

Überspannungs- und Blitzschutz

Dr. Th. Aschwanden

Fachkommission für Hochspannungsfragen (FKH)
8044 Zürich

1. Einleitung

Durch den zunehmenden Einsatz von elektronischen Geräten und Apparaten sowohl im industriellen als auch im privaten Bereich, sowie durch den weiteren Ausbau unserer Kommunikationsnetze wird ein wirkungsvoller und zuverlässiger Überspannungs- und Blitzschutz immer wichtiger. Der vorliegende Beitrag befasst sich mit Schutzmassnahmen gegen transiente Überspannungen in Niederspannungsinstallationen (220/380V, Telefon, Mess- und Datenleitungen usw). Die Dauer dieser transienten Überspannungen liegt im Mikrosekundenbereich (typisch 1 μ s bis 100 μ s). Länger dauernde, sogenannte "quasi-stationäre" Überspannungen (verursacht z.B. durch einen Erdschluss im gelöschten MS-Netz) werden hier nicht behandelt.

Transiente Überspannungen in Niederspannungsinstallationen, Kommunikations- und Datenverarbeitungssystemen gehören zu den häufigsten Ausfallursachen von empfindlichen elektronischen Geräten und Systemen (z.B. EDV-Anlagen) und führen allein in Deutschland zu einem volkswirtschaftlichen Gesamtschaden in der Grössenordnung von 1 Milliarde DM pro Jahr [1]. Da der Einsatz von hochempfindlicher Elektronik und die damit verbundenen Überspannungsschäden stetig zunehmen, kommt sorgfältig abgestimmten Schutzmassnahmen und Konzepten zur Gewährleistung der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) im Niederspannungsinstallationsbereich eine wachsende Bedeutung zu. Wichtige Grundlagen für die korrekte Dimensionierung und Ausführung von Überspannungs- und Blitzschutzmassnahmen sind in einschlägigen Normen und in Empfehlungen enthalten (siehe z.B. [2] bis [8] in der Literaturliste am Schluss des Beitrags).

2. Ursachen und Wirkungen von Überspannungen in Installationssystemen

Transiente Überspannungen in elektrischen Installationen und Anlagen entstehen durch:

- ◆ direkte Blitzeinschläge in Freileitungen oder in Gebäude
- ◆ Wirkungen von indirekten Blitzeinschlägen (induktive, kapazitive Kopplung)
- ◆ Schaltvorgänge von Betriebsmitteln
- ◆ elektrostatische Entladungen.

Der vielfältige Charakter der in Installationsnetzen vorkommenden transienten Überspannungsereignisse kann durch folgende Grössen beschrieben werden:

- ◆ Scheitelwert, maximale Amplitude (\hat{U}) [kV]
- ◆ mittlere Anstiegszeit ($\Delta U/\Delta t$) [kV/ μ s]
- ◆ Dauer (t_d) [μ s]
- ◆ Energieinhalt ($W = (1/R) \cdot \int u^2 dt$) [Ws]
- ◆ Relative Häufigkeit (N) [Anzahl/Jahr]

2.1 Überspannungen durch direkten Blitzschlag

Überspannungen, welche durch direkte Blitzeinschläge in Gebäude oder in Freileitungen verursacht werden, stellen bezüglich maximaler Amplitude, Anstiegszeiten und Energieinhalt die höchsten Anforderungen für Schutzmassnahmen dar. Ein Direkteinschlag tritt aber nur relativ selten auf; die mittlere Erdblitzdichte N_g liegt in der Schweiz bei 3...6 Einschlägen pro km^2 und Jahr [3].

Bei einer Blitzentladung, welche als ideale Impuls-Stromquelle aufgefasst werden kann, treten mehrere aufeinanderfolgende Stromimpulse (Teilblitze) mit sehr kurzen Anstiegszeiten und Amplituden von einigen 10 kA auf. Zur Abschätzung von Blitzwirkungen und zur Dimensionierung von Schutzmassnahmen werden in der Praxis für die **Blitzstrom-Parameter** folgende Angaben verwendet (Mittelwerte und zusätzlich in Klammern die Maximalwerte für extreme Schutzanforderungen, für Details siehe z.B. [6] und [9]):

♦ Strom-Maximalwert (i_{\max})	30 kA	(200 kA)
♦ Stromsteilheit (di/dt)	20 kA/ μs	(200 kA/ μs)
♦ totale Ladung (Q_{total})	10 As	(300 As)
♦ Impulsladung pro Teilblitz (Q_{Impuls})	2 As	(100 As)
♦ Spezifische Energie (W/R)	10^2 kJ/ Ω	(10^4 kJ/ Ω).

Die **primären Blitzwirkungen** in elektrischen Gebäudeinstallationen sind mit den Parametern des eingepprägten Blitzstromes bzw. des in einem Leiter fliessenden Blitzstromanteils verküpft:

Die **maximale Stromamplitude** (i_{\max}) bestimmt den maximal auftretenden Spannungsabfall ($U_{\max} = i_{\max} \cdot R$) am ohmschen Widerstand R von Leitern und Erdung. Sie bestimmt auch das durch den Blitzstrom (Teilstrom) verursachte Magnetfeld H_{\max} , welches in einem bestimmten Abstand s zu einem blitzstromführenden Leiter auftritt (In der Umgebung eines stromdurchflossenen Leiters gilt allgemein für das Magnetfeld folgende Abstandsabhängigkeit: $H = i / 2\pi s$).

Die **Stromsteilheit** (di/dt) bestimmt den induktiven Spannungsabfall $L \cdot (di/dt)$ an der Selbstinduktivität L eines Leiters. In Niederspannungsinstallationen und Kommunikationssystemen ist auch die induzierte Spannung $M \cdot (di/dt)$ von Bedeutung. Die Gegeninduktivität M ist dabei das Mass der induktiven Kopplung (via Magnetfeld H) zwischen einem blitzstromführenden Leiter und einem beeinflussten Stromkreis (z.B. offene Installationsschleife, Erdleiterschleife)

Die **Ladung** des Blitzstromes (Q_{total}) bestimmt die in Wärme umgesetzte Energie am Einschlagpunkt der Blitzentladung (Ausschmelzungen an Blitzableitern, Leiterseilen, Blechdächern) sowie die Sprengwirkung bei Durchschlagsvorgängen in Holz oder Mauerwerk durch das explosionsartige Verdampfen von Feuchtigkeit

Die **spezifische Energie** (W/R: Stromquadratimpuls $\int i^2 dt$ bezogen auf den Einheitswiderstand R) bestimmt die in einem metallischen Leiter oder in einem Kontakt umgesetzte Energie ($W = R \int i^2 dt$) bzw. deren adiabatische Erwärmung. Zudem ist die spezifische Energie eines Blitzstromimpulses der zwischen zwei Leitern wirkenden elektrodynamischen Kraftwirkung proportional. So werden z.B. parallel geführte Leiter, die jeweils von einem Teilblitzstrom durchflossen werden, zusammengezogen. Blitzstromdurchflossene Leiterschleifen haben durch die elektrodynamische Kraftwirkung die Tendenz, sich aufzuweiten

Bei einem direkten Blitzeinschlag in ein Gebäude entsteht durch den abfliessenden Blitzstrom und durch die im Strompfad liegenden Impedanzen ein sehr grosser Spannungsabfall. Beispiel: bei einem Blitzstrom von 100 kA und einem Erdungswiderstand von 5 Ω ergibt sich ein Spannungsabfall von 500 kV! Damit kommt es zu einer **kurzzeitigen Potentialanhebung** des lokalen Erdungssystems gegenüber der fernen Umgebung (ferne Erde).

Weit wichtiger ist aber, dass ohne besondere Blitzschutzmassnahmen innerhalb des betroffenen Gebäudes **lokal sehr grosse Potentialunterschiede** entstehen, welche die elektrischen Installationen stark gefährden. Durch diese Potentialunterschiede können zwischen Teilen des elektrischen Installationssystems oder zwischen diesen und den übrigen metallenen Installationen des Gebäudes, wie z.B. Wasserleitung, Heizungssystem usw., sehr grosse Spannungsdifferenzen auftreten. Selbst wenn eine (äussere) Blitzschutzanlage vorhanden ist, kommt es bei Elektroinstallationen in vielen Fällen durch diese enorme Überspannung zum sogenannten **rückwärtigen Überschlag**, d.h. zu einem Überschlag bzw. Durchschlag von geerdeten Strukturen auf einen Phasenleiter, da die ins Gebäude eingeführte Netzversorgung quasi (bis auf die anliegende Betriebsspannung, die hier zu vernachlässigen ist) auf dem Erdpotential der fernen Erde der speisenden Trafostation liegt.

2.2 Überspannungen durch indirekte Blitzeinwirkungen

Neben direkten Blitzeinschlägen, z.B. in den Blitzableiter eines Gebäudes, können auch indirekte Blitzeinwirkungen zu bedeutenden Überspannungen in Niederspannungsinstallationen führen. Bei solchen Vorgängen ist meist ein relativ grosser Einzugsbereich (Distanzen bis 1 km und mehr) wirksam, da die Blitzentladung durch den plötzlichen Spannungszusammenbruch und den schnellen Stromanstieg im Blitzkanal auch als starke **Störquelle von elektromagnetischen Feldern** wirkt (engl. LEMP- Lightning Electromagnetic Impulse, siehe z.B. [1] und [7]):

- ◆ Naheinschlag bei Gebäude (induktive Kopplung Blitzkanal/Installationsschleife)
- ◆ Direkteinschlag in Freileitung (leitungsgebundene Blitzstörung, Stoss-Welle)
- ◆ Naheinschlag bei Freileitung (induktive/kapazitive Kopplung Blitzkanal/Leitenseile)
- ◆ Wolke-Wolke-Blitze oder weit entfernte Erdblitz (Kopplung via Antenne).

Neben der Gefahr, dass bei Naheinschlägen aufgrund des abgestrahlten Magnetfeldes des Blitzkanals (LEMP-Feld) durch induktive Kopplung Überspannungen in Installationsschleifen induziert werden können, geht bei Gebäudeinstallationssystemen ohne (innere) Blitzschutzmassnahmen die grösste Gefährdung von den in das Gebäude **eingeführten Leitungen** aus. Gebäudeüberschreitende Leitungen bilden grundsätzlich die bevorzugten Eingangstüren, über welche Überspannungen ins Gebäude und damit in elektrische/elektronische Geräte und Anlagen eindringen können:

- ◆ Energieanschluss 220/380V (evt. Mittelspannungsanschluss)
- ◆ Telefonleitungen (Amtsleitung, Nebenstationen)
- ◆ Antennenkabel (Gemeinschaftsantenne, Funkanlage)
- ◆ Melde- und Signalleitungen (Brandmelder, Verkehrssignale)
- ◆ Mess- Regel- und Steuerleitungen (Prozessüberwachung, Leittechnik)
- ◆ metallische Rohrleitungen (Wasser, Gas).

2.3 Überspannungen durch Schaltvorgänge in Betriebsmitteln

Hochspannungsseitige Schaltüberspannungen - hier nicht näher behandelt - werden im wesentlichen kapazitiv auf das Niederspannungsnetz übertragen. Auch bei plötzlichen Laständerungen (inkl. Kurzschlüsse) im speisenden Hochspannungsnetz können Überspannungen in Niederspannungsanlagen erzeugt werden.

Der überwiegende Anteil der in Niederspannungsinstallationen vorkommenden Überspannungen wird aber durch das Ein- und Ausschalten elektrischer Betriebsmittel im Niederspannungsbereich selbst verursacht:

- ◆ Abschalten von induktiven Lasten (leerlaufende Transformatoren, Drosselspulen)
- ◆ Abschalten von Induktivitäten im Längsweig eines Stromkreises (Längsdrosseln)
- ◆ Auslösen von Sicherungen, Schutzschaltern oder Schützen
- ◆ Schalten von kapazitiven Lasten (z.B. Blindstrom-Kompensation)
- ◆ Kommutierungsvorgänge in Stromrichtern (repetierende Überspannungen).

Bei allen Schaltvorgängen bestimmen der Schaltzeitpunkt, die Schaltgeschwindigkeit sowie die Netzimpedanz im wesentlichen die maximale Amplitude \hat{U} , die Anstiegszeit $\Delta U/\Delta t$ und insbesondere den zeitlichen Verlauf der entstehenden Überspannungen. Dieser zeitliche Verlauf hat meist einen oszillierenden Charakter und variiert in weiten Grenzen. Eine allgemeine Aussage bezüglich der mit Betriebsmitteln in Niederspannungsinstallationen erzeugten Überspannungen kann daher nur durch eine statistische Auswertung von tatsächlich gemessenen Spannungsverläufen gemacht werden.

2.4 Ergebnisse von Überspannungsmessungen in Niederspannungsinstallationen

Systematische Langzeituntersuchungen über die Amplituden und den zeitlichen Verlauf der auftretenden transienten Überspannungen in 230/400V-Niederspannungsinstallationen, verursacht durch indirekte Blitzeinwirkungen und Schaltvorgänge von Betriebsmitteln, liegen erst seit jüngster Zeit vor [10], [11], [12]. Diese europäischen Untersuchungen sowie die in den USA erarbeiteten Empfehlungen [8] zeigen, dass die relative Häufigkeit N des Auftretens von Überspannungsvorgängen mit steigender Amplitude \hat{U} stark abnimmt (N proportional \hat{U}^{-4}). In Niederspannungsinstallationen treten gemäss den Langzeitmessungen pro Jahr im Mittel ca. 6 bis 7 Überspannungseignisse mit Amplituden von mehr als 2.5 kV auf [10]. In den deutschen Untersuchungen kommt auch heraus, dass Überspannungen in Industrie- und Gewerbebetrieben und Haushalten sich weniger nach ihrer maximalen Amplitude als nach ihrer Häufigkeit unterscheiden.

Das **Ausbreitungsverhalten** von transienten Überspannungen in Niederspannungsinstallationen wird von der Anstiegszeit der Überspannungsimpulse und von der Länge der in der Installation vorkommenden Leitungen bestimmt. Überspannungen mit sehr kurzen Anstiegszeiten - Faustformel: $\Delta U/\Delta t < 3 \cdot T_L$ (Laufzeit der Überspannungsimpulse auf der Leitung) - werden erfreulicherweise bei ihrer Ausbreitung durch Brechungs- und Reflexionsvorgänge sowohl in Amplitude und Steilheit sehr stark gedämpft, so dass ihre gefährliche Wirkung auf die Nachbarschaft ihrer Entstehung begrenzt bleibt [11].

Typische Installationsleitungen (Litze oder massiver Kupferleiter) zeigen dagegen bei Spannungsimpulsen mit längerer Anstiegszeit (z.B. mit Impulsform 1.2/50 μ s) auf üblichen Leitungslängen bis zu 50 m praktisch keine Dämpfungsverluste (z.B. durch Skineneffekt), d.h. die transienten Überspannungseignisse treten an fast allen Punkten einer Gebäudeinstallation mit unveränderter Amplitude bzw. Impulsform auf. Dies ist aber nur dann der Fall, wenn am Installationssystem keine parallelen Impedanzen angeschlossen sind (leerlaufende, offene Leitungen). Sind Niederspannungsinstallationen aber niederohmig belastet oder sind z.B. Geräte mit Störschutzkondensatoren angeschlossen, so kann eine erhebliche Dämpfung der transienten Überspannungen erwartet werden.

3. Spannungsfestigkeit von Betriebsmitteln und Geräten

Für den gezielten Einsatz von Schutzmassnahmen gegen Überspannungen muss die Überspannungsempfindlichkeit sowohl der wichtigsten Komponenten des Installationssystems (z.B. Kabel, Leitungen, Verbindungen), als auch der daran angeschlossenen Betriebsmittel und Geräte bekannt sein.

Die Immunität von **elektrischen Betriebsmitteln** gegenüber transienten Überspannungen hängt in erster Linie von der Stoss-Spannungsfestigkeit des verwendeten Isolationsaufbaus ab. Um bei vorgegebenen Anforderungen (zugelassener Überspannungspegel, Verfügbarkeit) die richtige Auswahl eines elektrischen Betriebsmittels (z.B. Elektromotor) im Sinne einer **Isolationskoordination** (Sicherheit) zu erleichtern, wurden für den 230/400V-Bereich international genormte Isolationsklassen bzw. Überspannungskategorien mit unterschiedlichen Stehstossspannungen eingeführt [5]:

Überspannungskategorie	Stehstossspannung
I	1.5 kV
II	2.5 kV
III	4.0 kV
IV	6.0 kV

Die oben angegebenen Stehstossspannungen müssen unter wiederholter transienter Spannungsbeanspruchung (Impulsform: 1.2/50 μ s) vom betreffenden Betriebsmittel ohne Isolationsdurchschlag gehalten werden; d.h. die Zerstörungsgrenze muss noch wesentlich höher liegen.

Bei **elektronischen Geräten oder Schaltungen** ohne eingebaute Schutzmassnahmen liegen aufgrund der eingebauten aktiven Bauteile (Transistoren und integrierte Schaltungen) die Empfindlichkeitsgrenzen gegenüber transienten Überspannungen und anderen EMV-Störungen wesentlich tiefer (typisch: bei einigen Volt). Hier muss klar zwischen zwei Limiten unterschieden werden:

- ◆ Beeinflussungsgrenze, Grenze der EMV-Festigkeit (temporäre Funktionsstörung)
- ◆ Zerstörungsgrenze (irreversibler Schaden, Ausfall eines Geräts).

Währenddem die Beeinflussungsgrenze (Störfestigkeit) eines elektronischen Geräts heute nach genormten Prüfverfahren (EMV-Test) nachgewiesen werden kann [13], ist es in vielen Fällen problematisch, die Zerstörungsgrenze eines elektronischen Bauteils oder eines Geräts festzulegen, weil dabei neben der Amplitude auch der Energieinhalt der Überspannung in das Resultat eingeht.

4. Schutzkonzepte und Schutzmassnahmen

Bei der Erstellung von Konzepten für einen wirkungsvollen Überspannungs- und Blitzschutz müssen die einschlägigen **EMV-Planungsschritte** angewendet werden:

- ◆ Definition der Schutzziele (z.B. Grad der Verfügbarkeit)
- ◆ Analyse der Störquellen (z.B. Blitzentladung, Schaltvorgänge)
- ◆ Analyse der Kopplungswege (galvanisch, kapazitiv, induktiv)
- ◆ Analyse der Störsenken (Störempfindlichkeit, Spannungsfestigkeit, Redundanzen)
- ◆ Definition der Schutzzonen (Bereiche mit gleichen EMV-Bedingungen)
- ◆ Spezifikation der Schutzmassnahmen (Potentialausgleich, Schirmung, Beschaltung)
- ◆ Qualitätskontrolle zum Nachweis der Wirksamkeit.

Die Praxis bestätigt immer wieder, dass die Schutzziele bei grossen und komplexen Schutzobjekten (z.B. räumlich weit ausgedehnte Leittechnikanlagen von Kraftwerken oder von grossen Industrieanlagen) nur durch systematische EMV-Planung erreicht werden können. Zum Thema der Planung und Durchführung von EMV-Massnahmen für grosse Industrieanlagen sei auf die Fachliteratur verwiesen [1], [14].

Die hier behandelten Schutzkonzepte und Massnahmen sind für **normale Wohn- und Geschäftsbauten** geeignet; als Hauptstörquelle steht hier der Blitz im Vordergrund. Ausführungsdetails können allgemein zugänglichen Empfehlungen und Vorschriften und der Fachliteratur entnommen werden (siehe z.B. [3], [6], [7], [15]). Das **klassische Überspannungsschutzkonzept** besteht aus folgenden Massnahmen:

- ◆ Äusserer Blitzschutz
- ◆ Innerer Blitzschutz
- ◆ Schirmung
- ◆ Geräteschutz, Ableitereinsatz.

4.1 Äusserer Blitzschutz

Zum äusseren Blitzschutz gehören Fangeinrichtung, Ableitungen und Erdungssystem.

Die **Fangeinrichtung** besteht aus systematisch angeordneten Fangleitern auf dem Gebäudedach, die vom Blitz getroffen werden können. In der Regel sind eine Firstleitung und maschenförmig verbundene Fangleiter vorhanden. Um das darunter liegende Gebäudevolumen wirksam zu schützen, ist bei grossen Dächern eine Maschengrösse von maximal 10 m x 10 m einzuhalten. Alle metallischen Einrichtungen auf dem Gebäudedach werden auf kürzestem Wege mit der Blitzschutzanlage verbunden und bilden einen integralen Teil der Fangeinrichtung.

Die **Ableitungen** stellen die Verbindung zwischen Fangeinrichtung und Erdungsanlage her. Durch die am Gebäudeumfang verteilten Ableitungen (mindestens zwei gemäss SEV-Leitsätzen [3]) wird erreicht, dass sich der Blitzstrom verteilt und einen definierten Weg zur Erde nimmt. Es ist grundsätzlich immer vorteilhaft, dem Blitzstrom möglichst viele Ableitstropfpfade (auch Metallfassaden, Stahlskelett, Betonarmierung, usw.) anzubieten. Dadurch wird die Gesamtinduktivität der Ableitung erniedrigt und die Strombelastung der blitzstromführenden Leiter stark verkleinert. Die gefahrlose Ableitung des Blitzstromes dient vor allem dem Personen- und Brandschutz. Diese Massnahme allein genügt aber nicht, den Schutz der elektrischen Installationen und vor allem der elektronischen Systeme sicherzustellen.

Um den Blitzstrom ins Erdreich einleiten zu können, muss eine **Erdungsanlage** vorhanden sein. Bei neu erstellten Gebäuden ist dies in der Regel der Fundamenterder. Zur Sicherstellung der Erdungsfunktion können aber auch Bänderder (Oberflächen-erder) oder Staberder (Tiefenerder) verwendet werden. Sind zwei oder mehrere Nachbarhäuser (Gebäudeabstand kleiner als 20 m) mit Blitzschutzanlagen versehen, so ist es vorteilhaft, ihre Erdungsanlagen miteinander zu verbinden, weil damit die Erdungsimpedanz in der Regel stark herabgesetzt wird.

4.2 Innerer Blitzschutz und Überspannungsschutz

Mit dem inneren Blitzschutz werden all diejenigen Massnahmen umschrieben, welche die Auswirkungen des Blitzstromes und seiner elektrischen und magnetischen Felder auf Personen, elektrische Installationen, Betriebsmittel und elektronische Geräte sowie auf die übrigen Installationen innerhalb eines Gebäudes begrenzen.

Im Rahmen des inneren Blitzschutzes muss vor allem der **Potential-Ausgleich** im Gebäudeinnern konsequent durchgeführt werden, um bei einem Blitzeinschlag unkontrollierte Überschläge auf die Gebäudeinstallationen infolge des Spannungsabfalls am Ableit- und Erdungssystem auszuschliessen. Dazu müssen alle elektrisch leitfähigen Teile und Installationen eines Gebäudes auf möglichst kurzem Weg mit der Blitzschutz-Erdungsanlage (meist Fundamenterder) verbunden werden. Zu den leitfähigen Strukturen gehören z.B. Aufzüge, Wasser- und Heizungsinstallationen, Lüftungs- und Klimakanäle, Metalltreppen, Metallkamine usw.

Das zentrale Element des Potentialausgleichs bildet die **Potentialausgleichschiene** (PAS), welche im Normalfall im Keller- oder Erdgeschoss installiert und mit dem Fundamenterder gut verbunden ist. Bei hohen Bauten (> 20 m) oder Gebäuden mit feuergefährdeten Bereichen muss ein zusätzlicher Potentialausgleich im Dachbereich bzw. in Höhenabständen von maximal 10 Metern vorgenommen werden.

Damit der Potentialausgleich auch wirklich zuverlässig funktioniert, müssen alle **gebäudeüberschreitenden metallenen Verbindungen**, insbesondere die Rohrleitungen für Wasser, Abwasser und Heizung usw. sowie Schutzleiter, Schirme und Armierungen von eingeführten Energie-, Kommunikations- und Antennenkabeln usw., am Gebäudeeintritt erfasst und mit einer blitzstromtragfähigen Verbindung zur Potentialausgleichschiene geführt werden. Damit diese Verbindungsleitungen möglichst kurz werden, sollte bei der Planung von Neubauten darauf geachtet werden, dass die Einführung aller Versorgungsleitungen an einem geeigneten Ort im Kellergeschoss zentral erfolgt.

Die **Beschaltung der spannungsführenden Leiter** (Polleiter) der elektrischen Energieversorgung mit sogenannten Blitzstromableitern (z.B. spezielle Gleitfunkenstrecken) stellt eine weitere Massnahme zur Erreichung eines lückenlosen Potentialausgleichs dar. Diese Schutzelemente müssen bei Direkteinschlägen Blitzströme führen können; ausserdem muss sichergestellt sein, dass nach der Ableitfunktion der Netzfolgestrom auch sicher gelöscht wird. Die Blitzstromableiter, die bezüglich Überspannungen nur einen Grobschutz bieten (Begrenzung auf ca. 5 kV) sollten in unmittelbarer Nähe des Gebäudeeintritts, z.B. im Hausanschlusskasten montiert sein.

Der Potentialausgleich von **PTT-Telecom Leitungen** muss nach den geltenden Vorschriften der PTT erstellt werden [4]. Zur Beschaltung der Telecom-Leitungen werden normalerweise im Schaltkasten oder im Hauptverteiler Überspannungsableiter (Gasableiter) eingesetzt.

Kathodisch geschützte Tankanlagen sowie Gasleitungen, die ins Gebäudeinnere eingeführt werden, dürfen nur über sogenannte **Trennfunkstrecken** an die Potentialausgleichschiene angeschlossen werden. Im Fall eines Blitzschlags sprechen solche Trennfunkstrecken aufgrund der auftretenden Potentialdifferenzen an und verbinden die Anlagen miteinander, so dass über sie ein Teilblitzstrom abfließen kann. Nach Abklingen des Blitzstroms löschen die Funkstrecken wieder und der getrennte Zustand ist wiederhergestellt

4.3 Schirmung

Die Schirmung von Gebäuden, einzelnen Räumen, Leitungen und Geräten ist eine ergänzende, aber sehr wichtige Massnahme gegen die induktive und kapazitive Einkopplung von magnetischen und elektrischen Störfeldern (z.B. LEMP). Schirme gegen magnetische Felder tragen meist auch zur Abschirmung der elektrischen Felder bei. Hingegen haben Schirme gegen elektrische Felder, die relativ leicht zu realisieren sind (z.B. dünner Folienschirm), oft keine Wirkung bei magnetischen Feldern.

In der Praxis zeigt sich, dass **bei langen Kabelverbindungen** Störspannungen vor allem durch die magnetische Feldkomponente eingekoppelt werden. Daher ist bei störempfindlichen Verbindungen auf gute Abschirmung und bei mehradrigen Kabeln zusätzlich auf eine enge Verdrillung der Leiter zu achten. Bei abgeschirmten Kabeln muss zur Erzielung von niedrigen Längsspannungen (eingekoppelte Überspannung zwischen Ader und Schirm) der Kabelschirm immer beidseitig geerdet sein.

Bei handelsüblichen Kabeltypen ist die Schirmwirkung bei niedrigen Frequenzen (bis ca. 10 kHz) im wesentlichen durch den ohmschen Widerstand (Schirmquerschnitt) bestimmt. Bei höheren Frequenzen (ab ca. 100 kHz), welche für die transiente Störeinkopplung besonders relevant sind, spielt aber vor allem der **Aufbau der Abschirmung** (Einfachgeflecht, Doppelgeflecht, Folienschirm usw.) eine dominante Rolle. Zur wirkungsvollen Dämpfung von sehr hohen Frequenzen (grösser 10 MHz) einer äusseren Störquelle kommen bei höchsten Ansprüchen für die Abschirmung von langen Leitungen nur geschlossene Rohre in Frage.

Eine hohe Schirmwirkung bei Kabeln setzt bei hohen Frequenzen immer einen **koaxialen Schirmanschluss** voraus. In der Praxis wird dies oft vernachlässigt! Es werden zwar Kabel mit guten Schirmen ausgewählt, aber der Anschluss der Schirme wird über dünne lange Drähte vorgenommen; damit wird die gute Schirmwirkung teilweise unwirksam gemacht.

Durch eine magnetische **Schirmung von Räumen und Gebäudestrukturen** wird das Entstehen von Überspannungen durch Magnetfeldeinkopplung (LEMP) bei nahen und direkten Blitzeinschlägen signifikant reduziert [1]. In einer offenen Leiterschleife mit einer wirksamen Fläche von 10 m x 10 m wird beispielsweise ohne Schirmung eine Spannung von 50 kV induziert, wenn in einer Entfernung von 30 Metern ein hoher Blitzstrom fliesst. Durch die Schirmwirkung der Gebäudearmierung eines Stahlbetonbaus kann die induzierte Spannung der gleichen Leiterschleife im schlechtesten Fall um ca. 20 dB, d.h. auf ca. 5 kV reduziert werden. Bei einer kleineren Maschenweite in der Armierungsstruktur, d.h. durch das Verkleinern der Abstände zwischen den Armierungseisen auf ca. 10 cm, lassen sich Dämpfungswerte von ca. 40 bis 50 dB erreichen. Durch die mehr als 100-fache Abschwächung werden damit die induzierten Spannungen auf ungefährliche Werte herabgesetzt.

5. Geräteschutz, Ableitereinsatz

Auch nach konsequenter Durchführung von inneren Blitzschutzmassnahmen (Abs.4.2) und bei Verwendung von abgeschirmten Kabeln (Abs. 4.3) treten in Niederspannungsinstallationen immer noch Überspannungen auf, welche vor allem bei empfindlichen elektronischen Geräten (z.B. Computer, Videogeräte, Alarmanlagen, Messgeräte usw.) zu Schäden und Ausfällen führen. Innerhalb von blitzgeschützten Gebäuden können auf dem Niederspannungsnetz durchaus kurzzeitig Überspannungen mit Amplituden bis zu ca. 5 kV auftreten. Diese relativ hohen Werte lassen sich einerseits auf Schaltereignisse hausinterner Betriebsmittel (Abs. 2.3) zurückführen, andererseits wirken die am Gebäudeeintritt für den inneren Blitzschutz-Potentialausgleich eingesetzten Blitzstromableiter nur als Grobschutz-Elemente mit einer typischen Ansprechspannung von einigen Kilovolt. Damit ergibt sich für ein empfindliches Gerät oder System die klare Forderung nach einer weiteren Schutzstufe, dem Feinschutz auf Geräteebene (Geräteschutz).

Vom technischen Grundprinzip kommen für den Feinschutz neben linearen Komponenten (Eingangsfiler, Netzfilter) vor allem **nichtlineare Schutzelemente** in Frage:

- ◆ Gasableiter (hermetisch abgeschlossene Funkenstrecken)
- ◆ Zinkoxid-Ableiter (sogenannte Varistoren)
- ◆ Dioden (Zehnerdioden, Suppressorioden).

Durch geschickte Kombinationsschaltungen können die stark unterschiedlichen Anforderungen der zu schützenden Geräte und Systeme weitgehend abgedeckt werden. Bei der richtigen Auswahl der Schutzschaltung und ihrer Elemente müssen mindestens folgende **Geräte- und Systemdaten** spezifiziert und mit dem vorgeschalteten Grobschutz koordiniert werden:

- ◆ Anliegende Netzspannung, maximaler Signalpegel
- ◆ Netzimpedanzverhältnisse, maximaler Betriebsstrom
- ◆ Stossansprechspannung (Schutzpegel), Zündkennlinie
- ◆ Nennableitstrom (Stromimpuls 8/20 μ s)
- ◆ Energieaufnahmevermögen
- ◆ Löschverhalten bei Folgeströmen
- ◆ Zulässige Zusatzkapazität, Dämpfung
- ◆ Erwartete Lebensdauer, Zuverlässigkeit.

Werden mehrere Ableiterschutzstufen hintereinander geschaltet (sogenannter Staffelschutz), so müssen die einzelnen Stufen durch Längsimpedanzen voneinander entkoppelt werden. Kritisch ist die Koordination der Stossansprechspannungen und des Energieaufnahmevermögens der eingesetzten Schutzelemente. Eine zuverlässige Abstimmung zwischen Gasableiter als Grobschutz und Varistoren als Feinschutz ist oft problematisch, da bei Gasfunkenstrecken die Stossansprechspannung entsprechend der Zündkennlinie von der Anstiegszeit $\Delta U/\Delta t$ der transienten Überspannung abhängt. In der Regel sind aber die Anstiegszeiten der Überspannungen nicht bekannt.

In einigen Fällen sind im Telekommunikationsbereich auch Schutzschaltungen unter alleiniger Anwendung von Varistoren praktisch erprobt worden [16]. Dabei zeigte sich, dass Varistoren als Grobschutzelemente durch häufiges Ansprechen frühzeitig altern und bereits nach ca. zwei Jahren Einsatzzeit eine deutlich höhere Ausfallrate aufwiesen als gasgefüllte Überspannungsableiter.

6. Literatur

- [1] **P. Hasse, J. Wiesinger**, EMV Blitzschutzkonzept, Pflaum Verlag, München, 1994.
- [2] **SEV 1000-1, SEV 1000-2**, Niederspannungs-Installationsvorschriften, 1995.
- [3] **SEV 4022 (SN 414022)**, Leitsätze des SEV für Blitzschutzanlagen, 6. Auflage, 1987.
- [4] **PTT 718.19**, Richtlinien für die Erdung und elektromagnetische Verträglichkeit elektronischer Fernmeldeausrüstungen im Teilnehmerbereich, 1987.
- [5] **IEC 664-1**, Insulation coordination for equipment within low voltage systems, 1992.
- [6] **IEC 1024-1-1**, Protection of structures against lightning, Part 1: General principles, 1993.
- [7] **IEC 1312-1**, Protection against lightning electromagnetic impulse, Part 1, General principles, 1995.
- [8] **IEEE C62.41**, IEEE recommended practice on surge voltages in low voltage AC power circuits, 1991.
- [9] **K. Berger**, Methoden und Resultate der Blitzforschung auf dem Monte San Salvatore bei Lugano in den Jahren 1963 bis 1971, Bull. SEV/VSE, Vol. 63 (1972), S. 1403-1422.
- [10] **W. Meissen**, Transiente Netzüberspannungen, ETZ, Vol. 114 (1993), S. 50-55.
- [11] **W. Pfeiffer, F. Scheurer**, Überspannungen in Niederspannungsinstallationen und deren Ausbreitung, Elektrik, Vol. 46 (1992), S. 266-271.
- [12] **W. Pfeiffer, F. Scheurer**, Überspannungserzeugende Betriebsmittel, ETZ, Vol. 114 (1993), S. 228-235.
- [13] **IEC-1000-4-5 (ENV 50142)**, Surge immunity tests, basic EMC publication, 1995.
- [14] **F. Piegler**, EMV und Blitzschutz leittechnischer Anlagen, Siemens-Verlag, Berlin, 1990.
- [15] **P. Hasse, J. Wiesinger**, Handbuch für Blitzschutz und Erdung, Pflaum Verlag, München, 1989.
- [16] **J. Damschen**, Überspannungsschutz für Telekommunikationsanlagen, Telekom Praxis, Heft 2 (1994), Seite 2-4.