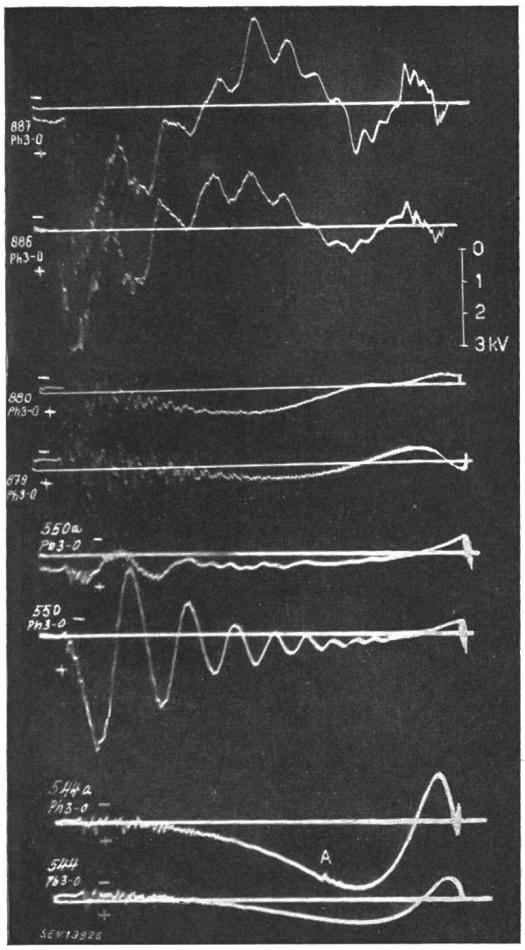


Fig. 24
Vergleich der Wirkung der Kondensatoren in Haus

Osz. Nr.
886, 887, 550 : Ableiter in *B*, *ohne Kondensatoren in C*
879, 880, 544a: Ableiter in *B*, *mit Kondensatoren in C*

886, 879 : (Haupt-Tab. II, Kol. 7) Ableiter Typ X, steile Welle
887, 880 : (Haupt-Tab. II, Kol. 24) Ableiter Typ *Y*, steile Welle
550, 544a: (Haupt-Tab. I, Kol. 7) Ableiter Typ X, flache Welle
550, 550a: Genau gleiche Anordnung, siehe Kapitel: Spezielle Erscheinungen
544, 544a: dito.

kurzdauernde Spannungsspitzen von 6...10 kV im Haus auftreten, unabhängig vom verwendeten Ableiter-Typ. Diese Spitzen werden vom induktiven Spannungsabfall im Ableiterzweig (Ableitererdung samt Zuleitung) erzeugt; sie liessen sich nur durch Doppelschutz (zweiter Ableitersatz oder Kondensatoren im Haus) vermeiden.

Flache Stösse geben im allgemeinen keine grössern Ueberspannungen als solche von der Höhe der Ableiter-Ansprechspannung oder der Ableiter-Restspannung. Dazu treten Erdungsspannungen, sofern der Nulleiter im Gebäude nicht geerdet ist.

Die Belastung der Installation (450 W zwischen jedem Pol und Nulleiter) dämpft die Schwingungen in der Installation stark und wirkt sich stets günstig aus.

Ueberschläge traten fast ausschliesslich an den Apparaten, z. B. Bügeleisen, Lichtzähler, Klingel-

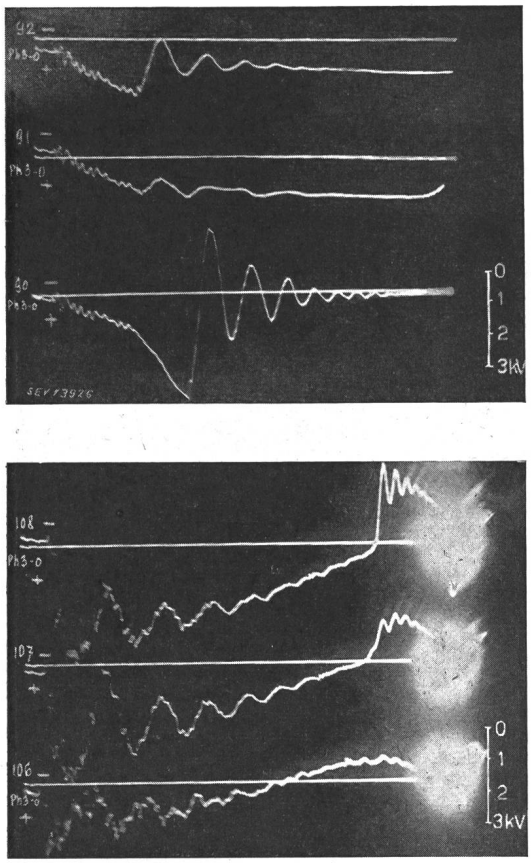


Fig. 25
Vergleich der Versuchs-Variante g (Ableiter in B)

Osz. Nr.
106, 90: *Ableiter Typ X* (Haupt-Tab. I, Kol. 6, bzw. 5)
107, 91: *Ableiter Typ Y* (Haupt-Tab. I, Kol. 23, bzw. 22)
108, 92: *Ableiter Typ Z* (Haupt-Tab. I, Kol. 40, bzw. 39)
106, 107, 108: Steile Wellen $\hat{u}_G = 30$ kV
90, 91, 92: Flache Wellen $\hat{u}_G = 10$ kV

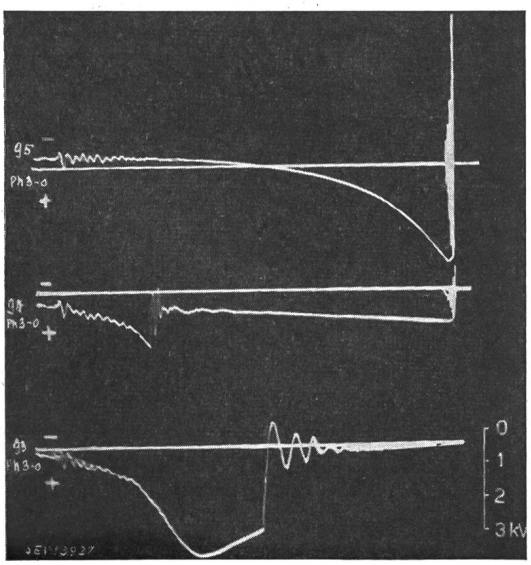


Fig. 26
Vergleich der Versuchs-Variante g (Ableiter in *C*)

Osz. Nr. 93: *Ableiter Typ X* (Haupt-Tab. I, Kol. 5)
94: *Ableiter Typ Y* (Haupt-Tab. I, Kol. 22)
95: *Kondensatoren 3 μF* (Haupt-Tab. I, Kol. 2)
Flache Wellen $\hat{u}_G = 10$ kV

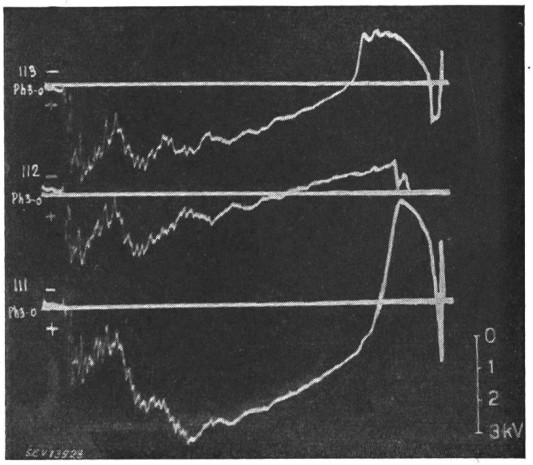


Fig. 27
Vergleich der Versuchs-Variante h

Osz. Nr. 111: *Ansprechzähler Typ K* (Haupt-Tab. I, Kol. 11)
112: *Ansprechzähler Typ L* (Haupt-Tab. I, Kol. 15)
113: *Ansprechzähler Typ M* (Haupt-Tab. I, Kol. 19)
Steile Wellen, $\hat{u}_W = 30$ kV, Ableiter Typ *X* (ohne Restspannung)
Siehe Osz. *Nr. 106, Fig. 28 ohne Ansprechzähler*

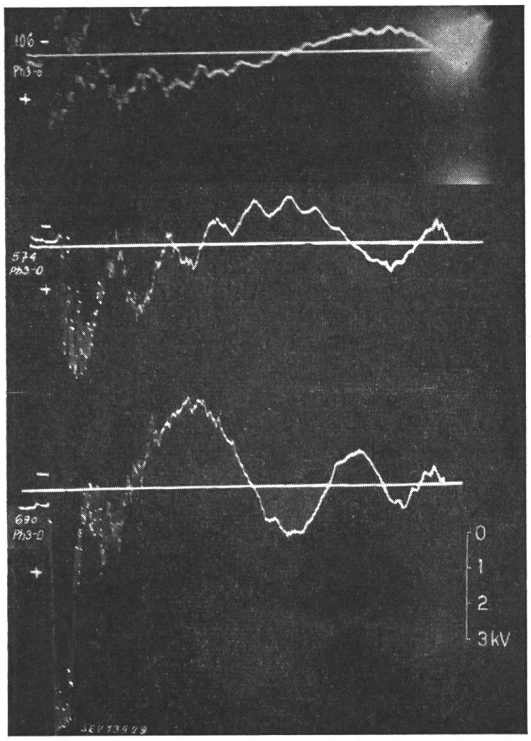


Fig. 28
Vergleich der Versuchs-Variante i

Osz. Nr.
106: *Ankommende Welle* $\hat{u}_W = 30$ *kV* (Haupt-Tab. I, Kol. 6)
574: *Ankommende Welle* $\hat{u}_W = 59$ *kV* (Haupt-Tab. I, Kol. 7)
690: *Ankommende Welle* $\hat{u}_W = 113$ *kV* (Haupt-Tab. I, Kol. 8)
Steile Wellen, Ableiter Typ *X* in *B*

NB. Die Zeitkonstante der Zeitablenkung des KO ist bei allen gezeigten Osz. $T = 57$ μs. Zeit-Maßstab: siehe Fig. 13.

Fig. 29

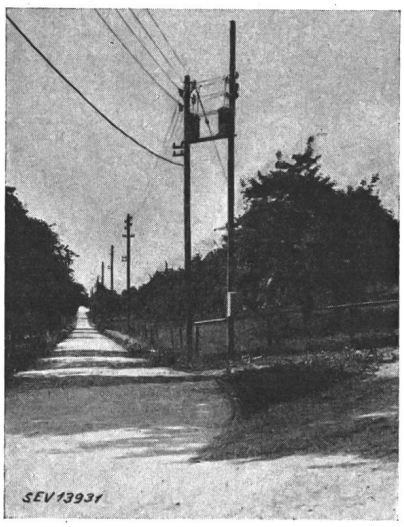
a	Prüfobjekt Haus Blickensdorfer	Punkt *C*
b	Isoliertransformatoren und Ableiter beim Dorf .	Punkt *A*
c	Ableiterstange ca. 60 m vor dem Haus	Punkt *B*
d	Kasten mit Ableitern und Ansprechzählern . . .	Punkt *B*

Fig. 30

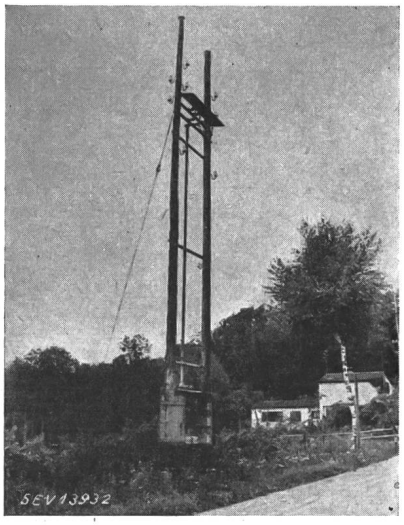
a und *b*	Stossgenerator	Punkt *G*
c	Messwagen mit dem KO	Punkt *F*
d	Anstossgenerator zur Auslösung des Stossgenerators	Punkt *G*

a

b



c



d

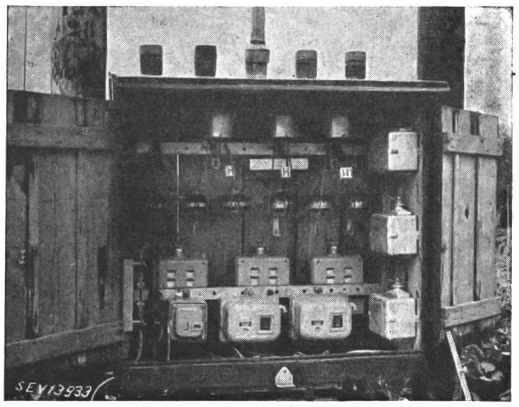
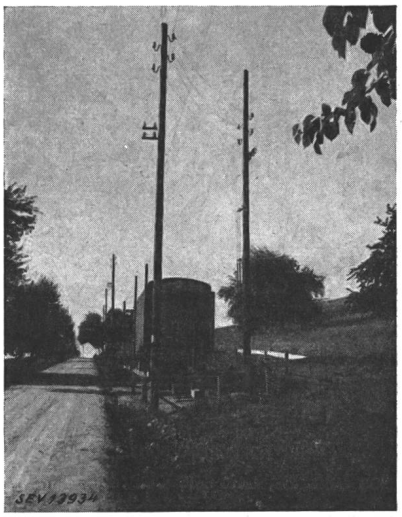
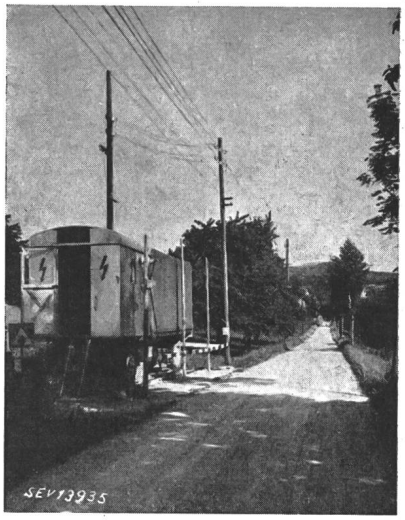


Fig. 29.

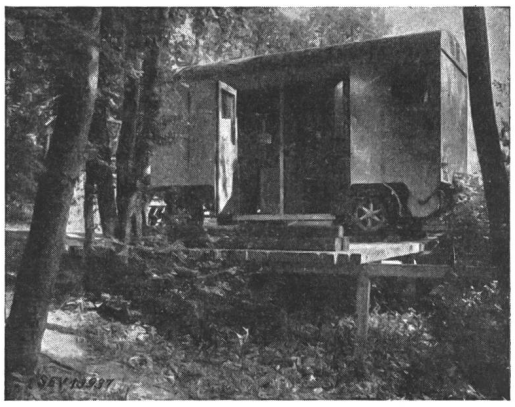
a



b



c



d

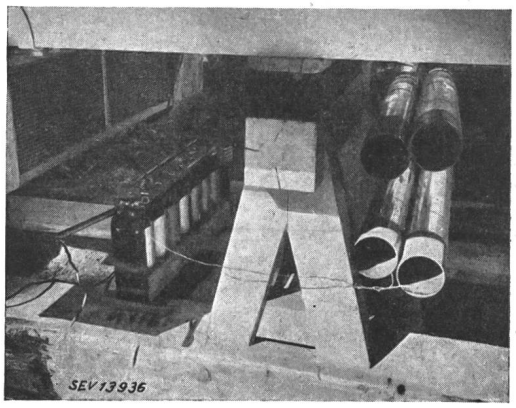


Fig. 30.

transformatoren, Lampen, Schalter und Steckdosen auf, nie in den festen Leitungen. Sie waren nie feuergefährlich.

Der Bericht soll nicht abgeschlossen werden, ohne der Direktion der EKZ und speziell den Herren Vizedirektor Wüger, Altherr und Kuhn für ihre tatkräftige Mithilfe zur Organisation und Durchführung der Messungen unsern wärmsten Dank auszusprechen.

Adressen der Autoren:
Dr. *K. Berger*, Versuchsleiter der FKH, Seefeldstrasse 301, Zürich 8, und
R. Pichard, Elektrotechniker, Seefeldstrasse 301, Zürich 8.

Résultats des essais entrepris à Wetzikon et Uitikon au sujet de la protection des installations intérieures contre les surtensions d'origine atmosphérique

Par *K. Berger*, Zurich

(Communication de la Commission de l'ASE et de l'UCS pour l'étude des questions relatives à la haute tension, FKH)

621.315.37 : 621.316.93

(Traduction)

1. Avant-propos

Durant les orages, des surtensions peuvent se produire dans les réseaux de lignes aériennes, soit par des effets capacitifs ou inductifs de la foudre tombant à proximité des lignes (coups de foudre indirects), soit par des coups de foudre qui atteignent directement une ligne (coups de foudre directs).

Dans les réseaux entièrement souterrains, des surtensions de ce genre ne se produisent pas, mais les câbles posés dans le terrain rocheux sont des fois abîmés par la foudre.

Les surtensions se propagent le long de la ligne aérienne et atteignent les installations intérieures, où elles peuvent causer des dommages et des interruptions de service. Pour lutter contre ces surtensions, on prévoit des parafoudres, dont le but est de permettre aux surtensions de s'écouler à la terre.

La Commission de l'ASE et de l'UCS pour l'étude des questions relatives à la haute tension (FKH) a procédé à des essais dans deux installations intérieures du réseau des Entreprises Electriques du Canton de Zurich, essais qui ont conduit aux résultats essentiels indiqués ci-après. Les bons résultats obtenus jusqu'ici avec des parafoudres basse tension convenablement installés concordent d'ailleurs avec les résultats de ces essais.

2. Nécessité d'une protection des installations intérieures contre les surtensions d'origine atmosphérique

A. Généralités

La protection d'une installation intérieure contre les surtensions d'origine atmosphérique est généralement indiquée dans les cas suivants:

a) Lorsqu'une expérience de plusieurs années a démontré que les surtensions dues aux orages ont causé des dommages.

b) Lorsque les interruptions de service dues à des surtensions d'origine atmosphérique ont des conséquences particulièrement graves.

c) Lorsque, dans de nouvelles installations disposées d'une manière analogue à des installations reconnues comme défavorables, il y a lieu à s'attendre à des dommages causés par la foudre.

Remarques

concernant a) et b): C'est surtout le fournisseur d'énergie électrique qui a une expérience dans ce domaine.

Les dommages typiques causés par des surtensions sont:

1° Fusion de coupe-circuit au cours d'orages.

2° Perforations ou contournements de compteurs, transformateurs de sonnerie, lampes, moteurs, etc., durant les orages.

3° Eclatement de socles de coupe-circuit, déformation de boîtiers de compteurs, qui fournissent la preuve que des coups de foudre ont atteint directement le réseau aérien de distribution à basse tension.

concernant c): Une disposition analogue veut dire avant tout que l'immeuble est situé dans une position analogue dans le réseau à basse tension, surtout en ce qui concerne les cas particuliers indiqués ci-après, sous *B.*

B. Cas particuliers

a) Les expériences faites, dans leurs réseaux, par les entreprises électriques, de même que les considérations théoriques basées sur les essais de Wetzikon et d'Uitikon, montrent qu'une protection contre les surtensions est surtout nécessaire pour les immeubles ou groupes d'immeubles branchés à de longues lignes aériennes, *à des endroits très éloignés de postes de transformateurs.*

b) Par contre, *dans les postes de transformateurs*, une protection contre les surtensions du côté basse tension n'est pas nécessaire lorsque le point neutre du système à basse tension se trouve directement à la terre et que la puissance nominale des transformateurs basse tension est d'au moins 50 ou 100 kVA, la première de ces valeurs s'entendant pour des transformateurs à couplage en zigzag, la seconde pour un couplage en étoile.

Remarques

1° Dans le cas b), l'impédance de l'enroulement basse tension est si faible, par rapport aux ondes de surtension affectant tous les pôles, que ces ondes peuvent s'écouler par l'enroulement au point neutre mis à la terre, sans provoquer de chute de tension appréciable.

2° L'effet de la mise à la terre du point neutre des transformateurs dans les stations se fait sentir d'autant moins loin que les ondes de surtension dans la ligne aérienne sont plus raides (cf. Bull. ASE 1941, N° 25).

3° Le danger que courent certains hameaux éloignés est, en outre, également plus grand en raison du peu d'importance de la capacité des installations électriques de ces immeubles ou groupes d'immeubles. On sait en effet qu'une capacité importante est susceptible d'une certaine protection.

3. Principes de l'installation de parafoudres dans les réseaux à basse tension

Afin d'assurer une protection aussi efficace que possible, il y a lieu d'observer les principes suivants, lors de l'installation de parafoudres:

A. Schéma du réseau (mise au neutre ou mise à la terre directe) [1]

a) Dans les *réseaux mis au neutre* (fig. 1), un parafoudre doit être monté entre chaque pôle et le neutre; au même endroit, le neutre doit être relié, par le plus court chemin, à une bonne terre, si possible à une canalisation d'eau située à proximité.

[1]) voir également l'article 26 de l'Ordonnance sur les installations à fort courant.