

2. Seit Anfang der 70er Jahre wurde von Bocksberger und Schreyer ein sog. Heuwehrgerät entwickelt. Dieses besteht aus einem leistungsstarken Gebläse, das sowohl auf Absaugen von Heißluft als auch auf Zuführen von Kaltluft umgestellt werden kann. An das Gebläse werden sechs mit zahlreichen Bohrungen versehene Rohrsonden angeschlossen, um das Erhitzungszentrum herum in den Futterstock eingeführt und die brandgefährlichen Gase aus dem Futterstock abgesaugt.

Einsatz des Heuwehrgerätes

Zunächst ist die Gefahrenstelle im Futterstock durch mehrfache Temperaturmessung abzugrenzen.

Werden Temperaturen von mehr als 70 °C festgestellt, wird durch die Rohrsonden etwas Wasser in den Bereich des Erhitzungsherd gepumpt, um die Entzündungsgefahr der Gase im Heustock zu vermindern.

Ist dies geschehen, oder werden bei der Messung zur Abgrenzung der Gefahrenstelle nur Temperaturen unter 70 °C gemessen, wird die heiße Luft abgesaugt. Im Absaugungsbereich ist die Temperaturveränderung ständig zu kontrollieren.

Sinkt die Temperatur unter 45 °C, wird das Gerät umgeschaltet und Kaltluft in den Futterstock geblasen, um

eine weitere wirksame Abkühlung zu erreichen.

Ist die Temperatur im Bereich der Erhitzungsstelle unter 30 °C abgesunken, kann der Vorgang abgebrochen werden. Die Temperaturen sollten jedoch am folgenden Tag weiterhin kontrolliert werden, um sich zu vergewissern, daß eine endgültige Abkühlung eingetreten ist.

Gegenüber dem Verfahren der Abtragung des Futterstockes hat das Heuwehrgerät den Vorteil, daß für die Bedienung nur zwei Personen notwendig sind und daß das Futter weiterverwendet werden kann.

Das Heuwehrgerät hat sich in den vergangenen Jahren gut bewährt.

Zusammenfassung

Die Selbsterwärmung von Heu und Öhmd beruht auf einem natürlichen biochemischen Vorgang, der in jedem Futterstock stattfindet. Durch Vorsorgemaßnahmen, z. B.

bei der Heu- bzw. Öhmd-Ernte,

bei der Einlagerung der Futtervorräte,

durch regelmäßiges Messen der Futterstocktemperaturen,

kann ein Landwirt verhindern, daß die Selbsterwärmung zu einer Selbstentzündung führt.

Für die Beschaffung der hierzu notwendigen Heumeßsonden geben die Gebäudeversicherer Zuschüsse. Wer keine eigene Sonde hat, kann eine solche bei der Feuerwehr oder einer anderen kommunalen Einrichtung kostenlos ausleihen.

Eine rechtzeitig erkannte Selbstentzündungsgefahr kann von der Feuerwehr beseitigt werden.

Es liegt nun an jedem Landwirt selbst, durch verantwortungsbewußtes Handeln einen Schaden als Folge einer Futterstockselbstentzündung zu verhindern.

Literaturhinweise:

1. Dr. Jach: Heuselbstentzündung, ihre Entstehung, Nachweis und Verhütung — „schadenprisma“ Heft 2/1976
2. Enno Peters: Entwicklung und Einsatz des Heumeßgerätes „Aurich“ — „schadenprisma“ Heft 2/1973
3. Dr. Jach: Über praktische Einsatz Erfahrungen mit dem Heuwehrgerät — „schadenprisma“ Heft 2/1973
4. Merkblatt der Württ. Gebäudebrandversicherungsanstalt Stuttgart „Heu bedeutet Gefahr, wenn es nicht überwacht wird“ / 1978

Schutzmaßnahmen gegen Überspannungen

Walter Wessel

Einleitung

Den Statistiken der Sachversicherer ist zu entnehmen, daß die Zahl der Überspannungsschäden durch indirekte Blitzeinwirkung die Schäden durch direkten Blitzschlag um ein Vielfaches überschritten hat. Auch sind die Kosten der angerichteten Schäden durch indirekte Blitzeinwirkung in den letzten Jahren besorgniserregend hoch geworden. Eine weitere Steigerung ist unverkennbar. Der Grund hierfür dürfte die schon seit Jahren festzustellende Tendenz der Wirtschaft sein, eine Konzentration ihrer Produktions-

stätten vorzunehmen. Dieser Trend ist zwischenzeitlich auch in anderen Bereichen zu beobachten, z. B. große Verwaltungszentren, Schulen und Krankenhäuser von beträchtlichem Ausmaß mit hoher Wertkonzentration und subtilen Anlagen.

Der Einzug der elektrischen Energie in alle Lebensbereiche führte ebenfalls zwangsläufig zu einem Anstieg der Schäden durch Überspannungen, insbesondere dann, wenn elektronische Bauteile eingesetzt werden; denn den vielen Vorzügen der Elektronik steht eigentlich nur der Nachteil der Empfindlichkeit der Halbleiter gegen Überspannungen gegenüber. Führten bei den früheren elektronischen Bauteilen kurzzeitige Spannungsspitzen noch nicht zur Zerstörung, so sind die kom-

plexen Bauelemente, die sich heute auf dem Markt befinden, schon bei relativ geringen Überspannungen gefährdet. Die Funktionssicherheit der Geräte ist in diesem Fall nicht mehr gegeben. Im allgemeinen muß man mit einem Totalausfall der Anlage rechnen.

Es werden jedoch nicht nur elektronische Geräte beschädigt, auch Betriebsmittel, die eine unmittelbare Erdung besitzen, wie z. B. Pumpen, Heißwassergeräte und Heizungen, werden — wie die Erfahrung zeigt — in Mitleidenschaft gezogen.

Um elektrische Geräte wirksam gegen Überspannungen schützen zu können, sollte man wissen, daß die Geräte u. a. nach genormten Nenn- und Reihenspannungen ausgewählt werden.

Hiernach wird die Isolation bestimmt und ausgelegt. Im allgemeinen können geringe Überspannungen den Geräten nichts anhaben, da die Prüfspannung oft um ein Mehrfaches über deren Nennspannung liegt.

Wie die nachfolgende Aufstellung zeigt, ist die Stoßspannungsfestigkeit der elektrischen Betriebsmittel sehr unterschiedlich:

Starkstromanlagen bis 1000 V
Isolation gegen Gehäuse
oder Erde 5–8 kV

Elektronische Anlagen
Bauteile gegen Gehäuse
oder Erde 1–3 kV

Isolation zwischen den
Eingangsklemmen 5–100 V
(Querspannungen)

Die Querspannungsfestigkeit der elektronischen Betriebsmittel ist etwa doppelt so hoch wie deren Nennspannung.

Die Stoßspannungsfestigkeit der Kabel ist wesentlich höher als die der Geräte.

Starkstromkabel bis 1000 V 30 kV
Fernmelde- oder Signalkabel 6–10 kV

Entstehungsort der Überspannungen

Nach dem Entstehungsort kann man zwischen innerer und äußerer Überspannung unterscheiden.

Innere Überspannungen, die in dem Gerät oder System verursacht werden, können durch das Schalten von induktiven Kreisen, durch Überschläge und Kopplungen von galvanisch getrennten Kreisen mit verschiedenen hohen Spannungspotentialen entstehen. Die inneren Überspannungen sind mit den heutigen Mitteln relativ leicht zu beherrschen, weil Höhe, Intensität und Dauer der Überspannung berechenbar sind. Sie sollen hier jedoch nicht weiter betrachtet werden.

Die Beherrschung äußerer Überspannungen, deren Ursache außerhalb des zu schützenden Systems liegt, bereitet dagegen weitaus mehr Schwierigkeiten. Die Schäden sind höher und umfangreicher. Die möglichen Schutzmaßnahmen sollen deshalb ausführlicher behandelt werden.

Äußere Überspannungen gelangen vorwiegend über Verbindungsleitungen in die Geräte oder Anlagen. Aber auch induktive und kapazitive Einkopplungen sind möglich. Äußere Überspannungen, die aus dem Betrieb der elektrischen Anlage entstehen, können sein:

Wanderwellen, die beim Einschlag eines Blitzes in das elektrische Netz auftreten und deren Stirn mit annähernd einem Drittel der Lichtgeschwindigkeit auf den Leitungen entlangläuft

Galvanische Kopplungen mit höherem Spannungspotential

Schaltvorgänge aus dem Netz, z. B. beim Betätigen von Hochspannungsschaltern

Zu- und Abschalten von Blindleistungskondensatoren

Induktive Beeinflussung, z. B. bei einem Kurzschluß mit einem starr geerdeten Netz-Sternpunkt

– Bei einem Kurzschluß in den verkabelten Netzen mit ihren hohen Abschaltleistungen können nämlich in die benachbarten Kabelsysteme hohe Spannungen induziert werden. –

Beeinflussung durch starke elektromagnetische Felder. Diese treten auf, wenn ein Blitz in der Nähe eines Gerätes oder einer Anlage niedergeht.

Die häufigsten Ursachen der Überspannungen mit den großen Schäden sind jedoch nach wie vor die Blitzentladungen, die eine elektrische Anlage unmittelbar treffen und dann als Wanderwellen zu den einzelnen elektrischen Geräten gelangen.

Bei Blitzeinschlägen können generell vier Vorgänge betrachtet werden:

1. Der direkte Blitzeinschlag in ein Gebäude mit einer Blitzschutzanlage (Bild 1)
2. Der direkte Blitzeinschlag, z. B. in den Freileitungsdachständer oder in die Antenne – Naheinschlag – (Bild 2)
3. Die Blitzstromwanderwelle – Ferneinschlag – (Bild 3)
4. Die Influenz (Bild 4)

Beim Einschlag eines Blitzes in eine Blitzschutzanlage entstehen in den Leitungen elektrische und magnetische Felder, die je nach Stromstärke des Blitzes gefährliche Spannungen an den im Inneren des Gebäudes befindlichen Einbauten hervorrufen können. Ausgenommen hiervon sind lediglich abgeschirmte Räume (Faradayischer Käfig). Die Spannungen zwischen den verschiedenen Metallteilen können einige 1000 V bis 10 000 V betragen. In den Schleifen betragen, unabhängig von der räumlichen Lage der Schleife, die Spannungen bis etwa 5000 V/m. Zwar besteht diese Spannung entsprechend dem Stromanstieg nur für einige μ s, sie führt aber zu Durch- und Über-

schlägen an den Isolationen. Um die Steilheit des Stromanstieges zu reduzieren, d. h., um die Stirnwelle abzufachen, kann man die Anzahl der Ableitungen erhöhen. Die Arbeitsgemeinschaft für Blitzschutz und Blitzableiterbau e. V. (ABB) verlangt deshalb auch für gefährdete Betriebe, z. B. für Sprengstoffbetriebe, eine Verdoppelung der Ableitungen. Die Auswirkungen der magnetischen Kopplungen werden jedoch auch reduziert bzw. vermieden, wenn ein Potentialausgleich vorgenommen wird. In diesen Potentialausgleich muß allerdings auch der Schutzleiter der Elektroanlage einbezogen werden.

Bei direkten Blitzeinschlägen in ein Niederspannungsfreileitungsnetz können Schäden auftreten, die zum zeitweisen Ausfall des Netzes führen. Man rechnet etwa mit 30 Einschlägen je 100 km und Jahr in diesen Netzen. Die Störanfälligkeit wird um so geringer, je höher die Betriebsspannung der Netze ist. Dies wird durch Erfahrungen der Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVU) belegt, denn bei 10-kV-Leitungen registriert man etwa 15 Störungen, bei 20-kV-Leitungen 10 und bei 30-kV-Leitungen nur noch etwa 6 Störungen je 100 km Freileitung und Jahr.

Mit steigendem Energiebedarf, aber auch dadurch, daß die Kraftwerke nicht direkt in die Ballungsgebiete gestellt werden, müssen immer mehr Hochspannungsfreileitungsnetze installiert werden, so daß Überspannungsschä-

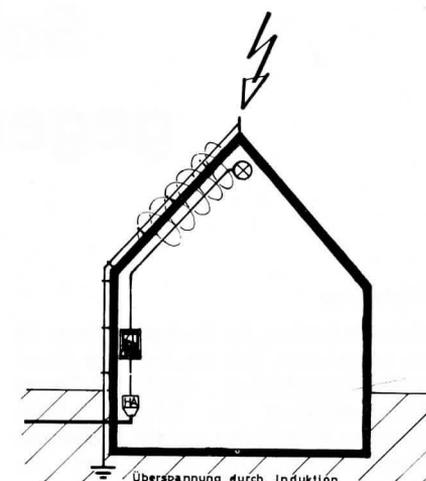


Bild 1

Anforderung an die Schutzeinrichtung	Grenzwert für $\int i dt$ in As	Grenzwert für $\int i^2 dt$ in A ² s bzw. J/ Ω
normal	50	10 ⁶
hoch	300	10 ⁷

Tabelle 1: Grenzwerte für die Ladung Q und den Stromquadratimpuls (i = Strom; t = Zeit)

den durch Blitzeinschläge wahrscheinlicher werden. Der Blitz muß aber nicht, um Schäden an elektrischen Anlagenteilen zu verursachen, direkt in die Freileitungen einschlagen. Auch wenn ein Blitz in der Nähe einer Leitung niedergeht, werden in dieser höhere Spannungen induziert. Wagner und McCann haben diese Werte berechnet. In einem Leiter, der sich z. B. 7,5 m über dem Erdboden befindet, tritt noch eine Spannung von 230 kV auf, wenn ein Blitz von 60 kA niedergeht und der Abstand zwischen Blitzkanal und Leiter 50 m beträgt.

Schadenwirkung von Blitzen und Überspannungen in elektrischen Anlagen

Für die Dimensionierung von Blitzschutzanlagen werden die Meßergebnisse von Prof. Berger, Bern, herangezogen. Diese Werte können auch für die Auswahl von Leitungen und Schutzgeräten zugrunde gelegt werden (Tabelle 1).

Die Schadenwirkung eines Blitzes läßt sich durch zwei Parameter beschreiben:

1. Die Ladung bzw. das Stromintegral $Q = \int idt$

Das Stromintegral $\int idt$ ist ein Maß für die Schäden durch Überschläge und Lichtbögen. Es werden, wie aus der vorherigen Aufstellung zu ersehen ist, Ladungen von 50 As bis zu einigen hundert As vom Blitz transportiert.

2. Das Stromquadratintegral $\int i^2 dt$ ist ein Maß für die Schäden durch Erwärmung und der mechanischen Kräfte der beteiligten Leiter.

Beispiel

Für die Erdung einer Antenne wird ein Kupferleiter mit einem Querschnitt von 10 mm² nach VDE 0855 verwandt. Der Leiter soll von einem Blitz, der mit einem Lichtbogen in den Leiter eintritt, getroffen werden.

An der Eintrittsstelle wird unter der Annahme, daß der auftretende Anoden- bzw. Kathodenspannungsabfall U_A bzw. $U_K = 30 V$ beträgt und für die Ladung $Q = \int idt$ 50 As eingesetzt wird, eine Energie von

$$W = Q \cdot U_{A/K} = 1500 \text{ Ws}$$

freigesetzt.

Bei einem Einschlag mit einer Ladung von 300 As (hohe Anforderung) würden es 9000 Ws sein.

Diese Lichtbogenenergie dient ausschließlich zum Schmelzen des Metalls.

Das ausgeschmolzene Metallvolumen läßt sich bestimmen nach der Formel

$$V = \frac{W}{\gamma \cdot C_w \cdot \delta_s + C_s}$$

Die zur Lösung benötigten Werte für Kupfer sind:

- $\gamma = 8920 \text{ kg/m}^3$
- $\delta_s = 1080 \text{ }^\circ\text{C}$
- $C_s = 209 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$
- $C_w = 385 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$

Bei 1500 Ws würden somit 270 mm³ Kupfer ausgeschmolzen. Legt man

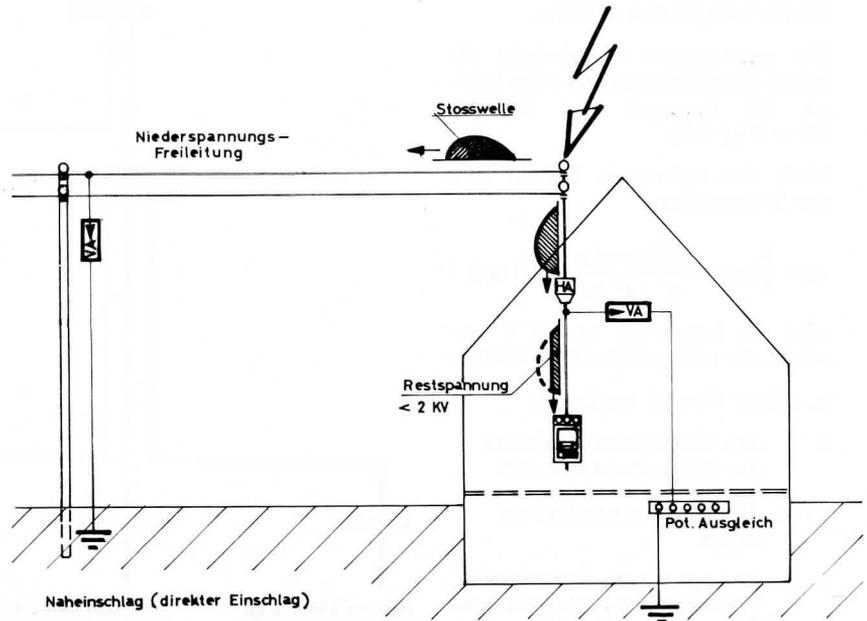


Bild 2

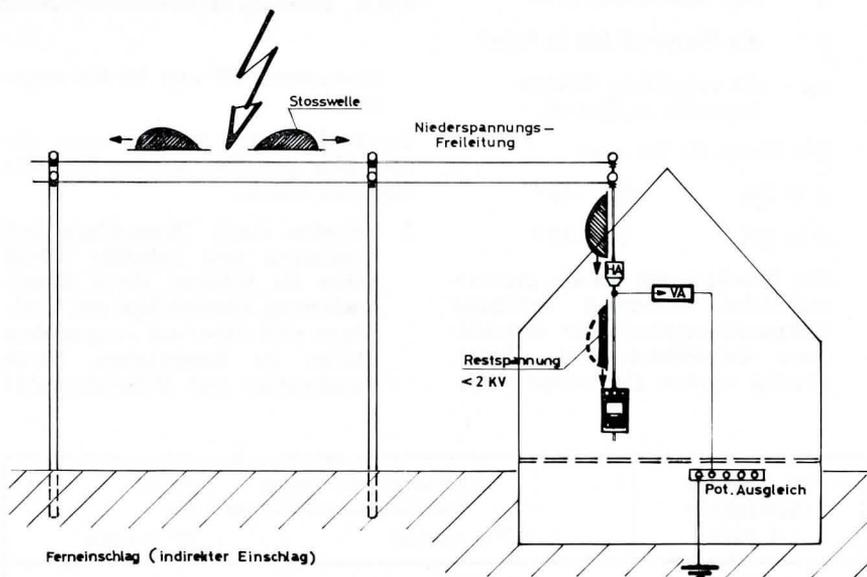
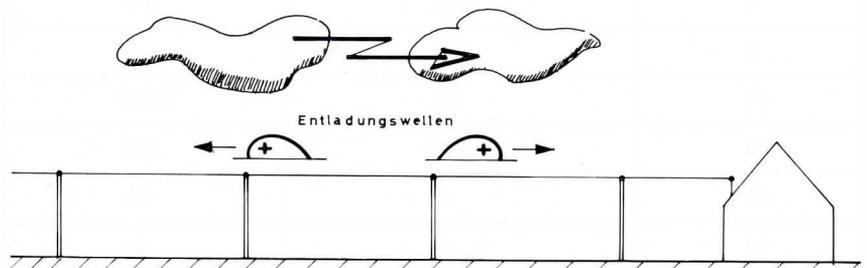


Bild 3



Überspannung durch Influenz

Bild 4

eine Fußpunktfläche des Blitzes von 25 mm Durchmesser zugrunde, so wäre die Ausschmelzung 0,55 mm tief. Bei einem Blitz mit einer Ladung von 300 As würden 1620 mm³ Cu ausgeschmolzen, d. h., der Krater wäre etwa 3,3 mm tief. Ein Kupferleiter mit einem Querschnitt von 10 mm² würde bei einer Ladung von 300 As weitgehend zerstört.

Die entstehende Stromwärme in einem Leitungsstück von 1 cm Länge ist dagegen nur 17,8 Ws ($W = R \cdot \int i^2 dt$).

Nach der bekannten Formel aus der Wärmelehre

$$\Delta\vartheta = \frac{1}{\alpha} \left[\exp \frac{\int i^2 dt \cdot a \cdot \rho}{q^2 \cdot \gamma \cdot c_w} - 1 \right] \text{ in K}$$

wird der Leiter um ca. 58 °C erwärmt. Er wird somit nicht zerstört.

In obiger Formel bedeuten:

- α den Temperaturkoeffizient des Widerstandes in 1/K
- $\int i^2 dt$ den Stromquadratimpuls in A²s
- ρ den spezifischen ohmschen Widerstand bei Umgebungstemperatur in Ωm
- q den Querschnitt in m²
- γ die Massendichte in kg/m³
- c_w die spezifische Wärmekapazität in J/kg · K

Die Werte für Cu sind:

- ρ in Ωm 17,8 · 10⁻⁹
- α in 1/K 3,92 · 10⁻³

Die Tabelle 2 gibt die aus der vorstehenden Gleichung ermittelte Temperaturerhöhung für verschiedene Leiterquerschnitte wieder. Hierbei wurden die beiden $\int i^2 dt$ -

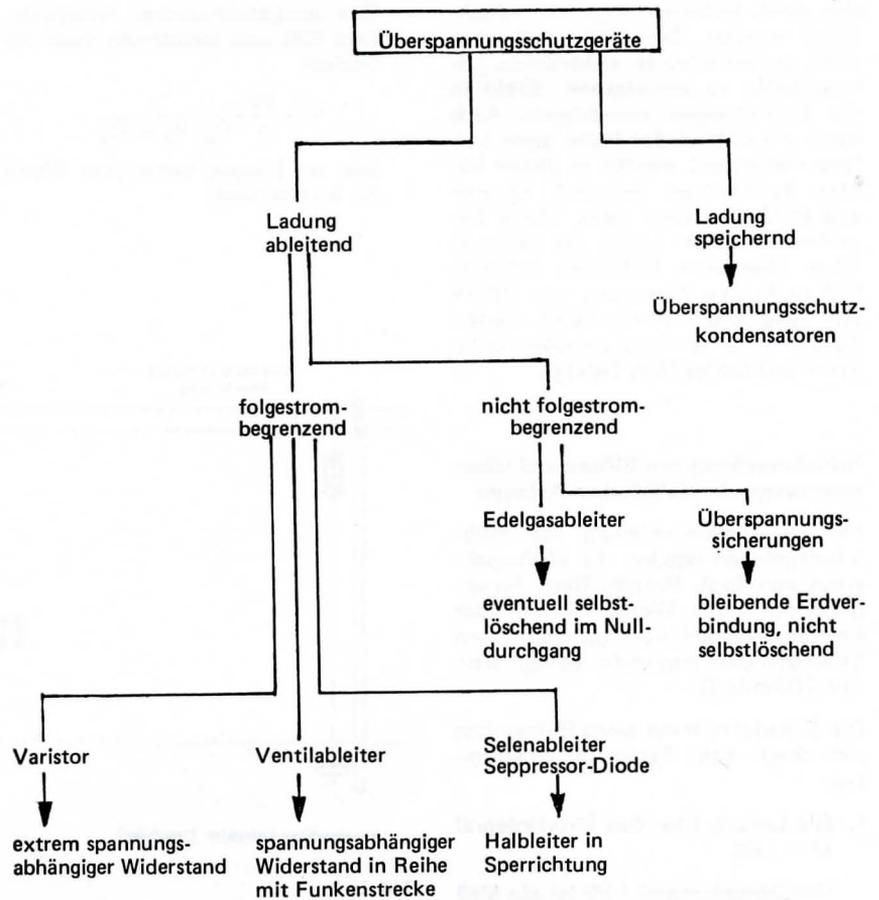


Bild 5. Einteilung der Überspannungsschutzgeräte.

Grenzwerte 10⁶ und 10⁷ A²s angenommen.

Daraus kann man für Leitungen, die vom Blitz getroffen werden, folgende Schlüsse ziehen:

1. Schäden durch Überschläge und Lichtbögen sind ungefähr 100mal höher als Schäden durch Stromerwärmung. Überschläge und Lichtbögen sind daher auf vorgesehene Stellen zu beschränken. Durch Konstruktion und Materialauswahl

muß dafür gesorgt werden, daß die Energie sicher abgeleitet wird.

2. Leitungen mit einem Querschnitt ab 10 mm² Cu sind als blitzstromfest für Anlagen mit normalen Anforderungen anzusehen. Da nur eine Temperaturerhöhung um 58 °K stattfindet, können auch isolierte Leitungen verwendet werden, ohne daß thermische Schäden an der Isolierung auftreten.

VDE 0100 m §41 läßt für Leitungen und Kabel mit PVC-Isolierung im Kurzschlußfall eine Höchsttemperatur von 160 °C zu. Sie sollte auch hier als Grenztemperatur, wenn isolierte Leitungen oder Kabel zum Einsatz kommen, angesehen werden.

Der Blitz- und Überspannungsschutz hat zwei Aufgaben zu erfüllen, wenn er elektrische Anlagen schützen soll:

1. Durch eine Übergangsstelle müssen Überspannungen abgebaut und Blitzströme von dem elektrischen Betriebsmittel zur Erde abgeleitet werden. Diese Übergangsstelle muß so dimensioniert sein, daß Blitzströme keine Schäden anrichten können und die Höhe der Überspannungen auf ein für die Anlage ungefährliches Maß reduziert wird.

Cu-Leitung Querschnitt in mm ²	Temperaturerhöhung in °Kelvin bei Stromquadratimpuls A ² s	
	10 ⁶ = normal	10 ⁷ = hoch
2,5	6330*	---
4	653	---
6	193	---
10	58	1691*
16	21	309
25	8	98
50	2	22

Tabelle 2: Temperaturerhöhung in °K (* theoretischer Wert, da Schmelztemperatur 1080 °C)

2. Signalströme dürfen nicht beeinflusst werden.

Blitzgeschützte Einführungen müssen somit eine Trennung von Blitz- und Signalströmen vornehmen. Dies ist möglich, da sich Blitz und Signal durch Art und Höhe der Amplitude, der Stromrichtung und der Frequenz unterscheiden.

Für die Begrenzung der Amplitude kommen z. B. Funkenstrecke, Gasableiter, Varistoren und Suppressor-Dioden in Frage. Sie besitzen für Signalströme einen ausreichend hohen Widerstand, so daß die Signalspannung nicht abgesenkt wird, während die Überspannung abgebaut und der Strom zur Erde abgeleitet wird.

In einer Leitung ist die Summe der Signalströme bei ungestörtem Betrieb gleich Null, da sich Hin- und Rückstrom in der Leitung aufheben. Der Blitzstrom durchfließt die Leiter jedoch in gleicher Richtung. Wird nun in den Leitungszug eine Induktivität (Spule) gebracht, so wird dem Blitzstrom ein hoher Widerstand entgegengesetzt, während dieser für die Signalströme gering ist.

Das Frequenzspektrum des Blitzes und das der Signale ist im allgemeinen unterschiedlich, so daß man eine Trennung bzw. Filterung des Blitzes und der Signale vornehmen kann. Bei Frequenzen unter 1 kHz lassen sich Blitz und Signal durch einen Tiefpaß trennen. Für hohe Frequenzen ab 1 MHz wird ein Hochpaß eingesetzt. Liegt die Signalfrequenz im Bereich der Blitzfrequenz, so läßt sich ein schmalbandiges Signal durch einen Bandpaß weitgehend ausfiltern.

Einteilung der Überspannungsschutzgeräte

Überspannungsschutzgeräte können in zwei Hauptgruppen eingeteilt werden, und zwar in Geräte, die die Ladung ableiten und solche, die die Ladung speichern (Bild 5).

Für die hier angesprochenen Probleme kommen nur Geräte zur Anwendung, die die Ladung ableiten.

Sind Versorgungsspannungen wie z. B. Netzspannungen vorhanden, so muß der Ableiter folgestrombegrenzend sein, d. h., beim Absenken der Überspannung auf das Niveau der Versorgungsspannung muß der Ableiter wieder sperren. Bei den herkömmlichen Ventilableitern ist dies durch die Reihenschaltung einer Funkenstrecke mit einem spannungsabhängigen Widerstand gegeben.

Durch die Kombination verschiedener Maßnahmen läßt sich ein stufenweiser Schutz vornehmen. Für normale Instal-

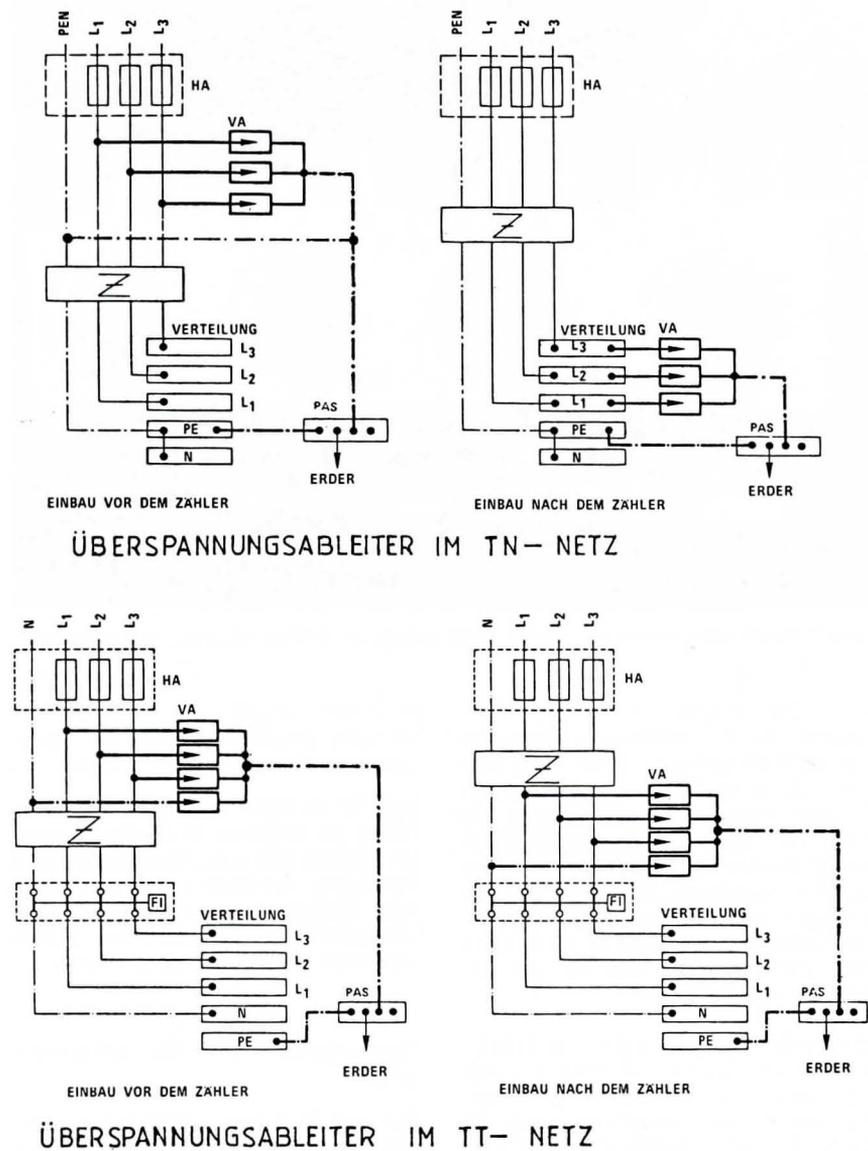


Bild 6. Einbau von Ventilableitern bei verschiedenen Netzformen.

lationsanlagen, die vielfach vom Laien als Starkstromanlagen bezeichnet werden, genügt der sog. Grobschutz mit Überspannungsschutzgeräten nach VDE 0675. Bild 6 verdeutlicht den Einbau dieser Überspannungsschutzgeräte bei verschiedenen Netzformen.

Elektronische Bauteile verlangen jedoch einen umfassenderen Schutz, d. h., die Restspannung des Überspannungsableiters muß mit zusätzlichen Mitteln weiter abgesenkt werden. Dies kann mit fertig geschalteten Geräten relativ einfach erfolgen. Aber auch das Zusammenschalten von verschiedenen aufeinander abgestimmten Bauelementen ist möglich.

Der ideale Schutz ist:

Grobschutz – Feinschutz – Feinstschutz (= Geräteschutz)

Die Notwendigkeit, elektrische Einrichtungen gegen Überspannungen zu

schützen, wird heute von keinem mehr bestritten, zumindest dann nicht, wenn es sich um hochwertige Anlagen handelt. In Krankenhäusern, insbesondere in Intensivstationen, können Schäden an elektrischen Geräten lebensbedrohend werden. Aber auch im industriellen Bereich, z. B. bei der Fernübertragung von Meßwerten, kann der Ausfall einer Anlage zu Störungen mit erheblichen Folgen und Betriebsunterbrechungen führen.

Häufig findet man aber noch wertvolle Geräte, die eigentlich gegen Überspannung gesichert sein sollten, ohne diesen Schutz. Als Grund hierfür werden vielfach Kosten und Platzmangel in den Geräten angeführt. An dieser Stelle soll jedoch einmal ausdrücklich gesagt werden, daß diese Kosten minimal sind, insbesondere dann, wenn der Einbau solcher Elemente fabrikmäßig erfolgt. Auch kann der Einwand

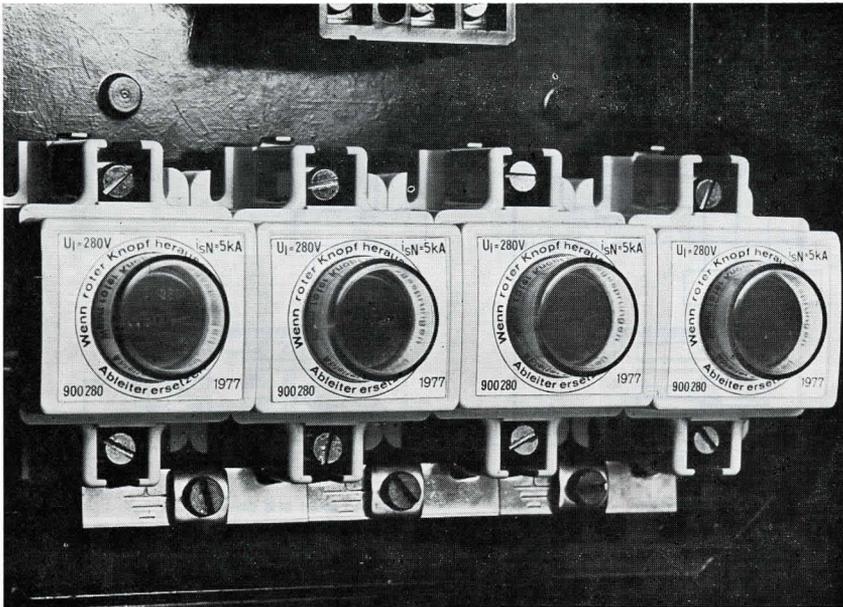


Bild 7. Innenraum-Ventilableiter mit Schnappbefestigung für Tragschienen und Geräteträger.

des Platzbedarfes heute nicht mehr gelten, da die modernen Überspannungsschutzgeräte so klein sind, daß sie sich ohne Schwierigkeiten unterbringen lassen. Dies gilt in ganz besonderem Maße von den gasgefüllten Knopfableitern und den modernen Metalloxid-Varistoren. Die Betreiber der Anlagen sollten also darauf achten, daß diese Schutzgeräte vorhanden sind, damit Schäden und Betriebsausfälle vermieden werden.

Die nachstehend aufgeführten Schutzmaßnahmen lassen sich ohne Schwierigkeiten noch nachträglich bei bestehenden Anlagen anwenden. Dies gilt besonders für Ventilableiter in Starkstromanlagen. Aber auch die weiter aufgeführten Geräte wie Varistoren, Suppressor-Dioden und Gasableiter können, ohne daß die Funktionen der Anlagen beeinträchtigt werden, entweder in die Geräte integriert oder

außerhalb angebracht werden. Eine einfache Montage erlaubt bei guter Funktion ein verdrahteter Vierpol.

Bei Neuanlagen wird man in vielen Fällen zu anderen Maßnahmen greifen können wie z. B. Abschirmung und Verseilung von Meß- und Meldekabeln oder Verlegung von normalen Kunststoffkabeln in vollkommen durchgehenden metallenen Rohren usw.

Bauelemente für den Überspannungsschutz

Für den Grobschutz kommen vorwiegend Ventilableiter zum Einsatz. Diese Schutzorgane zeichnen sich durch eine extrem hohe Begrenzung mit großem Ableitvermögen aus. Tritt eine Gewitterüberspannung auf, wird sie auf eine für die allgemeinen Geräte der Starkstromtechnik ungefährliche Spannung

von 1,2 bis 1,3 kV abgesenkt. Der Einbau dieser Geräte sollte in unmittelbarer Nähe der Einspeisung erfolgen. Werden diese Geräte in ihrem Ableitvermögen einmal überfordert, weil der Blitzstrom und damit der Ableitstrom zu hoch ist, wird eine Abtrennvorrichtung wirksam, die das Gerät vom Netz trennt. Ventilableiter werden heute von fast allen größeren elektrotechnischen Firmen hergestellt. Ursprünglich wurden sie nur in Freileitungsnetzen eingesetzt.

Auf Grund des Fortschritts auf dem Gebiet des Überspannungsschutzes werden heute auch Metalloxid-Varistoren mit entsprechender Kapselung in Freileitungsnetzen eingesetzt. Im Überlastungsfall trennt eine Weichlotstelle den Varistor vom Netz, wobei eine abfallende Anzeigehülse auch hier den Vorgang anzeigt.

Der Einbau von Freileitungsableitern verursachte oft aus Platzgründen bei Innenraumanlagen Schwierigkeiten. Von einer Firma werden deshalb schon seit Jahren Innenraum-Ventilableiter hergestellt, deren Ableitvermögen dem der Freileitungsableiter nicht nachstehen (Bilder 7–9).

Durch Ventilableiter kann die Mehrzahl der Halbleiterbauelemente jedoch noch nicht geschützt werden. Die hohe Restspannung von 1,2 kV würde sie sofort zerstören. Deshalb sind für elektronische Bauteile Ableiter auszuwählen, die auf den inneren Widerstand der Geräte, aber auch auf deren Spannungsfestigkeit abgestimmt sind. Eine einfache Lösung bilden hier die fertig verdrahteten Vierpole.

In den weitaus meisten Fällen wird der mit Überspannungsschutz vertraute Techniker mit einzelnen Bauelementen arbeiten, da ihm ein breit gefächertes Angebot zur Verfügung steht, mit dem praktisch alle Anwendungsfälle beherrscht werden können.

Durch die Entwicklung der letzten Jahre auf dem Gebiet der Halbleitertechnik wurde der früher fast ausschließlich verwandte Gasableiter bei verschiedenen Anwendungsfällen von Halbleiterbauelementen wie Varistor, Suppressor-Diode usw. verdrängt. Das Bild 13 – entnommen dem Datenbuch der Firma Siemens – soll einmal die Kennlinien der einzelnen Elemente darstellen.

Zum Schutz der Anlagen und Geräte mit elektronischen Bauteilen gegen Überspannungen werden heute fast ausschließlich Metalloxid-Varistoren und gasgefüllte Überspannungsableiter eingesetzt. Für sehr empfindliche Geräte kommen außerdem die Z- und Suppressor-Dioden zur Anwendung. Die früher verwandten Siliziumkarbid-Varistoren und die Selen-Elemente

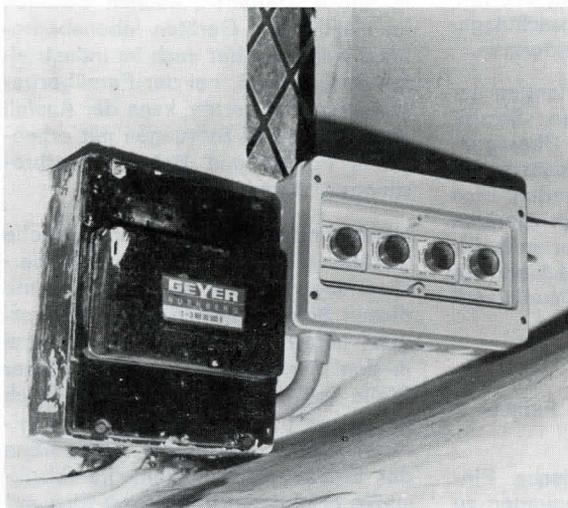


Bild 8. Ventilableiter nachträglich in einer Kirche installiert, nachdem verschiedentlich Überspannungsschäden aufgetreten waren.

sind durch die vorgenannten Schutzgeräte verdrängt worden.

Der Forderung nach einer möglichst „waagerechten“ Spannungs-/Strom-Charakteristik sind die Metalloxid-Varistoren mit einem $\alpha > 30^*$) schon sehr nahegekommen. Sie haben fast den Wert einer Z-Diode oder Suppressor-Diode, sind aber weit höher belastbar als diese. Die zulässige Stromdichte liegt bei etwa 3000 A/cm^2 . Dies in Verbindung mit einer Ansprechzeit von $< 25 \text{ ns}$ macht sie fast zum perfekten Schutzelement.

Wie bei Selen-Elementen müssen bei Z-Dioden ihrer unsymmetrischen Kennlinie wegen je zwei Elemente für Wechselspannungsbetrieb verwendet werden. Ihr zulässiger Maximalstrom übersteigt nur selten 50 A bei höchstzulässigen Betriebsspannungen von nur einigen 100 V .

Außer Varistoren werden nach wie vor edelgasgefüllte Überspannungsableiter in Fernmeldeanlagen und dgl. benutzt. Diese Überspannungsableiter schützen nach dem Gasentladungsprinzip. Tritt eine Überspannung auf, so wird im Ableiter nach einer Ansprechzeit im Nanosekundenbereich ein elektrischer Lichtbogen gezündet, der den weiteren Aufbau der Überspannung verhindert.

Auswahl der Schutzgeräte

Die Auswahl der Schutzgeräte mag bei dem ersten Durchblättern von Datenbüchern der einzelnen Firmen den „Nicht-Fachmann“ vor Probleme stellen. Diese sind in der Praxis jedoch kaum vorhanden. Der Betreiber oder Projektteur muß nur seine Aufgabe in bezug auf Gefährdung und Schutzpegel kennen. Die Tabelle 3 soll die Auswahl der Geräte erleichtern. Sie gibt Aufschluß über Schutzpegel, Stoßstrom und Ansprechzeit. Die Angabe über Kapazität ist nur von Bedeutung, wenn die Anlage mit höheren Frequenzen betrieben wird. Bei der Netzfrequenz von 50 Hz spielen sie kaum eine Rolle.

Eine Vorauswahl soll auch die graphische Darstellung von Bild 14 ermöglichen. Sie kann als Ergänzung zur Tabelle angesehen werden. Sie zeigt in übersichtlicher Weise die ableitbaren Ströme in Abhängigkeit von dem verfügbaren Schutzpegel. Auffallend

*) Die Konstante α wird als Nichtlinearitätsexponent bezeichnet und bestimmt durch

$$\alpha = \frac{\log J_1 - \log J_2}{\log U_1 - \log U_2} = \frac{\log \left(\frac{J_1}{J_2} \right)}{\log \left(\frac{U_1}{U_2} \right)}$$

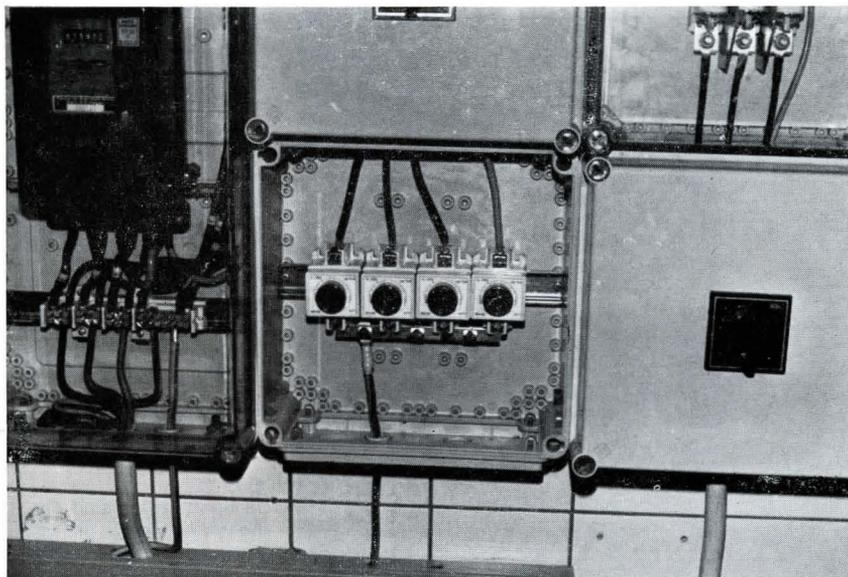


Bild 9. Ventilableiter in einem TT-Netz hinter dem Zähler angeschlossen (Hauptverteilung – Deckel abgenommen).

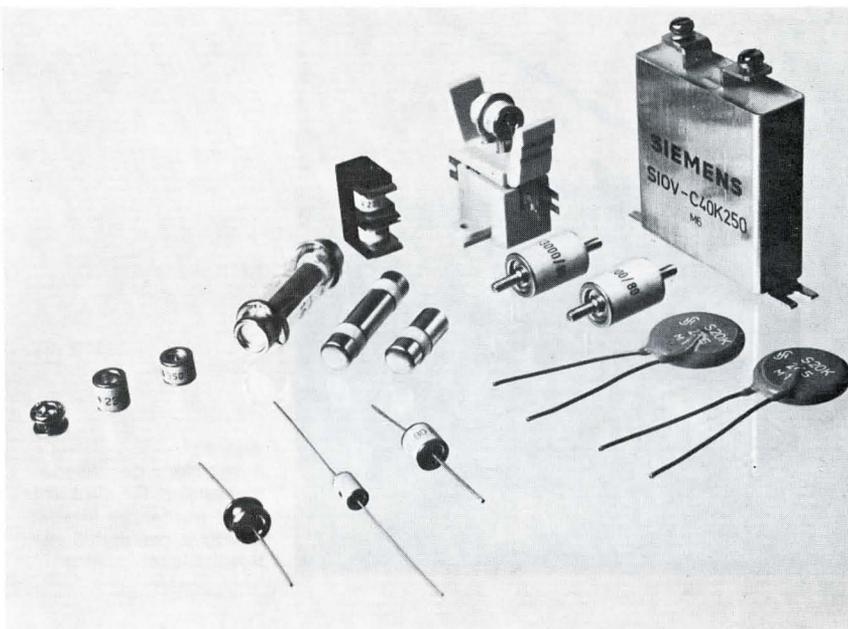


Bild 10. Überspannungsschutzgeräte für Fernmelde- und elektronische Anlagen (Gasableiter und Varistoren)

in diesem Bild ist der Rückgang des höchstzulässigen Stromstoßes mit steigendem Schutzpegel bei den Z- und Suppressor-Dioden, während dieser bei den Varistoren und gasgefüllten Übergangsableitern nicht besteht. Dies ist auf unterschiedliche Definitionen der höchstzulässigen Belastung bei den Dioden und der maximalen Stromdichte bei den Varistoren und gasgefüllten Ableitern zurückzuführen.

Der Schutzpegel der gasgefüllten Überspannungsableiter (USAG) ist abhängig vom Aufbau, wobei aus gasphysikalischen Gründen ein Schutzpegel unter 70 V nicht erreicht werden kann. Die von den Herstellern heraus-

gegebenen Listen ermöglichen hier eine gute und leichte Auswahl.

Es muß lediglich darauf geachtet werden, daß der Ableiter nach dem Ansprechen wieder löscht. Diese Bedingungen sind erfüllt, wenn die Betriebsspannung unterhalb der Bogenbrennspannung ($\sim 15 \text{ V}$) oder unterhalb der Glimmbrennspannung (~ 70 bis 150 V) liegt.

Kombinationsschaltungen und Anwendungsbeispiele

a) Grundsaltungen

Durch die Kombination von verschiedenen Bauelementen können fast alle



Bild 11
In Sportstadien sind die hohen Maste für die Lichtfluter bevorzugte Einschlagpunkte des Blitzes.



Bild 12
Zum Schutz der Versorgungskabel für die Lichtfluter wurden im Mastfuß oberhalb der Verteilung Ventilableiter montiert.

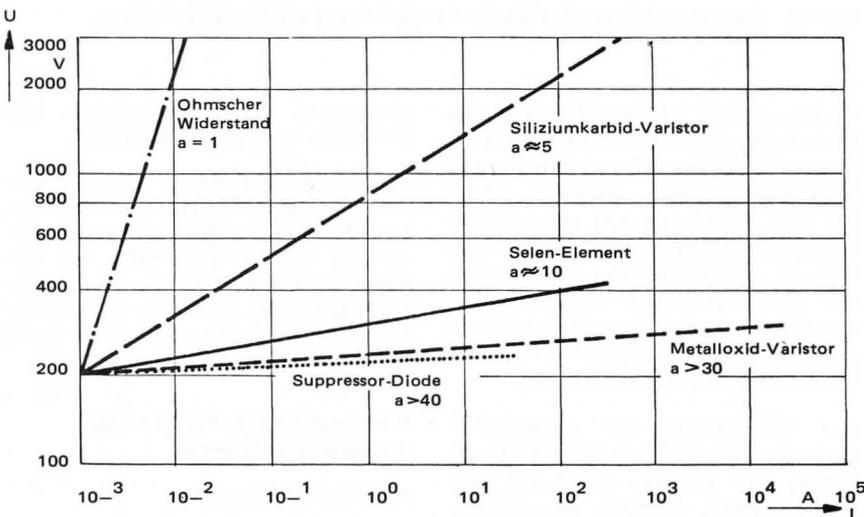
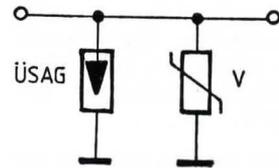


Bild 13. Theoretische U/I-Kennlinien spannungsabhängiger Widerstände normiert auf (200 V/1 mA). Zum Vergleich: Ohmscher Widerstand.

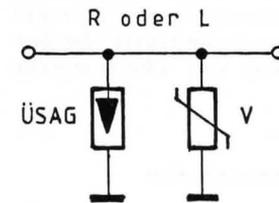
Anforderungen an den Überspannungsschutz realisiert werden.

Durch die direkte Parallelschaltung von Gasableiter (ÜSAG) und Varistor (V) werden das hohe Ableitvermögen des ÜSAG und das schnelle Ansprechen des Varistors ausgenutzt.

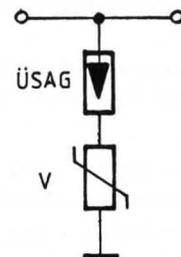
Mit dieser Parallelschaltung kann nach entsprechender Auswahl des Varistors ein Schutzpegel von etwa 100 V erreicht werden. Würde ein Varistor mit zu niedriger Ansprechspannung verwendet, so würde die zum Zünden des gasgefüllten Überspannungsableiters erforderliche Zündspannung nicht mehr



erreicht, so daß der Varistor nicht entlastet und evtl. zerstört würde.



Durch die indirekte Parallelschaltung von Gasableiter und Varistor kann ein niedriger Schutzpegel (weit unter 100 V) erreicht werden. Bei empfindlichen elektronischen Geräten kann man statt des Varistors eine Suppressordiode verwenden. Der Schutzwiderstand kann als ohmscher oder induktiver Widerstand ausgebildet werden. In vielen Fällen wird man einen ohmschen Widerstand nehmen können, da keine Verfälschung des Meßergebnisses durch den Spannungsabfall am Widerstand zu erwarten ist. Sollte dies jedoch der Fall sein, so kann man eine Induktivität (Spule) mit einem kleinen Gleichstromwiderstand verwenden. Bei Verwendung von Suppressordioden werden gegenüber dem Varistor kürzere Ansprechzeiten erreicht.

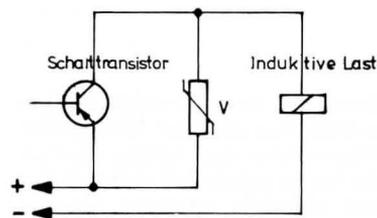


Diese Reihenschaltung eignet sich für Netze, bei denen das Löschen des Ableiters nach dem Ansprechen nicht mehr gegeben ist. Der Varistor sorgt nach dem Abklingen der Überspannung dafür, daß der Gasableiter gelöscht wird. Diese Anordnung hat den Vorteil, daß im Normalbetrieb die geringe Kapazität (ca. 1–2 pF) und der hohe Widerstand (> 10 Gigaohm) des Gasableiters wirksam ist. Nach dem Ansprechen des gasgefüllten Überspannungsableiters ($R < 0,1 \Omega$) sorgt der Spannungsfall am Varistor für eine sichere Löschung.

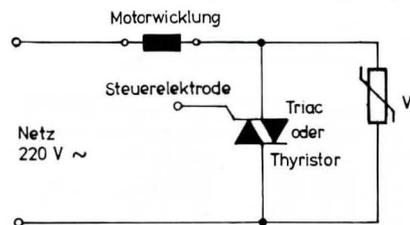
Bei sehr empfindlichen elektronischen Geräten wird man einen Staffelschutz zum schrittweisen Abbau der Überspannung vornehmen. Durch den Einsatz der verschiedenen Bauelemente ist es möglich, auch Geräte mit geringen Betriebsspannungen zu schützen, so z. B. durch die Parallelschaltung eines Varistors und einer Suppressor-diode. Hierbei werden Ansprechzeiten von $< 10 \text{ ps}$ (10^{-12} Sekunden) erreicht.

b) Praktische Anwendungsbeispiele

Schaltet man mit Transistoren induktive Lasten, so tritt am Kollektor im Sperrmoment eine Spannungsspitze auf, die u. U. den Transistor zerstören kann. Ein Varistor über Emitter-Kollektor geschaltet, würde die Spitze abbauen und einen Durchschlag verhindern.



Motoren werden in zunehmender Zahl durch Triac und Thyristoren gesteuert. Diese Bauelemente sind gegen Überspannung sehr empfindlich. Ein wirksamer Schutz ist ein Varistor parallel zum Halbleiter.



Antennenschutz

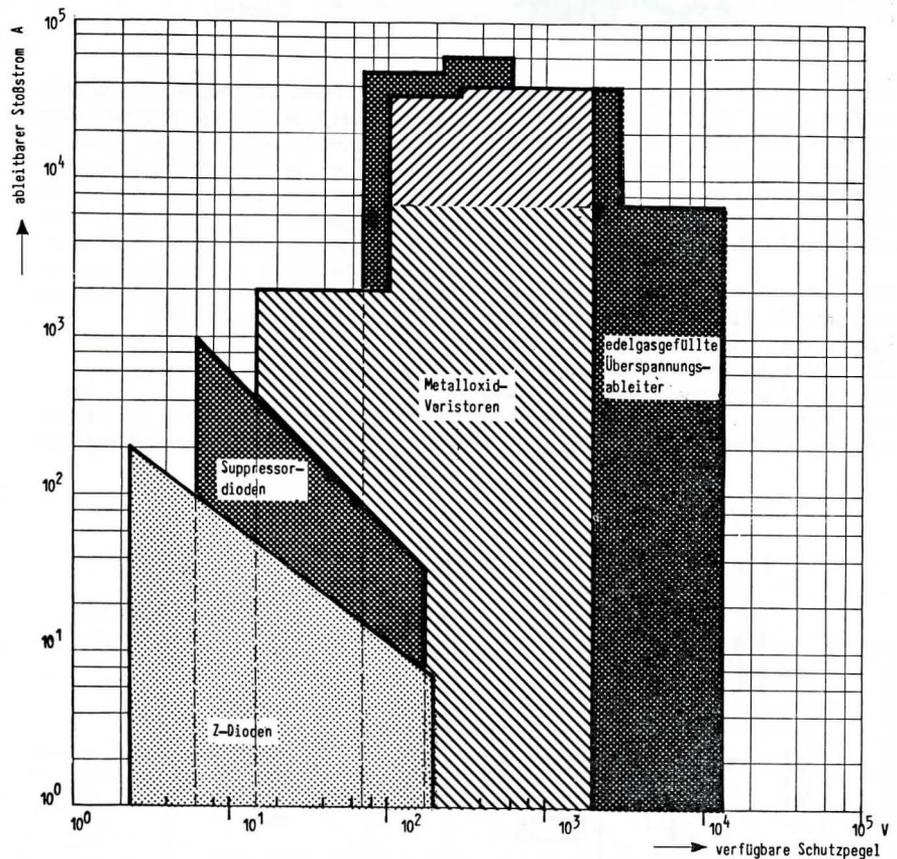
Für guten Fernempfang ist eine Außenantenne erforderlich. Um den Emp-

	Z-Diode	Suppressor-Diode	Metalloxid-Varistor	Edelgasgefüllter Überspannungsableiter
Schaltzeichen				
Schutzpegel	3 bis 200 V	6 bis 190 V	16 bis 2000 V	65 bis 12 000 V
Stoßstrom	bis 0,2 kA	bis 1 kA	bis 40 kA	bis 60 kA
Energieabsorptionsvermögen	bis 0,05 J	bis 1,0 J	bis 5000 J	bis 60 J
Ansprechzeit	$< 25 \text{ ns}$	$< 10 \text{ ps}$	$< 25 \text{ ns}$	abhängig von du/dt
Kapazität	8 bis 1500 pF	300 bis 12 000 pF	40 bis 15 000 pF	1 bis 7 pF
Reihenschaltung	zulässig			unzulässig

Tabelle 3: Daten der verschiedenen Überspannungsschutzelemente

fang nicht zu beeinträchtigen, wird sie vorwiegend auf dem Dach montiert. Werden mehrere Empfangsgeräte für verschiedene Teilnehmer angeschlossen, so spricht man von einer Gemein-

schaftsantenne. Damit alle angeschlossenen Geräte eine ausreichende Nutzs-spannung erhalten, werden Antennen-verstärker eingesetzt. Moderne Antennenverstärker besitzen ausschließlich



Ableitbare Stoßströme in Abhängigkeit der verfügbaren Schutzpegel im Vergleich Z-Diode, Suppressor-Dioden, Metalloxid-Varistoren und gasgefüllte Überspannungsableiter (Werte aus Lieferprogramm Siemens)

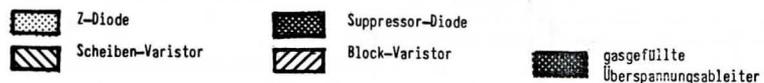


Bild 14



Bild 15
Blitzschaden durch eine nicht ordnungsgemäß installierte Antennenanlage. Die Antennenleitung zum Gerät verdampfte explosionsartig. Durch den entstehenden Überdruck wurde das Dach abgedeckt.



Bild 16
Auch innerhalb des Gebäudes kam es zu erheblichen Schäden.

Halbleiter, die zu einer wesentlichen Verbesserung der Empfangsgüte beitragen. Aber nicht nur Antennenverstärker, auch die angeschlossenen Geräte der Unterhaltungselektronik werden mit immer komplexeren Halbleiterbauelementen bestückt.

Geht man davon aus, daß die Hochantenne als Teil der Empfangsanlage bevorzugter Einschlagspunkt eines Blitzes ist, so steht außer Frage, daß hier, um die angeschlossenen Geräte zu schützen, Vorkehrungen getroffen werden müssen. In VDE 0855 Teil 1

werden Hinweise gegen atmosphärische Überspannungen gegeben und entsprechende Forderungen gestellt. Angesichts der Schadenhäufigkeit an den angeschlossenen Geräten muß man sich jedoch fragen, ob diese Maßnahmen ausreichend sind. Die untersuchten Schäden zeigen, daß zusätzliche Maßnahmen gefordert werden müssen (Bilder 15 und 16).

a) Antennenanlage mit Verstärker

Um Schäden weitgehend zu verhindern, müssen die Ein- und Ausgänge

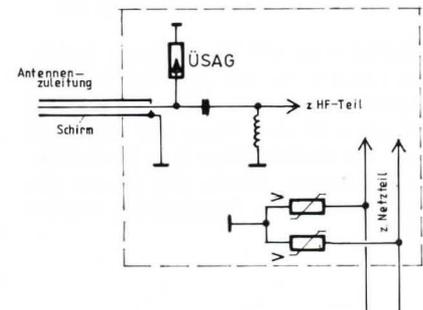
des HF-Teils wie auch das Netzteil geschützt werden. Zum Schutze des Netzteils können auf der Wechselstromseite Varistoren und auf der Gleichstromseite Z- oder Suppressordioden eingesetzt werden. In die HF-Ein- bzw. -Ausgänge werden kapazitive Gasableiter geschaltet.

Sämtliche Schirme und Erdungsleiter sind zu verbinden (Potentialausgleich) und zu erden. Die Verstärker selbst müssen durch eine Metallkapselung vollständig geschirmt sein.

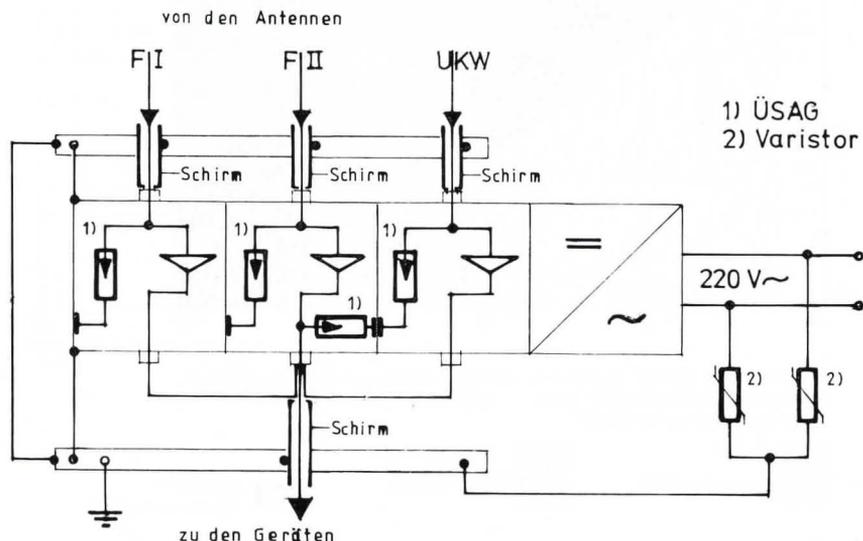
b) Antennenanlage ohne Verstärker

Zum Schutze des Gerätes kann im HF-Eingang ein Gasableiter geschaltet werden. Das Netzteil ist gegen einlaufende Wanderwellen ebenfalls zu schützen.

In vielen Fällen ist, da die Fernseh- und HiFi-Geräte quasi schutzisoliert, also ohne Schutzleiter sind, kein Erdleiter vorhanden. In diesen Fällen muß

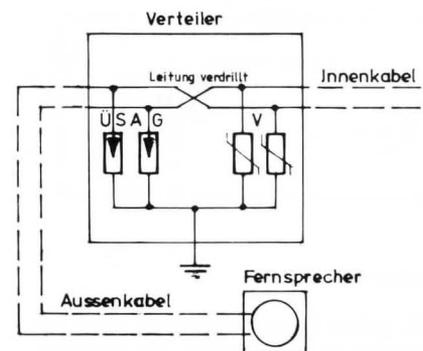


der über die Antennenzuleitung geführte Blitzstrom über den Mittelpunkt- und Phasenleiter des Netzes abgeleitet werden. In jedem Fall muß hier das Netzteil ebenfalls geschützt werden. Für die HF-Eingänge können Gasableiter und für das Netzteil Varistoren eingesetzt werden.



Fernsprechanlagen

Fernsprechanlagen mit mehreren außenliegenden Nebenstellen sollten



ebenfalls geschützt werden. Dies gilt insbesondere, wenn die Außenstellen über Freileitungen und Luftkabel mit der Zentrale verbunden sind. Die Adern sollten entsprechend dem vorstehenden Bild beschaltet werden.

Pump- und Wasserwerke

Die Starkstromanlagen werden mit den bekannten Innenraum-Überspannungsschutzgeräten versehen, und zwar in den Tiefbrunnen an den Eingängen der Motoren und im Schaltschrank an den Einschaltgeräten. Die Stromversorgung der Gesamtanlage wird ebenfalls mit Überspannungsableitern gegen einlaufende Wanderwellen geschützt. Die Wasserstandsanzeiger – Meßwertgeber – werden mit Gasableitern oder Varistoren geschützt. Die Auswerteinheit mit ihren empfindlichen Halbleitern wie Mikroprozessoren erhält neben den vorgenannten Schutzelementen noch zusätzlich Z- oder Suppressordioden. Wichtig ist, daß jeder von außen ankommende Leiter (Ader) beschaltet wird.

Bei Neuanlagen oder beim Anlegen neuer Brunnen sollte man über die zu verlegenden Erdkabel einen blanken Leiter aus verzinktem Bandstahl 30 x 3,5 mm oder aus 10 mm verzinktem Rundstahl sofort bei der Kabelverlegung mit einbringen. Durch diese Maßnahme wird im Bereich der Trasse die Spannungsbeanspruchung der Iso-

lierung bei einem Blitzeinschlag herabgesetzt. Außerdem wird die Schrittspannung reduziert. Der Leiter sollte nach den vorliegenden Erfahrungen ca. 20 cm oberhalb des verlegten Kabels eingebracht werden.

Die gleichen Maßnahmen gegen Überspannung können auch bei Ferngasanlagen angewandt werden, wobei die Geräte jedoch teilweise explosionsgeschützt sein müssen. Hier greift man nach Möglichkeit auf explosionsgeschützte Vierpole, z. B. Blitzductoren, die eine Prüfbescheinigung besitzen, zurück.

Zusammenfassung

Elektrische Anlagen, besonders solche mit Halbleiterbauteilen, werden durch Überspannungen in ihrer Funktions- und ihrer Betriebssicherheit beeinträchtigt und beschädigt. Die größten Schäden treten durch atmosphärische Überspannungen auf. Es müssen deshalb mit Hilfe der auf dem Markt vorhandenen Überspannungsschutzgeräte Vorkehrungen getroffen werden, die eine ausreichende Sicherheit schaffen. Der Blitzschutz, auch von empfindlichen elektronischen Einrichtungen, ist mit den heute zur Verfügung stehenden Bauelementen und Schaltungsvarianten möglich und erfordert nur einen verhältnismäßig geringen Aufwand.

Literaturhinweis:

H. Baatz: Überspannungen in Energieversorgungsnetzen, Springer-Verlag.

K. Berger u. E. Vogelsanger: Messungen und Resultate der Blitzforschung auf dem Monte San Salvatore, Bull. Schweiz. Elektrotechn. Verein 56, 1965 u. 57, 1966.

Wiesinger, Hasse: Handbuch für Blitzschutz und Erdung, Richard-Pflaum-Verlag.

Siemens-Datenbuch 1978/79: SIOV Metalloxid-Varistoren.

Siemens-Lieferprogramm 1980/81: Edelgasgefüllte Überspannungsableiter, Metalloxid-Varistoren SIOV.

Otto P. Schmid: Moderner Überspannungsschutz, bauteile report 17 (1979), Heft 4.

Hermann Neuhaus: Die Berücksichtigung elektrischer Anlagen im Gebäude-Blitzschutz. Bericht zur 13. Internationalen Blitzschutzkonferenz 1976.

Verband der Sachversicherer (VdS): Überspannungsschutz in elektrischen Anlagen (Form 2031).

Wagner, C. F. u. G. D. McCann: Induced voltages on Transmission lines. Trans. Amer. Inst. electr. Engos, Vol. 61 (1942), A.S. 916–930.

Schadenminderung nach Wassereinwirkung

Hans Steger

Bei Wasserschäden verbleibt nach dem Ableiten oder Abpumpen der großen Wassermassen immer eine Restnässe, die großflächig in und unter Bodenbeläge, Lagerbestände, Möbel und Einrichtungsgegenstände eingesickert ist. Dieses Restwasser verursacht erhebliche zusätzliche Schäden an Gebäuden und Inventar.

Die in beheizten Räumen aufgestellten Möbel und Einrichtungsgegenstände sind fast immer so trocken, daß sie jede erreichbare Nässe begierig aufsaugen, was im Schadenfall schnell zu

den bekannten Feuchteschäden wie Verziehen, Reißen der Furniere und Ablösen der Farbanstriche führt. Wand- und Deckenputz saugt Feuchtigkeit auf, Tapeten lösen sich, Lebensmittel und andere Lagerbestände verderben, Textilien werden in Form und Farbe nachteilig verändert usw.

Bisher hat man diese und andere Schäden als unvermeidbar hingenommen. Eine genaue Analyse ergibt jedoch, daß sie als (erste) Folgeschäden angesehen werden müssen und zu einem erheblichen Teil mit relativ geringem Aufwand vermieden oder zumindest drastisch gesenkt werden können.

Es ist erwiesen, daß durch schnelles Eingreifen das Aufsaugen der Nässe durch Akten, Lagerbestände und Möbel verhütet und die dadurch entstehenden Folgeschäden vermieden werden können. Bereits eingedrungene Feuchtigkeit kann kurzfristig wieder ausgetragen werden, bevor größerer Schaden entsteht. Das gilt auch für Bodenbeläge jeglicher Art sowie für Wasser, das in die Isolierschicht des schwimmenden Estrichs eingedrungen ist. Ebenso ist es möglich, die nach Kunststoffbränden durch Salzsäurebildung auftretenden Korrosionsschäden durch geeignete Sofortmaßnahmen zu verringern.

Ing. (grad.) Hans Steger, Hamburg