



Handbuch TAN 1003

Erdung für Überspannungsschutz – ein Ratgeber

Zusammenfassung

Diese Veröffentlichung hat die Grundprinzipien der Blitzentstehung und den Entwurf von Überspannungsbegrenzern zum Thema. Weiter werden die Kriterien zur Wahl des am besten geeigneten Modells für verschiedenste Anwendungen in der Prozeßindustriebranche erläutert.



Handbücher

Die anwachsende Zahl von Telematic-Handbüchern legt Informationen über verschiedenste Gesichtspunkte des Überspannungs- und Blitzschutzes in einem leicht verständlichem Format dar. Zum Zeitpunkt der Drucklegung sind die folgenden Publikationen erhältlich:

- TAN1001** *Blitzschutz für elektronische Betriebsmittel – ein Ratgeber*
Eine relativ kurze und leicht verständliche Einführung in das Thema – ein ausgezeichneter Ausgangspunkt
- TAN1002** *Blitz- und Überspannungsschutz – die Grundsätze*
Diese Publikation geht näher ein in den Mechanismus von Blitzschlägen und die Maßnahmen die für einen angemessenen Blitzschutz zu treffen sind
- TAN1003** *Erdung für Überspannungsschutz – ein Ratgeber*
Diese detaillierte Analyse des Titelthemas stellt sowohl eine eingängige Erläuterung wie auch ein wertvolles Nachschlagewerk dar
- TAN1004** *Überspannungsschutz für eigensichere Systeme*
Eine Erläuterung der besten Methoden, den Überspannungsschutz mit der Eigensicherheit zu vereinigen
- TAN1005** *Überspannungsschutz für Montageorte in Zone 0*
Eine detaillierte Untersuchung dieses besonderen Bereichs des Überspannungsschutzes in explosionsgefährdeten Bereichen; ergänzt TAN1004
- TAN1006** *Überspannungsschutz für Wägesysteme*
Eine eingehende Darstellung des Überspannungsschutzes von Wägezellen und Wägesystemen
- TAN1007** *Überspannungsschutz für örtliche Datennetze*
Dieses Handbuch beschreibt auf welche Weise örtliche Datennetze (Local Area Networks – LAN) durch blitzstoßinduzierte transiente Überspannungen beschädigt werden können und führt geeignete Schutzmaßnahmen an

1	ERDUNG FÜR DEN ÜBERSPANNUNGSSCHUTZ ELEKTRONISCHER BRIEBSMITTEL	
1.1	Einführung	1
1.2	Praxisbezogene Betrachtungen zur Erdung von Überspannungsbegrenzern	1
2	BLITZSCHLÄGE UND DER BEDARF AUF SCHUTZ GEGEN DIESE.....	2
2.1	Die Gefahr von Blitzstößen	2
2.2	Die Einwirkung von Blitzschlägen auf elektrische Systeme	2
2.3	Blitzstöße – wie stark sind sie?	3
2.4	Was wird mit „Erde “ gemeint?	3
2.5	Erdungsprobleme – grundlegende Fragen	3
2.6	Komplettschutz – alles umschließen!	3
2.7	Musterlösung – der nächstbeste Schutz zur Kapselung	4
2.8	Die nicht gerade „ideale“ Realität	4
2.9	Die Gefahren eines Blitzeinschlags: Zusammenfassung	4
3	ÜBERSPANNUNGEN UND ÜBERSPANNUNGSSCHUTZ	5
3.1	Gegen- und Gleichtaktüberspannungen	5
3.2	Gerätebeschädigungen durch Überspannungen	5
3.3	Die Funktionsweise von Überspannungsbegrenzern	5
3.4	Was ist schutzbedürftig?	6
3.5	Fallstudie: Telefone, Anrufbeantworter und Modems	6
4	ERDUNG FÜR ÜBERSPANNUNGSSCHUTZ IN DER PRAXIS	6
4.1	Einführung: Impedanz und Position der Erde	6
5	IMPEDANZ DER ÜBERSPANNUNGSSCHUTZ ERDE	7
5.1	Induktivität und Widerstand	7
5.2	Eine Bemerkung zur „Hautwirkung“	8
5.3	Induktivität und Überspannungen – aus anderer Sicht	8
5.4	Überspannungen in Leitungen – einige Meßwerte	8
5.5	Induktivität: Zusammenfassung	9
6	ANORDNUNG DER ÜBERSPANNUNGSSCHUTZERDE	9
6.1	Das Problem mit einer hohen Impedanz bei Überspannungsschutzerden	9
6.2	Neuanordnung der Erdverbindung zur Senkung der Grenzspannung	9
6.3	Verwendung einer „Überspannungsverbindung“ bei einer nicht versetzbaren Erdverbindung	10
7	KONFIGURATION UND INSTALLATION VON ERDUNGSANLAGEN	10
7.1	Sternpunktterdung	10
7.2	Implementierung einer Sternpunktterdung	11
7.3	Überspannungs- und Schutzerdungen	11
7.4	Überspannungsschutz für Außenverbindungen	12
7.5	Probleme bei mehreren Leitungseingängen in ein Gebäude	13
7.6	Erdelektroden, Erdimpedanz und Überspannungen	14
7.7	Anbindung an den Gebäudeblitzschutz	15
7.8	Das andere Leitungsende	15
8	VERSCHIEDENES	16
8.1	Geschirmte Kabel und Erdungskreise	16
8.2	Schutz für Basisband-Übertragungssystemen mit Koaxialkabeln	17
8.3	Schutz für Hochfrequenz-Koaxialkabelsystemen (z.B. Antennenzuleitungen und Kabelfernsehen)	17
8.4	Schutz für das Stromnetz	18
8.5	Überspannungsschutzerden und Funktionserden in der Telekommunikation	19
8.6	Integrierte Erdung für Prozeßanlagen	19
8.7	Explosionsgefährdete Bereiche: Erdung für den Blitzschutz	19
9	ANHÄNGE	21
9.1	Anhang A: Erdelektroden – Widerstand und Überstromteilung, ein einfaches Modell	21
9.2	Anhang B: Glossar	22
9.2	Anhang C: Literaturhinweis	22

ERDUNG FÜR ÜBERSPANNUNGSSCHUTZ – EIN RATGEBER

1 ERDUNG FÜR DEN ÜBERSPANNUNGSSCHUTZ ELEKTRONISCHER BETRIEBSMITTEL

1.1 Einführung

Bei Telematic ist man der Meinung, daß es möglich ist, einen wirtschaftlichen, praktischen Überspannungsschutz für fast alle Elektroniksysteme zu schaffen. Allerdings hängt das Schutzniveau in erster Linie ab von der sachgerechten Installation – auch die besten Überspannungsschutzgeräte sind unnützlich, wenn sie falsch installiert sind. Bezüglich der Installation, und besonders der Erdung erhalten wir häufig Anfragen.

Mit diesem Handbuch möchten wir unsere Erfahrung und Fachkenntnis mit Ihnen teilen und Ihnen somit bei dem Auslegen und Installieren von

überspannungsschutzbedürftigen Anlagen zu unterstützen. Unsere langjährige Erfahrung wurde maßgebend durch die Zusammenarbeit mit unseren Kunden gewonnen, denen wir zu Dank verpflichtet sind. Wir freuen uns auch stets auf Ihre Meinungen und Bemerkungen, die uns dabei helfen, zukünftige Ausgaben dieser Publikation noch nützlicher zu gestalten.

Bei der Verfassung dieses Handbuchs haben wir eine möglichst klare Darlegung des Inhalt angestrebt und uns bemüht, das Thema – welches oft als „schwarze Kunst“ betrachtet wird – zu enträtseln. In der Tat kann eine genaue Einsicht bereits mit einem grundlegenden Theorieverstand der Elektrotechnik gewonnen werden. In der Praxis werden sie eventuell auf Probleme stoßen, die außerhalb des Umfangs dieser Publikation liegen (in diesem Fall berät Sie der technische Beratungsdienst von Telematic gerne), wir sind jedoch der Meinung, daß eine Kenntnis der grundlegenden Prinzipien bei der Behandlung praktischer Probleme immer von Nutzen ist.

Ein kurzes Glossar einiger Fachausdrücke aus dem Bereich Überspannungsschutz finden Sie in Anhang B.

1.2 Praxisbezogene Betrachtungen zur Erdung von Überspannungsbegrenzern: ein Überblick

In diesem Abschnitt wird erläutert **was** getan werden muß, um Überspannungsbegrenzer wirksam zu erden, die restlichen Abschnitte des Handbuchs veranschaulichen **wie** dies zu bewerkstelligen ist.

1.2.1 Schutz der Baustruktur

◆ Sicherstellen, daß das Gebäude das die Vorrichtungen haust den einschlägigen Normen (in Großbritannien BS6651) entsprechend gegen Blitzeinschläge geschützt ist.

1.2.2 Kabelverlegung

◆ Soweit möglich, alle Fremdleitungen (Strom-, Telefon-, LAN- und Antennenkabel sowie metallische Wasser- und Gasrohre) an einem einzigen Eingangspunkt in das Gebäude einführen.

1.2.3 Verbindungen und Erdung

◆ Die folgenden Leitungen über möglichst kurze Potentialausgleichsleiter an einer Stelle (vorzugsweise der Netz-Energieverteilertafel) an eine Erdungsklemme anschließen, um Potentialunterschiede auf ein Mindestmaß zu begrenzen:

- ◆ Metallische Wasser- und Gasleitungen
- ◆ Antennenkabel

◆ Die Erdungsklemme möglichst nahe zur Erde mit der Gebäude-Blitzschutzanlage verbinden.

1.2.4 Überspannungsschutz

◆ Möglichst nahe an der Erdklemme an ALLEN Zuleitern der folgenden Netze geeignete Überspannungsbegrenzer anbringen:

- ◆ Strom
- ◆ Telefon
- ◆ örtliches Datennetz (LAN)
- ◆ Antennen
- ◆ Videokameras

◆ Die Überspannungsbegrenzer über einen möglichst kurzen Potentialausgleichsleiter mit einem Querschnitt von mindestens 2,5² mm an die Erdungsklemme anschließen. Besser noch verwendet man mehrere parallel in Abständen angeordnete Leiter.

◆ Am Besten aber eignet sich Stahlblech anstelle von Kabeln.

◆ Falls möglich auch das ferne Leitungsende mit einem Überspannungsbegrenzer versehen.

1.2.5 Verschiedene, nicht umsetzbare Kabel

◆ Geeignete Überspannungsbegrenzer in der Nähe der strategisch bedeutendsten Einrichtungen installieren (z.B. Faxgeräte und Modems).

◆ Die Überspannungsbegrenzer mit möglichst kurzen Potentialausgleichsleitern mit einem Querschnitt von mindestens 2,5² mm an die Geräteerde (z.B. Netzerde) anschließen. Besser noch verwendet man mehrere parallel in Abständen angeordnete Leiter. Am besten aber eignet sich Stahlblech anstelle von Kabeln.

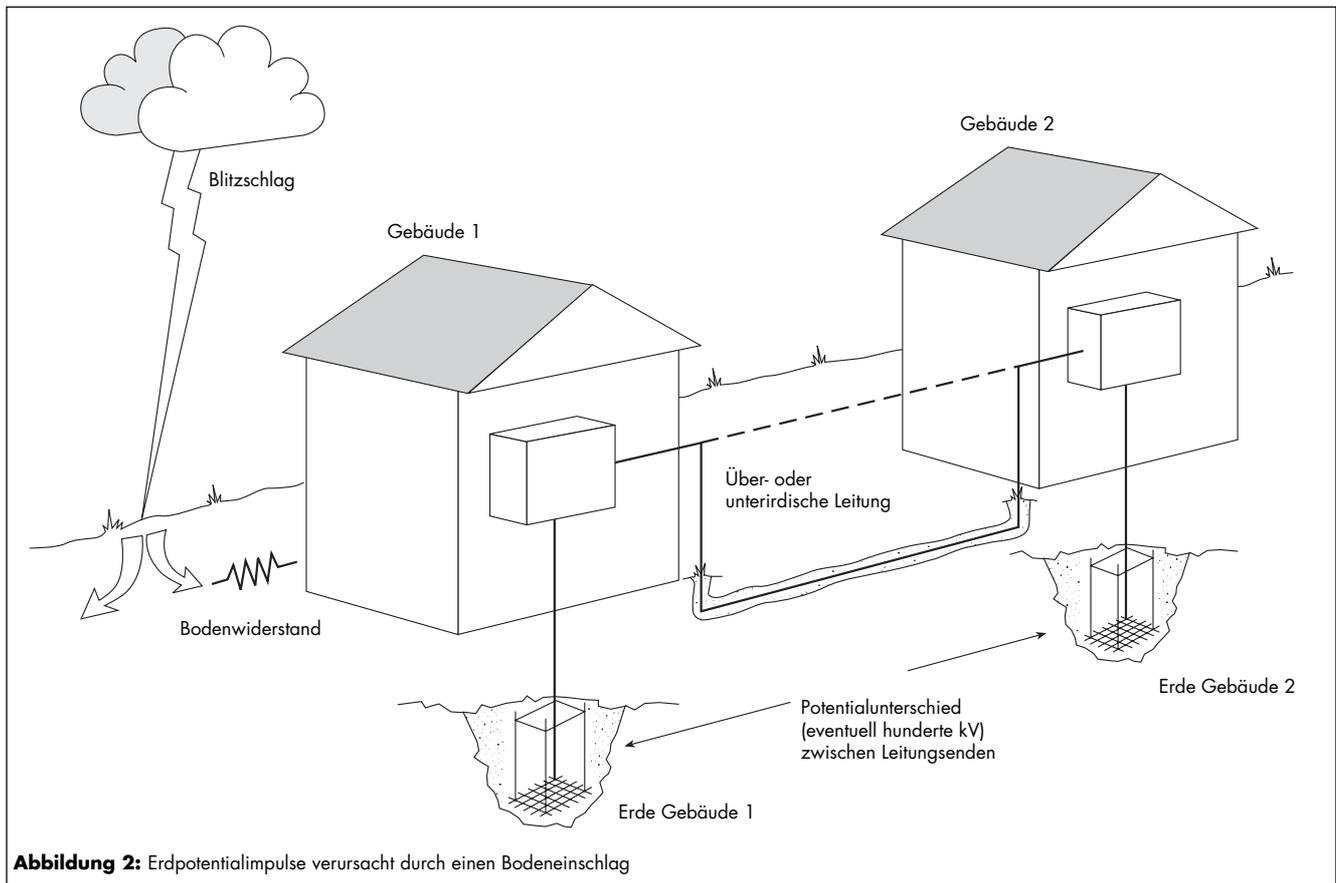


Abbildung 2: Erdpotentialimpulse verursacht durch einen Bodeneinschlag

2.3 Blitzstöße – wie stark sind diese?

In den meisten Fällen wirkt sich glücklicherweise nur ein geringer Anteil der gesamten Energie eines Blitzes auf elektrische Leitungen aus. Aus der Erfahrung hat sich erwiesen, daß die meisten Überspannungsschutzeinrichtungen wirksam sind sofern sie in der Lage sind wiederholte folgendes aufzunehmen:

- a) Spannung: Kilovolt zu ein- bis zweistelligen Werten
- b) Strom: Kiloampere zu ein- bis niedrigen zweistelligen Werten
- c) Dauer: zehn bis mehrere hundert Mikrosekunden

Bevor wir uns näher mit den Gefahren eines Blitzschlags befassen, möchten wir einige Definitionen und Ausdrücke im Zusammenhang mit der Erdung erläutern.

2.4 Was wird mit „Erde“ gemeint?

Die Erdung ist ein oft verwirrendes Thema, das hängt auch damit zusammen, daß der Ausdruck sogar im engen elektrotechnischen Sinn verschiedene Bedeutungen hat. Die folgende Liste verschiedener Erdungen enthält nicht einmal die in Abbildung 3 gezeigten „Extremfälle“:

- a) fremdspannungsfreie Werkserde
- b) (0V-)Kupferbahn auf einer Leiterplatte
- c) Versorgungsnetzerde
- d) Erdungsstift eines Netzsteckers
- e) gemeinsame Negativleitung
- f) Antennen-Erdungssystem
- g) Verteilererde
- h) Störsignalerde
- i) eigensichere Erde
- j) Sammelschiene in einem Schaltschrank
- k) Verbindung zur Fronttafel einer Prüfeinrichtung (z.B. Oszilloskop)
- l) in die Erde getriebener Leitstab

2.4.1 ERDE – eine einfache Definition

In diesem Handbuch bezieht sich der Ausdruck „Erde“ allgemein auf den Nullspannungs-Bezugspunkt einer elektrischen oder elektronischen Anlage.

Anmerkung 1: Eine „echte“ Erde, d.h. also einen universellen Nullspannungs-Bezugspunkt gibt es nicht.

Anmerkung 2: Um eine Unterscheidung zwischen elektrischer Erdung und der eigentlichen Erdoberfläche zu ermöglichen, wird letztere in diesem Handbuch zeitweise mit Erdboden bezeichnet.

Anmerkung 3: In der Praxis erfordern Anlagen, wie z.B. Stromversorgungsnetze oft eine physikalische Erdung, d.h. also eine Verbindung zum Erdboden. Da es sich bei Blitzschlägen um eine Wechselwirkung zwischen Atmosphäre und Erdboden handelt, sind solche Anlagen eventuell schutzbedürftig.

Anmerkung 4: Selbständige elektrotechnische Produkte, z.B. batterie- oder sonnenenergiegetriebene Geräte wie Radios, Taschenrechner und tragbare Kassettenspieler sind nicht galvanisch mit dem Erdboden verbunden und haben deshalb auch keinen Bedarf auf Erdung.

Anmerkung 5: „Erde“ wurde auch definiert als „der Ort zu dem Elektronen nach dem Ende ihres nützlichen Lebens gehen“. Tatsächlich bestehen die meisten Elektronen schon seit der Entstehung des Universums und verdienen aufgrund ihres hohen Alters unseren größten Respekt.

2.5 Erdungsprobleme – grundlegende Fragen

Erdungsprobleme können aus erster Sicht unüberwindlich erscheinen. Sofern aber bei jedem Schritt zwei grundsätzliche Tatsachen beachtet werden ist dies nicht der Fall:

- a) der Pfad der den Strom führen wird?
- b) Die Spannungen (bzw. Potentialunterschiede) die dadurch entstehen?

Dieses Handbuch strebt vor allem eine Antwort auf diese Fragen an. Es sei auch nicht zu vergessen, daß:

- c) Blitzstrom letztendlich in den Erdboden abgeht.
- d) beim Planen einer neuen Installation eine Zeichnung meist nützlich ist.

2.6 Komplettschutz – alles umschließen!

Kann die gesamte Elektronikanlage von einem leitfähigen (z.B. Metall) Gehäuse umschlossen werden, dann verursacht ein um die Außenseite des Gehäuses fließender Störstrom aufgrund des sog. Faraday-Effekt kein Potential im Gehäuseinneren (siehe Abbildung 4): die

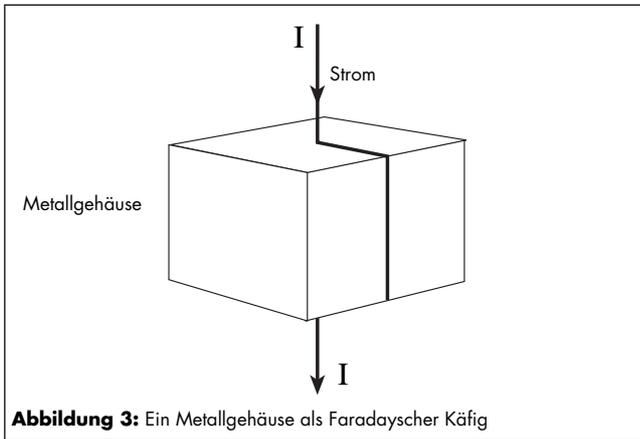


Abbildung 3: Ein Metallgehäuse als Faradayscher Käfig

Elektronik im Gehäuse übersteht dann sogar einen direkten Blitzeinschlag.

Obgleich dieses Konzept zuerst unbedeutend erscheinen mag, spielt es eine wichtige Rolle bei der Luftfahrt. Da Linienflugzeuge durchschnittlich mindestens einmal im Jahr von einem Blitzschlag getroffen werden streben Flugzeugkonstrukteure eine möglichst umschließende Flugwerkkonstruktion an. Flugzeugmodelle und -einrichtungen werden intensiven Prüfungen unterzogen, um sicherzustellen, daß sie Blitzeinschläge unbeschädigt überstehen können.

Auch, daß man bei einem Gewitter sicherer ist wenn man im Auto bleibt wird durch den Faraday-Effekt begründet.

2.7 Musterlösung – der nächstbeste Schutz zur Kapselung

In der Praxis lohnt es sich, das Faradaysche Prinzip beim Planen eines Blitzschutzes im Auge zu behalten.

Ein auf diesem Grundsatz entworfenes, sozusagen „ideales“ System ist in Abbildung 4 gezeigt. Die hervorstechenden Merkmale sind:

- Alle Geräte sind von Metallgehäusen umschlossen.
- Alle Geräte sind direkt auf einer Metallplatte (der Plattenerde) angeordnet, mit dem sie über Potentialausgleichsleiter verbunden sind. Somit verfügt das System über einen einzigen impedanzarmen Nullspannungs-Bezugspunkt.
- Die Plattenerde befindet sich auf Erdbodenhöhe und ist über mehrere Erdungsstäbe mit dem Boden verbunden. Somit wird sichergestellt, daß das Potential der Platte dem örtlichen Erdpotential gleicht.
- Es bestehen keine Verbindungen mit anderen elektronischen Systemen.
- Das System ist von geringer Größe – höchstens einige Quadratmeter – um die Wahrscheinlichkeit eines direkten Blitzeinschlags auf ein Mindestmaß zu reduzieren.

Der Zweck der Plattenerde ist, induzierten Strom eine niedrige Impedanz zu bieten, so daß Spannungen möglichst niedrig gehalten werden. Ein solcher Bereich der keinen oder nur geringe Potentialunterschiede aufweist wird auch Potentialausgleichszone genannt.

Genau was gemeint ist mit einer „niedrigen Impedanz“ hängt in erster Linie ab vom Zusammenhang. Blitzstöße weisen eventuell eine Stromstärke von etwa einem Kiloampere auf. Die dadurch entstehende Spannung beträgt für jeden Kiloampere einen Kilovolt pro Ohm Impedanz.

Die niedrigste Impedanz wird durch eine Platte aus gut leitfähigem Metall geboten (dazu wird vorzugsweise Buntmetall verwendet, da die Hautwirkung – die in ferromagnetischen Legierungen ausgeprägter ist – transienten oder hochfrequenten Strom durch kleinere Leiterschnittflächen leitet. Die Hautwirkung wird im Zusammenhang mit der Überspannungserdimpedanz auch in Abschnitt 5.2 erwähnt.

Bei einer Stromversorgung im Frequenzbereich 50...60Hz übernimmt die Plattenerde die Aufgabe, einem Fehlerstrom bei Stromversorgungsfrequenz einen widerstandsarmen Pfad zu bieten, so daß Leitungsspannungen nicht über einen gesundheitsgefährdenden Wert ansteigen. Metallische Wasser- und Zentralheizungsrohre sind mit dem Erdungs-Schutzleitersystem verbunden, um eine sichere Potentialausgleichszone zu schaffen. Allerdings kann dieses System, obgleich es sich für die Versorgungsstromfrequenz eignet, nicht als impedanzarme Potentialausgleichszone für blitzstoßinduzierte transiente Überspannungen betrachtet werden.

2.8 Die nicht gerade „ideale“ Realität

Das System weist nach wie vor die geerdete Plattenerde auf, ist aber, wie in Abbildung 5 dargestellt, über Kabel mit anderen Systemen verbunden. Dabei kann es sich handeln um Verbindungen an:

- die Netzstromversorgung
- Telefonnetze
- Fernmeßanlagen
- Antennen
- Computernetzwerke
- Lampen außerhalb des Gebäudes

Da die Anlage jetzt durch Leitungen mit der Außenwelt verbunden ist, müssen wir uns mit der Möglichkeit von blitzschlaginduzierten Störimpulsen befassen, insbesondere wie diese Störimpulse durch die Leitungen zu den Geräten gelangen und wie dies durch Überspannungsschutzrichtungen verhindert werden kann.

2.9 Die Gefahren eines Blitzeinschlags: Zusammenfassung

- Blitzschläge zu Boden weisen hohe Stromstärken im Kiloamperebereich auf.
- Da der Erdboden nicht besonders leitfähig ist, entstehen bei einem Stromfluß im Boden hohe Spannungsunterschiede (von mehreren hundert Kilovolt) zwischen verschiedenen Stellen an der Erdoberfläche.

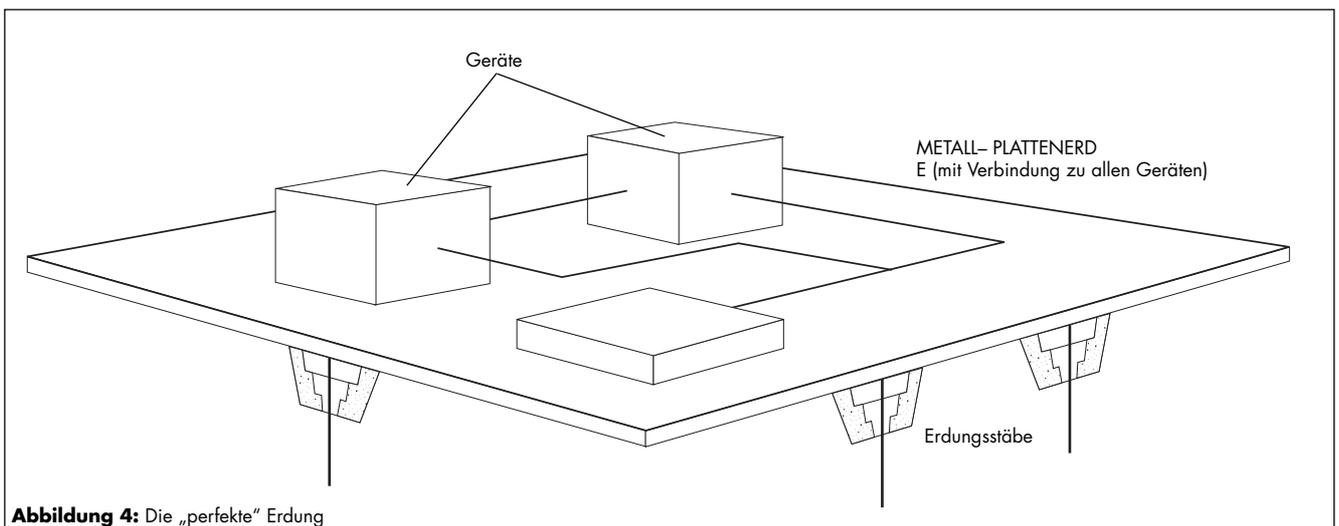


Abbildung 4: Die „perfekte“ Erdung

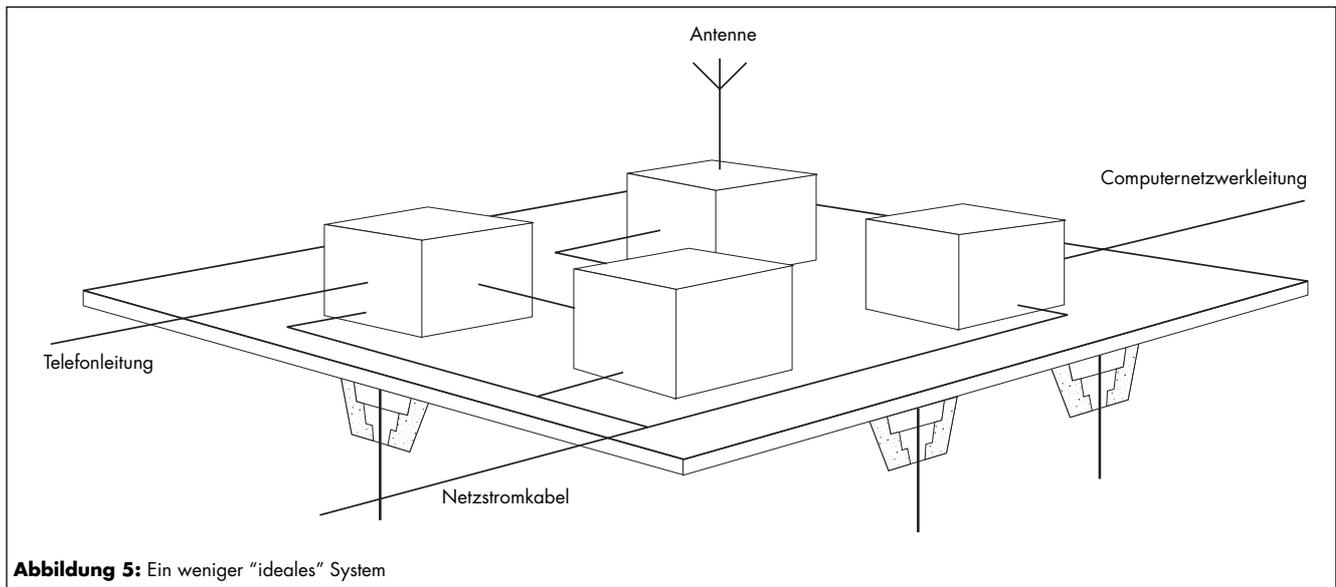


Abbildung 5: Ein weniger "ideales" System

- c) An zwei solchen Stellen können sich beispielsweise zwei durch Leitungen verbundene Gebäude mit elektrischen Installationen befinden. Bei einem Blitzschlag in der Nähe des einen Gebäudes (z.B. innerhalb 1 km) steigt das Erdpotential an und es entsteht ein erheblicher Potentialunterschied zwischen den beiden Installationen.
- d) Ein Spannungsstoß ist zustande gekommen. Sofern er einen Strom verursacht (was üblicherweise aufgrund des beträchtlichen Potentialunterschieds zwischen den Gebäuden der Fall ist), so fließt dieser zwischen den Erdungsstäben der beiden Installationen.

3 ÜBERSpannungen UND ÜBERSpannungSSchutz

3.1 Gegen- und Gleichtaktüberspannungen

Kabel bestehen aus mehreren Leitern. Bei Störimpulsen verschiebt sich das Potential gegenüber Erde allgemein an allen Leitern zugleich, man spricht dabei von Gleichtaktstörungen (Abbildung 6).

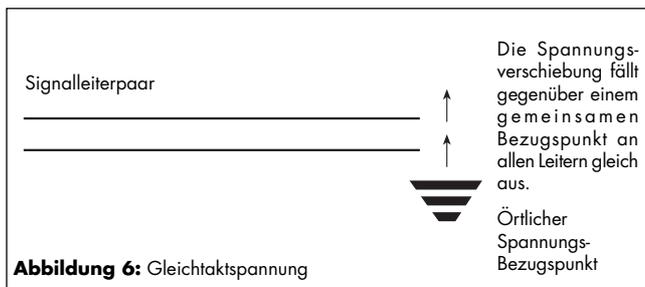


Abbildung 6: Gleichtaktspannung

Es können sich in den Leitern allerdings auch unterschiedliche Spannungen ergeben. Dieser Zustand wird mit Gegentaktstörung bezeichnet (Abbildung 7).

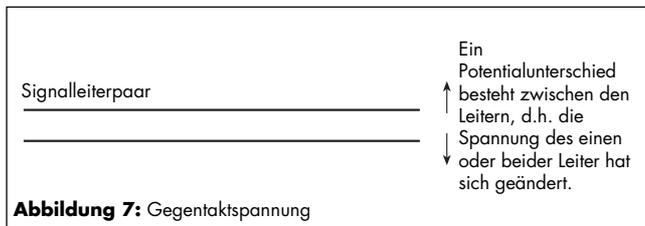


Abbildung 7: Gegentaktspannung

Beide Zustände können Gerätebeschädigungen verursachen. Gleichtaktüberspannungen erreichen in der Regel höhere Werte, Elektronikvorrichtungen sind aber allgemein empfindlicher zu Gegentaktstörungen. Die Überspannungsbegrenzer von Telematic schützen gegen beide Störungsarten.

3.2 Gerätebeschädigungen durch Überspannungen

Um elektronische Geräte beschädigen zu können, muß ein Störsignal bestimmte Merkmale aufweisen:

3.2.1 Das Spannung/Stromstärke-Verhältnis

Zwischen zwei verletzbaren Stellen am Gerät muß eine ausreichende Spannung bestehen um einen starken Stromfluß zu bewirken. Empfindliche Stellen sind beispielsweise Signal- und Energieleiter-Ein- und Ausgänge sowie der Nullspannungs-Bezugspunkt, oft das mit der Stromnetzerde verbundene Gehäuse oder Gestell. Die Spannung bei der ein wesentlicher Stromfluß zustande kommt wird oft Durchbruchspannung oder Durchschlagspannung genannt.

3.2.2 Das Zeit/Energie-Verhältnis

Um eine Beschädigung – z.B. das Schmelzen einer Komponente – hervorzurufen, muß der Strom lang genug bestehen, um genügend Energie in das Gerät einzuspeisen.

3.3 Die Funktionsweise von Überspannungsbegrenzern

Überspannungsbegrenzer (auch Überspannungsschutzvorrichtungen oder Überspannungsableiter genannt) begrenzen transiente Spannungen auf einen Wert bei dem die geschützten Geräte nicht beschädigt werden können, indem sie den Stromstoß sicher durch das Erdungssystem zu Erde ableiten. Die geschützten Geräte werden also umgangen und durch den Störimpuls nicht beeinflusst (siehe Abbildung 8).

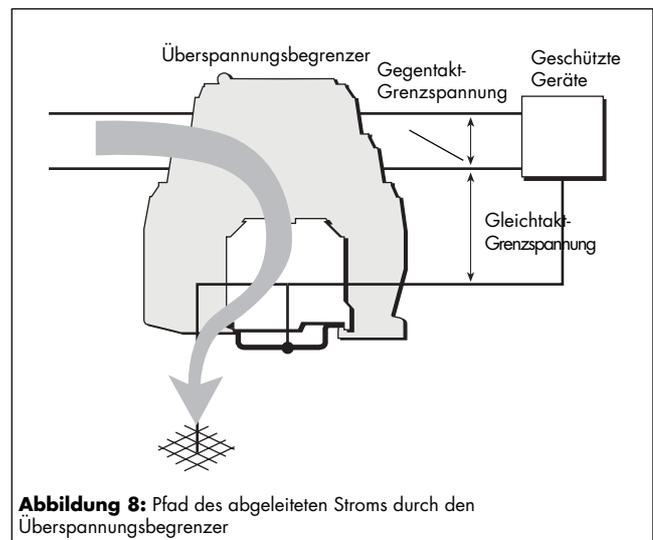
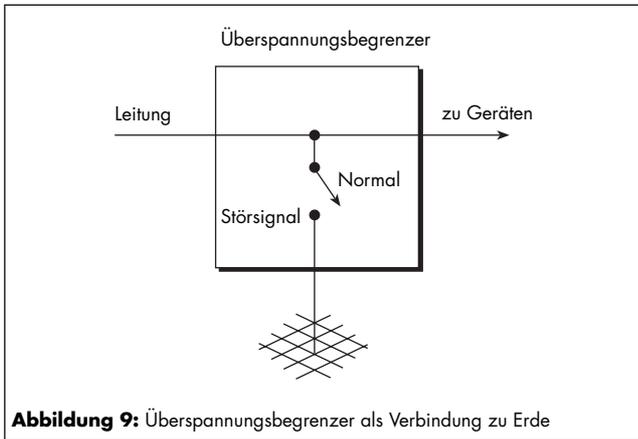


Abbildung 8: Pfad des abgeleiteten Stroms durch den Überspannungsbegrenzer

Überspannungsbegrenzer begrenzen sowohl Gegentakt- als auch Gleichtaktspannungen. Die bei einem Störimpuls zu den Geräten durchgelassene Spannung wird mit Grenzspannung (auch: Durchlaßspannung) bezeichnet.

Überspannungsbegrenzer können quasi als Erdungsverbindungen (Abbildung 9) betrachtet werden, die nur bei einer Überspannung vorhanden sind.



3.4 Was ist schutzbedürftig?

Prinzipiell kann ein Gerät Störsignalen ausgesetzt werden wenn es mit Leitungen in Verbindung steht, die ihren Ursprung außerhalb der Potentialausgleichszone haben in der sich das Gerät befindet. Der Risikofaktor hängt u.a. ab von:

- a) der Kabellänge.
- b) der Blitzschlaghäufigkeit.
- c) der Wahrscheinlichkeit eines Blitzes in die Bauanlage und deren Isolierung.
- d) die Verlegung der Kabel (über- oder unterirdisch). Es ist, wie wir später sehen werden wichtig, ALLE Kabel, die ein bedeutendes Risiko darstellen zu schützen.

Nehmen wir an, das früher erwähnte auf einer Plattenerde aufgebaute System wird an jeder Eingangsleitung durch Überspannungsbegrenzer geschützt (Abbildung 10). Dank der niedrigen Impedanz der Plattenerde ist das System nach wie vor annähernd optimal.

Anmerkung: kleine, alleinstehende Geräte, z.B. Multimeter, Transistorradios und Kassettenspieler erfordern i.d.R. keinen Schutz, da sie nicht direkt mit der Erde in Verbindung stehen.

3.5 Fallstudie: Telefone, Anrufbeantworter und Modems

Diese Fallstudie veranschaulicht die in Kapitel 3 erläuterten Kernpunkte. Obgleich die Studie auf britischen Verfahrensweisen beruht treffen die Prinzipien auch allgemein zu.

Das Telefon stellte bis vor relativ kurzer Zeit die einzige häufig in Privathäusern vorgefundene Kommunikationseinrichtung dar. Seine Energie bezog es über ein Leiterpaar vom öffentlichen Fernsprechnetz: keine elektrische Verbindung mit dem Haus war notwendig. Demzufolge

wurde es (abgesehen von äußerst seltenen direkten Blitzeslägen) auch keinen transienten Gleichtakt-Überspannungen ausgesetzt. Schutz gegen Gegentaktspannungen wurde durch eine Gasentladungsröhre im Anschlußkasten geboten. Zwar kann die Grenzspannung einer Gasentladungsröhre während der ersten Mikrosekunden einer Überspannung mehrere hundert Volt betragen, dies ist aber im Normalfall ausreichend; beim Normalbetrieb können Gegentaktspannungen bis zu 180 V entstehen. Zu den Telefonen gesellten sich allmählich Anrufbeantworter und später noch Computermodems für den Internetzugang über das öffentliche Telefonnetz dazu. Diese netzstromgespeisten Geräte sind begrenzt durch die Primär/Sekundär-Trennung des Netzstromtransformators galvanisch getrennt. Durch einen Blitzschlag kann aber eine Gleichtaktspannung erzeugt werden, die diese Trennung und die Stromkreiselemente durchbricht. Ein Strompfad entsteht sodann zwischen der Telefonleitung und dem Stromnetz, durch den der Anrufbeantworter oder das Modem beschädigt werden können.

Sogar die normalerweise vorhandene Doppelisolierung ohne direkte Verbindung mit dem Netzerdungsleiter ist machtlos gegen eine transiente Überspannung im Kilovoltbereich. Darüber hinaus sind die Neutral- und Erdleiter an einer Stelle in der Versorgung verbunden (bei modernen Installationen ist das die Stelle an der die Netzzuleitung in das Gebäude eintritt).

Zusammenfassend werden Beschädigungen verursacht durch die Anwesenheit eines Spannungsunterschieds zwischen den Telefon Signalleitern und der örtlichen Erde – in diesem Fall die Stromnetzerdung – welche groß genug ist um das Durchbruch-potential des Netzteils und des Geräts zu überwinden. Strom wird dann lang genug durch Telefonleitung, Geräte und Netzteil zum Stromnetz geleitet, um den Bauteilen genügen Energie zuzuspeisen und eine Beschädigung zu bewirken. Letztlich fließt der Strom an der Stelle zu Boden ab an der das Stromnetz mit dem Erdboden verbunden ist.

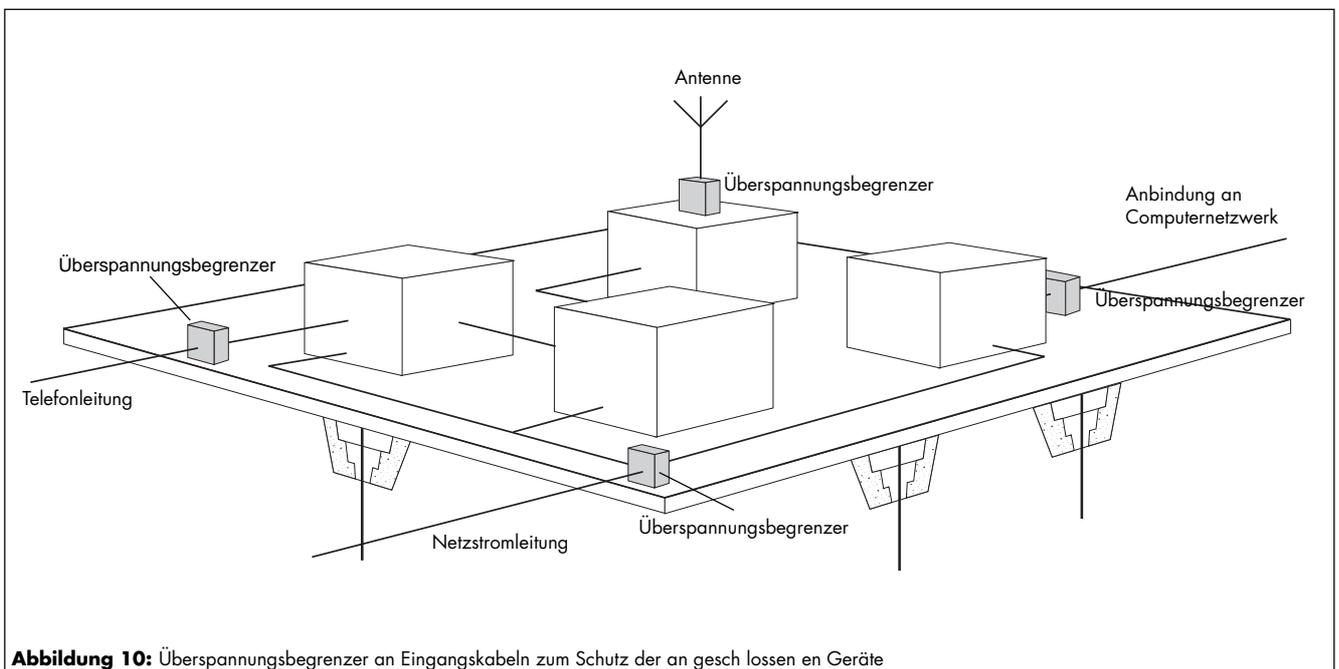
4 ERDUNG FÜR ÜBERSpannungSSCHUTZ IN DER PRAXIS

4.1 Einführung: Impedanz und Position der Erde

Tatsächlich sind nur wenige Anlagen an eine Plattenerde oder ein Grundnetz gebunden. Die „echte“ Erdung wird mit Kabeln bewerkstelligt. Zwei Überlegungen sind hier besonders wichtig:

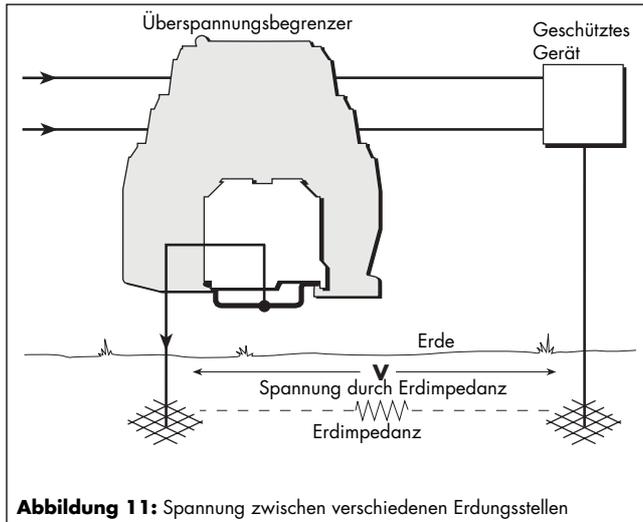
- a) Was ist der wahrscheinliche Pfad des Stromstoßes?
- b) Welche Spannung (Potentialunterschied) entsteht dabei?

Die Antwort zu diesen Fragen hängt ab von der Position und Impedanz der Überspannungserde.



4.1.1 Beispiel

Die Verwendung getrennter Verbindungen zum Erdboden, wie z.B. separate Erdungsstäbe, können unerwünschte, oft starke Spannungen durch die Impedanz der Erde verursachen (Abbildung 11).



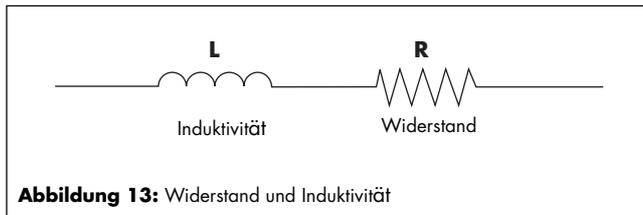
Nehmen wir an, ein Überspannungsbegrenzer mit einer Grenzspannung von 16V wird wie in Abbildung 11 gezeigt angeschlossen. Die Impedanz vom Körper des Überspannungsbegrenzers zur Geräteerde durch den Boden ist 10Ω. Dies ist, je nach den Bodenbedingungen ein realistischer Wert.

Eine Stromspitze von 100 A zwischen den Erdungsstellen würde eine Spannung von 1000V induzieren. Der Überspannungsbegrenzer läßt zwischen den Ein- und Ausgangsklemmen eine maximale Spannung von 16V zu, das geschützte Gerät wird also einer Spannung von 1016V ausgesetzt: eine Beschädigung ist unvermeidbar! Glücklicherweise gibt es, wie wir im nächsten Kapitel sehen werden eine Abhilfe dafür.

5 IMPEDANZ DER ÜBERSpannungSSCHUTZERDE

5.1 Induktivität und Widerstand

Stromleiter weisen einen Widerstand und eine Induktivität – auch Scheinwiderstand genannt – auf [siehe Verweis 4]. Die Einwirkung dieser Eigenschaften (Abbildung 12) sind additiv, da sie effektiv in Reihe geschaltet sind.



Der Spannungsabfall entlang dieses Kabels ergibt sich nach der Formel:

$$V = IR + L \frac{di}{dt}$$

bei der V = Spannung, I = Strom, R = Widerstand, L = Induktivität und $\frac{di}{dt}$ = Stromgradient.

Bei niederen Frequenzen, wie etwa 50Hz-Netzstrom ist die Induktivität in der Praxis meist unbedeutend; nur der Widerstand muß berücksichtigt werden.

Der Widerstand ist abhängig von dem verwendeten Leitermaterial. Er steht bei einem Leiter mit uniformem Querschnitt im Verhältnis zur Länge des Leiters und im inversen Verhältnis zu dessen Querschnittsfläche:

$$R = \frac{\rho l}{A}$$

wobei R = Widerstand (Ω), ρ = spezifischer Widerstand (Ω.m), l = Länge (m) und A = Querschnittsfläche (m²).

Bei Blitzschlägen und elektrostatischen Entladungen – letztere verfügen über eine extrem steile Anstiegsflanke – ist die Induktivität

von größerer Bedeutung. Eine für die normale Netzfrequenz ausreichende Erdung kann unzureichend sein als Schutz gegen Blitzstöße.

Die Induktivität ist etwas komplizierter als der Widerstand. Für einen geraden Draht wird sie bestimmt mit:

$$L = 0,21 \{ \log_e \frac{2l}{r} - 1 \} \text{ Mikrohenry } (\mu H)$$

wobei l = Länge und r = Radius (beide in Metern).

Anmerkung: In den meisten Fällen ist die Drahtlänge größer als der Durchmesser; die Induktivität steigt bei einem größeren Durchmesser nur ein wenig an. Die Länge allerdings wirkt sich, wie man in Tabelle 1 sieht maßgebend aus auf die Induktivität. Die angeführten Werte beziehen sich auf eine Stoßspitze von 1 kA und einer maximalen Anstiegsflanke von 100 A/μs durch eine Kupferleitung. Diese Werte stellen einen denkbar realistischen Zustand dar.

Tabelle 1

Ohmsche Länge (m)	Induktive Schnittfläche (mm²)	Widerstand (Ω)	Induktanz (μH)	Spitzen-spannung (V)	Spitzen-spannung (V)
1	1	0,017	1,4	17	144
1	2,5	0,0068	1,3	6,8	134
1	10	0,0017	1,2	1,7	120
10	1	0,17	19	170	1895
10	2,5	0,068	18	68	1803
10	10	0,017	16,6	17	1664

Anmerkung: Die ohmschen und induktiven Spitzen-Spannungswerte werden nicht zu einem Gesamtwert zusammengerechnet da sie nicht zur selben Zeit entstehen. Die durch den Leitungswiderstand entstehende ohmsche Spannung erreicht ihre Spitze gleichzeitig mit dem Spitzenstrom; die induktive Spannung erreicht ihren Höchstwert wenn die Anstiegsflanke am steilsten ist. An der Spitze der Stromwelle ist der Anstieg, und somit auch die induktive Spannung null.

Aus den Werten in Tabelle 1 ergibt sich der folgende Sachverhalt:

- Die induktive Spannung ist um vieles höher als die ohmsche Spannung.
- Der Widerstand steht im Verhältnis zur Länge; die Induktivität steigt mit zunehmender Länge aber wesentlich schneller an (die Induktivität eines 10 m langen Drahts beispielsweise ist mehr als 10mal größer als die eines ein Meter langen Drahts).
- Der Drahtdurchmesser wirkt sich nur unwesentlich auf die Induktivität aus. Ersetzt man den Leiter mit Querschnitt 2,5mm² durch einen mit 10mm² (d.h. man verdoppelt den Durchmesser), wird die Induktivität um weniger als 10 % herabgesetzt. Da dünnere Kabel sich leichter biegen und installieren lassen lohnt sich die Verwendung größerer Leitungen nur, wenn ihre mechanische Festigkeit eine Rolle spielt..

Daraus läßt sich schließen daß alle Erdungskabel für den Überspannungsschutz möglichst kurz zu halten sind.

Für den Normalfall empfehlen wir für die Überspannungsschutzerdung Leiter mit einer Querschnittsfläche von mindestens 2,5mm². Diese lassen sich leicht installieren, sind aber groß genug, um bei einer Überspannung nicht durchzubrennen. Wie aber bereits erwähnt können zwecks mechanischer Festigkeit auch dickere Leiter verwendet werden.

Anmerkung 1: Daumenregel für Kabel bis zu einigen Metern Länge – mindestens 100 V entstehen bei einem Blitzschlag pro kA für jedem Meter des Leiters, also 100 V/m/kA. Dieser Wert hat als Grundlage eine Anstiegsflanke von 100 A/μs. Bei einem Leiter von Länge 1 m mit Querschnitt 2,5 mm² und einer 8/20μs-Stromimpulsquelle (siehe Abschnitt 5.4) beträgt die Anstiegsflanke 200 V/kA.

Anmerkung 2: Induktive transiente Spannungen sind Gleichtaktimpulse. Telematic-Überspannungsbegrenzer weisen eine sehr geringe interne Induktivität auf, so daß Gegentaktüberspannungen effektiv begrenzt werden, egal wie groß der Leiterquerschnitt ist.

5.2 Eine Bemerkung zur „Hautwirkung“

Hochfrequenter Strom durch einen Leiter erzeugt ein elektromagnetisches Feld, welches u.a. verursacht, daß der Strom dem Äußeren des Leiters entlang strömt. Dieses Phänomen wird mit „Hautwirkung“ bezeichnet, die Dicke der sich ergebenden Leitschicht ist die „Hauttiefe“. Je höher die Frequenz, desto geringer ist diese Hauttiefe. Folglich, da der Strom nur durch einen Teil des Leiterquerschnitts geführt wird, ist der effektive Leitungswiderstand größer als der Widerstand bei Gleichspannung.

Bei einem Kupferleiter ist die Hauttiefe bei 50Hz etwa 10mm; die Hautwirkung ist also weiters kein Problem. Blitzschlaginduzierte Überspannungen weisen jedoch wesentlich höhere Frequenzkomponenten auf (bis zu zweistelligen Werten im kHz-Bereich). Da die Hauttiefe im Verhältnis zur Quadratwurzel der Inverse der Frequenz steht, beträgt sie für Kupfer weniger als 1mm.

Die Hautwirkung bewirkt, daß die ohmschen Spannungen höher sind als die in Tabelle 1 dargestellten. Dabei liegen diese Werte vermutlich unter dem zweifachen der angeführten ohmschen Spannungen. Da auch diese höheren Werte wesentlich geringer sind als die Induktivität, gilt nach wie vor der Grundsatz: die Kabellänge spielt eine wichtigere Rolle als der Durchmesser – die Hautwirkung negiert einfach die durch einen größeren Durchmesser gewonnenen Vorteile.

5.3 Induktivität und Überspannungen – aus anderer Sicht

Induktivitäten speichern Energie in der Form eines Magnetfelds. Ist die transiente Überspannung groß genug, um einen Stromstoß zu verursachen, wird diese Energie befreit und kann mit dem Leiter verbundene Geräte beschädigen. Die in einer Induktivität gespeicherte Energie ergibt sich nach der Formel:

$$E = L \cdot I^2/2$$

bei der I der Stromspitzenwert ist.

Bei Spitzenstrom 1 kA und der Induktivität eines Leiters mit Querschnitt 2,5mm² aus Tabelle 1 ergeben sich die folgenden Werte:

Tabelle 2

Länge (m)	Induktivität (µH)	Gespeicherte Energie (J)
1	1,3	0,65
10	18	9

Diese Energie reicht ohne weiters aus, um Elektronenlemente zu beschädigen. Halbleiterübergänge beispielsweise erleiden bereits bei einer Energie im Mikrojoulebereich (1 µJ = 10⁻⁶ J) einen Schaden.

Anmerkung 1: Ein Joule ist ungefähr erforderlich, um einen durchschnittlich großen Apfel einen Meter emporzuheben. Fängt man einen aus einem Meter Höhe fallengelassenen Apfel, entspricht der Aufprall auf der Hand einer Energie von etwa einem Joule.

Anmerkung 2: Bisher wurde von der Annahme ausgegangen, daß alle Kabel geradlinig verlaufen. Biegungen in Leitungen erhöhen deren Induktivität, deshalb werden Drahtspulen häufig als „Induktoren“ eingesetzt.

5.4 Überspannungen in Leitungen – einige Meßwerte

In diesem Abschnitt werden die bei simulierten Blitzstößen erzielten Meßergebnisse und die daraus zu schließenden Folgerungen beschrieben.

Zur Überspannungsprüfung werden Standard-Wellenformen eingesetzt. Für die hier erwähnten Prüfungen wurde durchgehend die in Abbildung 13 dargestellte Wellenform verwendet, eine sog. 8/20µs-Wellenform, da sie innerhalb 8 µs auf den Spitzenstrom ansteigt und nach 20 µs auf die Hälfte des Spitzenwerts abfällt.

Anmerkung: Diese Definition ist nicht akkurat, da die Wellenform mathematisch definiert ist. In der Praxis ist sie jedoch zufriedenstellend. Die Annäherung in Abbildung 13 wurde von einem Stoßgenerator erzeugt.

(Um das Ergebnis in Abbildung 13 zu erzielen, wurde ein Spitzenstrom von etwas über 1 kA verwendet. Ein Kupferblech wurde zwecks Bezugnahme an den Klemmen des Stoßgenerators angelegt. Der Abstand zwischen den Klemmen ist 10cm. Eine Spitzenspannung von 5V wurde erzeugt. Das Kupferblech wurde durch einen Draht von 16

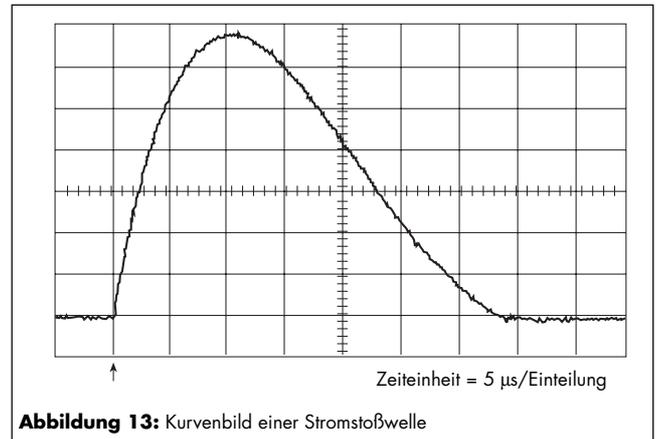


Abbildung 13: Kurvenbild einer Stromstoßwelle

SWG (Standard Wire Gauge – britische Drahtlehre) ersetzt, woraus sich eine Spannung von 27V ergab. Die restlichen Prüfungen wurden mit 1m langen Schleifen zwischen den Klemmen durchgeführt.

Die an drei meterlangen Leitern anliegende Spannung ist in Tabelle 3 angeführt.

Tabelle 3

Induktive	Leitertyp Spannungsspitze (V)
Kabel 2,5mm ²	250
Kabel 10mm ²	200
'90A' Umflechtung 10mm ²	200
10-Leiter-Bandkabel*	170

*Anmerkung: Jeder der zehn Leiter besteht aus 7 Adern von je 0,2 mm Durchmesser. Gesamte Querschnittsfläche = 2,2 mm²

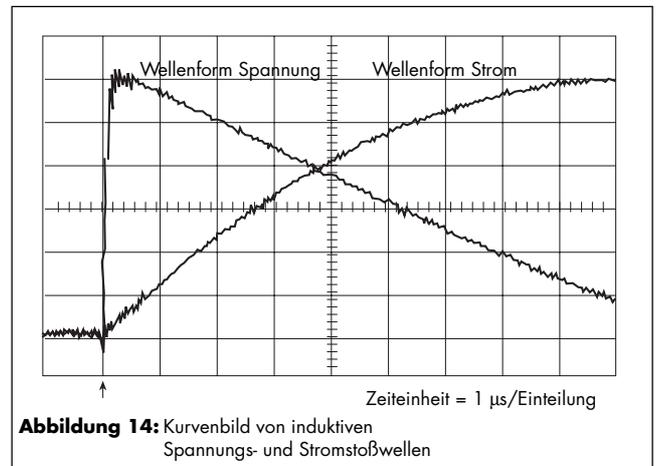


Abbildung 14: Kurvenbild von induktiven Spannungs- und Stromstoßwellen

Abbildung 14 veranschaulicht das zuvor erwähnte Verhältnis zwischen der induktiven Spannung und dem daraus entstehenden Strom.

Tabelle 4 zeigt die Wirkung der elektrischen Parallelisierung von ein Meter langen Leitern mit Durchmesser 2,5 mm² zwischen den Stoßgeneratorklemmen.

Tabelle 4

Leitertyp	Spitzen-Stoßspannung (V)
Einfaches Kabel	250
2 Kabel, ähnliche Pfade	170
4 Kabel, ähnliche Pfade	130
4 Kabel, unterschiedliche Pfade	80

Man sieht, daß zwei oder mehr Kabel mit unterschiedlichen Pfaden eine niedrigere Grenzspannung aufweisen als ein einziges Kabel mit größerem Durchmesser. Schon ein geringer Abstand ergibt bessere Werte. Je größer die Entfernung zwischen den Leitern (vorausgesetzt sie werden dadurch nicht übermäßig lang), desto geringer fällt die wechselseitige magnetische Kopplung und somit die Gesamtinduktivität aus.

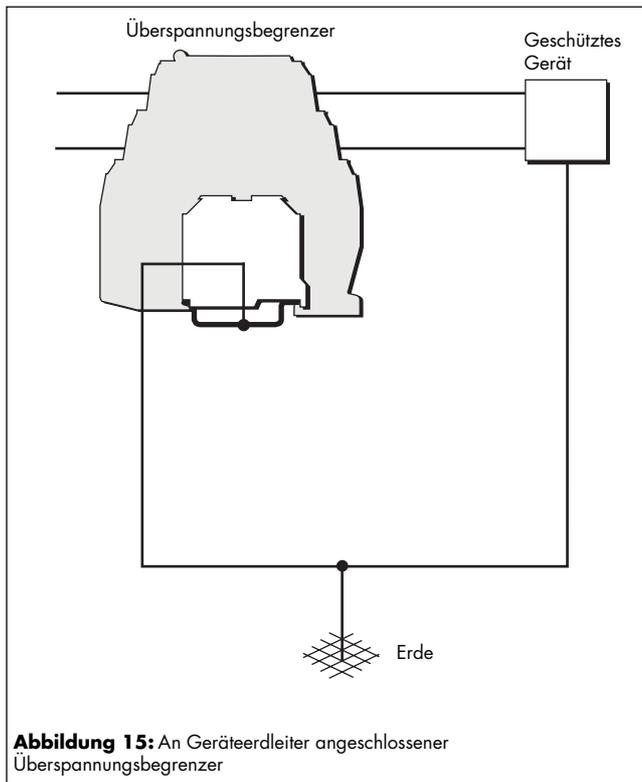
5.5 Induktivität: Zusammenfassung

- a) Soweit möglich lohnt sich die Verwendung von bestehenden Blech-Bauteilen als Leiter, z.B. Metallpaneele und Gehäuse.
- b) Bei Leitern mit rundem Querschnitt ergeben größere Durchmesser keine wesentliche Verbesserung der Leiteigenschaften.
- c) Flache Leiter weisen bessere Eigenschaften auf als runde Kabel mit dem selben Durchmesser.
- d) Eine deutliche Verbesserung läßt sich erzielen durch mehrere, parallel geschaltete in Abständen von mehreren Zentimetern verlaufende Leiter.
- e) Eine aus mehreren geraden, flachen parallelen Leitpfaden bestehende Vorrichtung wird mit „Blech“ oder „Panel“ bezeichnet!

6 ANORDNUNG DER ÜBERSPANNUNGSSCHUTZERDE

6.1 Das Problem mit einer hohen Impedanz bei Überspannungsschutzerde

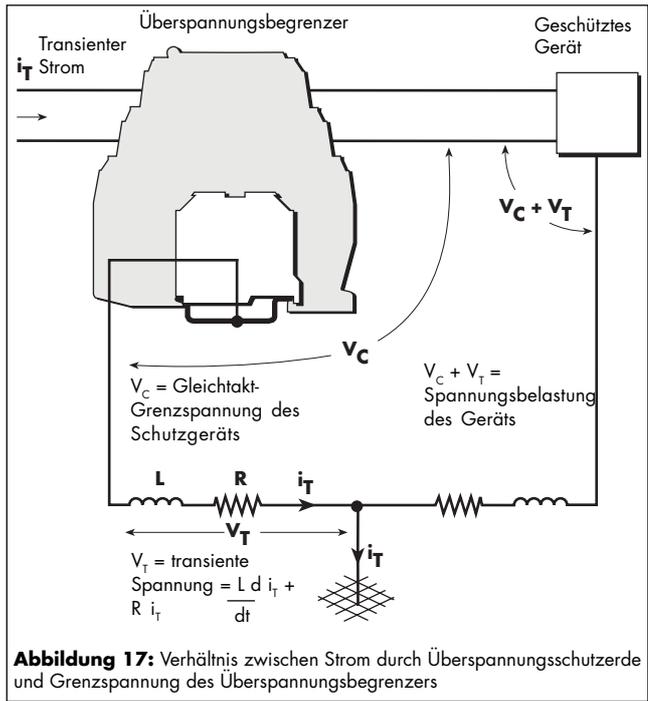
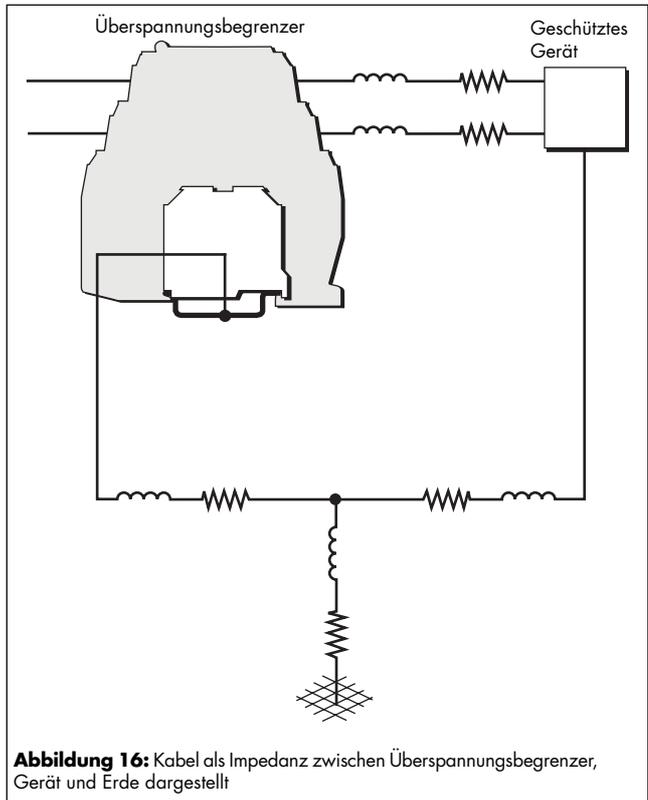
Dieser Abschnitt befaßt sich mit dem Problem einer übermäßig hohen Überspannungserdimpedanz. Abbildung 15 zeigt einen zwischen einer Signaleingangsleitung (hier ein Leiterpaar) und einem Gerät geschalteten Überspannungsbegrenzer. Der Überspannungsbegrenzer ist mit der Geräteerde verbunden (typisch der Schutzerdleiter), welche wiederum zu Boden geerdet ist. Daraus ergibt sich ein relativ langer Pfad.



(Die Kabel können durch ihre Ersatzimpedanz – die Induktivität in Reihe mit einem Widerstand – dargestellt werden (siehe Abbildung 16).

Ein Gleichtaktstoß am Kabel weist hin auf eine transiente Spannung zwischen dem Kabel und der Erdverbindung. Der Überspannungsbegrenzer schaltet und leitet einen zunehmenden Strom zu Erde ab. Die am Überspannungsbegrenzer anliegende Spannung wird auf dessen normale Durchlaßspannung begrenzt. Aufgrund der relativ hohen Impedanz der Überspannungsschutzerde liegt an ihr eine hohe Spannung an, welche zusammen mit der Durchlaßspannung des Überspannungsbegrenzers auch an das geschützte Gerät weiter geleitet wird (Abbildung 17). Bei einer Beschädigung im Gerät entsteht ein weiterer Leitpfad (Abbildung 18).

Es sei zu beachten, daß der Strom jetzt durch das „geschützte“ oder „sichere“ Ende des Überspannungsbegrenzers fließt. Hat der Strompfad eine ausreichend niedrige Impedanz, können das Gerät und die Ausgangskomponenten des Überspannungsbegrenzers Beschädigungen erleiden.



6.2 Neuanordnung der Erdverbindung zur Senkung der Grenzspannung

Durch ein Umstellen der Erdverbindung kann die Grenzspannung reduziert werden. Wird die Geräteerde (d.h. der Nullspannungs-Bezugspunkt) am Erdungspunkt des Überspannungsbegrenzers angeordnet, ergibt sich die in Abbildung 19 illustrierte Konfiguration. Bei Abbildung 20 sind zusätzlich die entstehenden Spannungen und Stromwege angezeigt. Das geschützte Gerät wird nun einer induktiven Überspannung am Erdleiter ausgesetzt. Zwischen der Verbindung zu Boden und dem Überspannungsbegrenzer entsteht nach wie vor eine beträchtliche transiente Überspannung, das Gerät ist aber davor geschützt und erhält nur mehr die Grenzspannung des Überspannungsbegrenzers. Somit ist alles in Ordnung. In Abschnitt 7 werden wir sehen, wie Überspannungsbegrenzer in der Praxis nach Abbildung 19 und 20 angeordnet werden können.

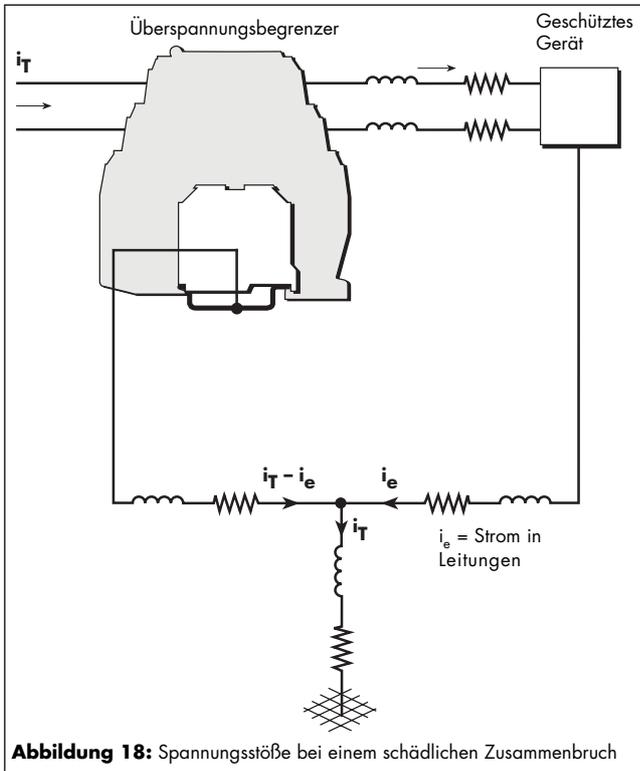


Abbildung 18: Spannungsstöße bei einem schädlichen Zusammenbruch

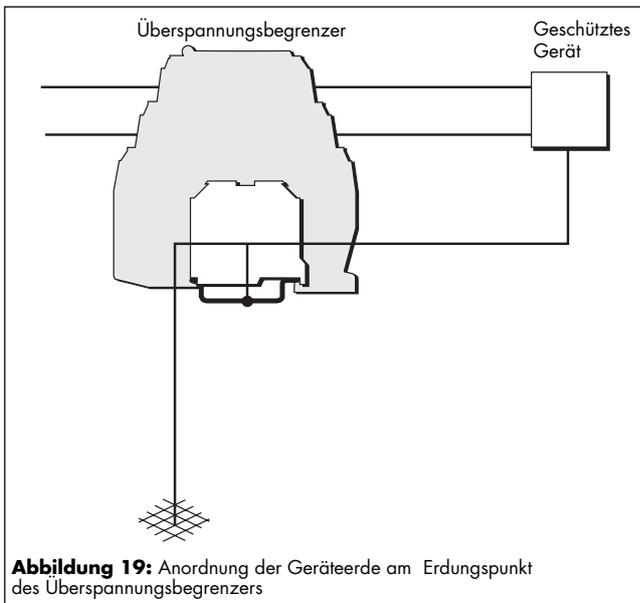


Abbildung 19: Anordnung der Geräteerde am Erdungspunkt des Überspannungsbegrenzers

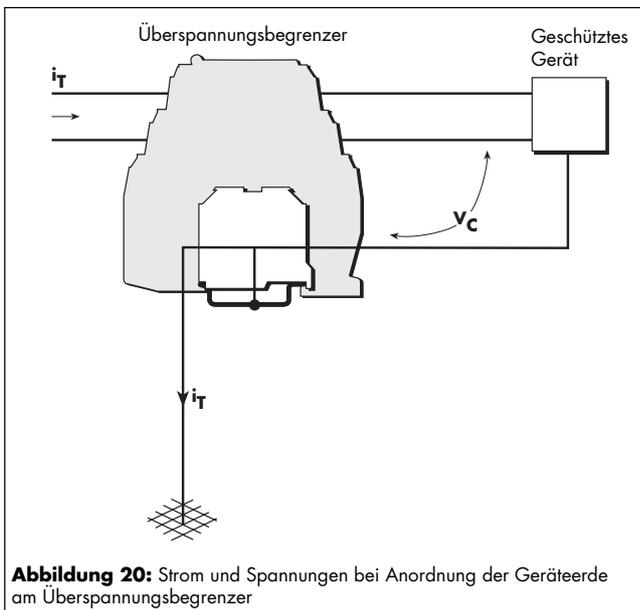


Abbildung 20: Strom und Spannungen bei Anordnung der Geräteerde am Überspannungsbegrenzer

6.3 Verwendung einer „Überspannungsverbindung“ bei einer nicht versetzbaren Erdverbindung

Manchmal ist ein gewisser Abstand zwischen dem Überspannungsbegrenzer und dem geschützten Gerät von der gemeinsamen Erde unvermeidbar (Abbildung 21). Sofern der Überspannungsbegrenzer und das Gerät nahe zusammen angeordnet werden können, so kann die Grenzspannung durch eine möglichst kurze Verbindungsleitung (eine sog. Überspannungsverbindung) zwischen den beiden reduziert werden. Stromstöße werden jetzt auf die Erdungen des Überspannungsbegrenzers und des Geräts aufgeteilt, und die induktive transiente Spannung wird auf den an der Überspannungsverbindung anliegenden Wert reduziert.

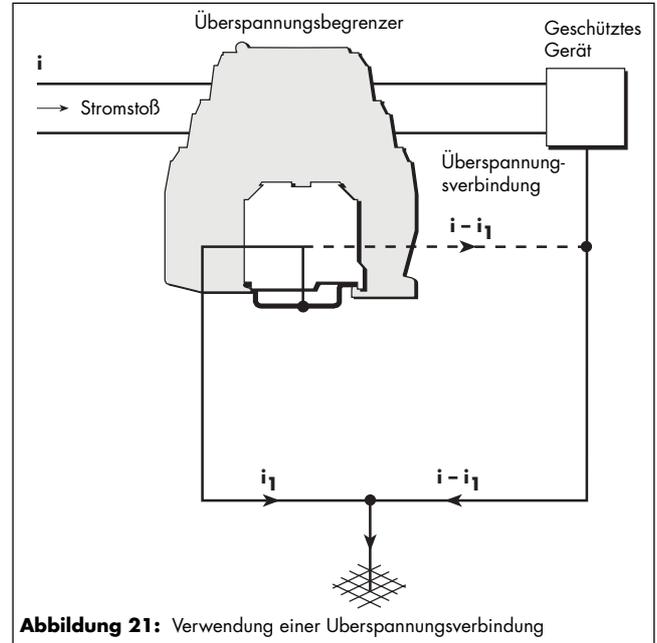


Abbildung 21: Verwendung einer Überspannungsverbindung

Zusätzlich zu möglichst kurzen Erdleitern ist bei Verwendung einer Überspannungsverbindung (Abbildung 21) auch eine hohe Stoßimpedanz der Geräteerdeleiter im Vergleich der des Überspannungsbegrenzers vorteilhaft. Dies kann durch Verwendung eines längeren, gewickelten Leiters erzielt werden und bewirkt eine geringere Stromhöhe in der Überspannungsverbindung und deshalb eine niedrigere Grenzspannung.

Anmerkung: Die Geräteerden DÜRFEN NICHT mit Widerständen versehen werden, da dies die Sicherheit beeinträchtigen kann.

7 KONFIGURATION UND INSTALLATION VON ERDUNGSANLAGEN

7.1 Sternpunktterdung

Eine typische Installation besteht aus mehreren jeweils an die Erde angeschlossenen Geräten und Vorrichtungen. Bei einer Sternpunktterdung kommen die einzelnen Erdleiter an der selben Stelle zusammen (Abbildung 22).

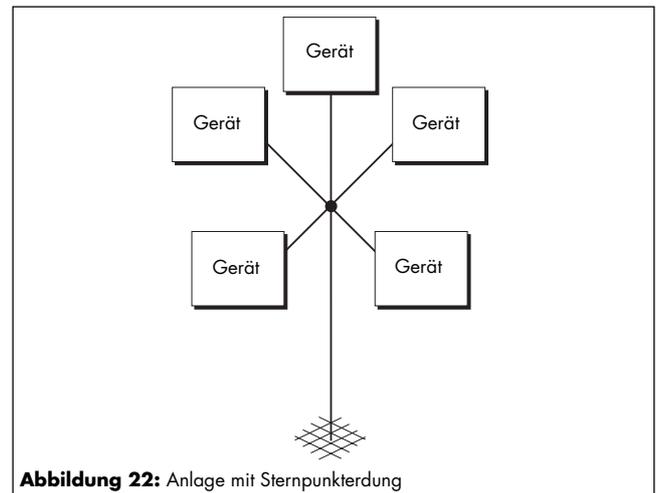


Abbildung 22: Anlage mit Sternpunktterdung

In der Regel werden die einzelnen Geräte auch durch andere Leitungen verbunden, diese werden aber in Abbildung 22 zwecks Übersichtlichkeit nicht dargestellt.

Zunächst untersuchen wir was geschieht wenn die Erdverbindung eines einzigen Geräts Strom führt (Abbildung 23). Dabei sei nicht zu vergessen, daß der Zweck einer Erdungsanlage das Aufrechterhalten des gleichen Potentials an allen verbundenen Geräten ist. Der Strom i entwickelt in der Impedanz Z der Erdverbindung eine Spannung V , dieser Potentialunterschied besteht zwischen dem Gerät und dem restlichen System. Typisch entwickelt sich eine deutlich höhere Spannung an der gemeinsamen Erdverbindung, diese wirkt sich aber nicht aus auf den Potentialunterschied zwischen den Geräten, deren Potential immer einheitlich ist.

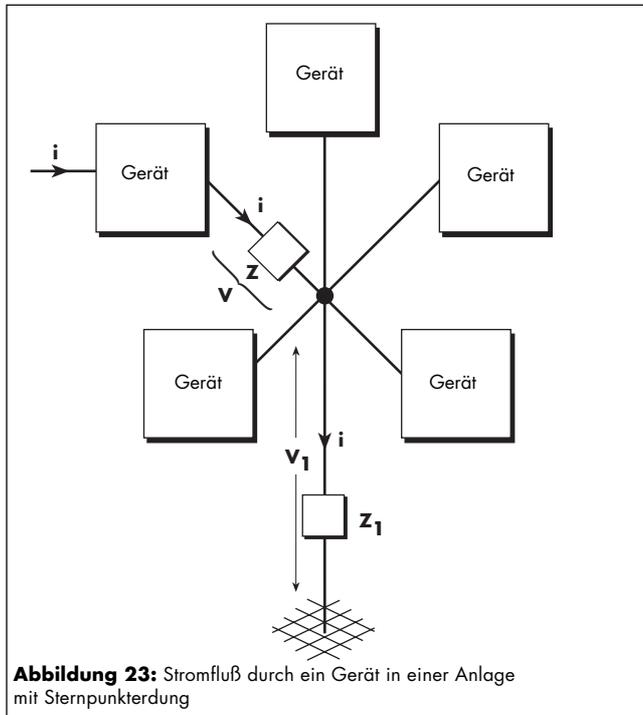


Abbildung 23: Stromfluß durch ein Gerät in einer Anlage mit Sternpunktterdung

Der Vorteil eines Sternpunktsystems wird deutlich wenn man es vergleicht mit einem Erdungssystem bei dem mehrere Geräte an verschiedenen Stellen an eine gemeinsame Erde angeschlossen sind (Abbildung 24). Diese Auslegung illustriert den Worst-Case-Zustand, bei dem der Strom im Erdleiter unterschiedliche Potentiale an den Geräten verursacht.

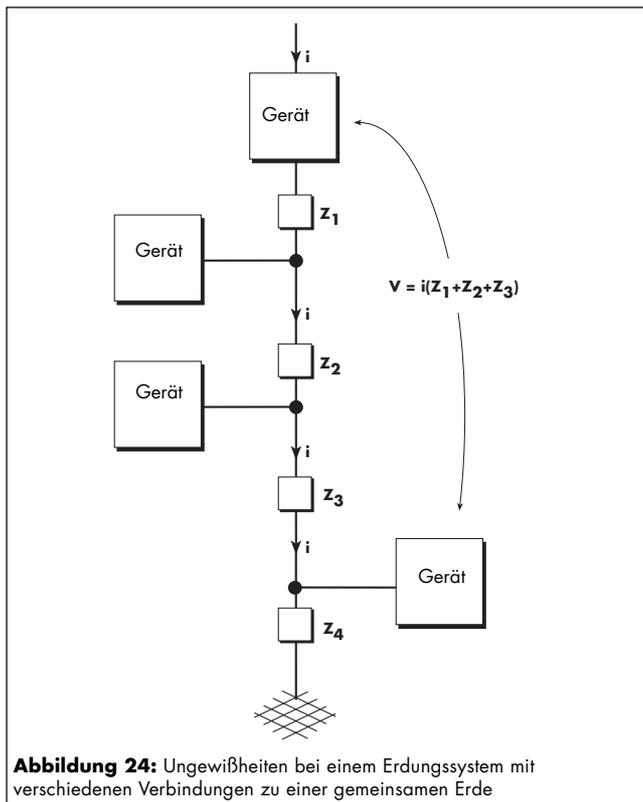


Abbildung 24: Ungewißheiten bei einem Erdungssystem mit verschiedenen Verbindungen zu einer gemeinsamen Erde

7.2 Implementierung einer Sternpunktterdung

7.2.1 Grundsätze

Eine typische Installation weist ein Schutz-Erdungssystem auf, wie ihn z.B. der Stromnetz-Schutzerdungsleiter bereitstellt. Im Idealfall wird das Wechselspiel zwischen Überspannungsbegrenzererde und Schutzerde durch eine Sternpunktanordnung auf ein Mindestmaß reduziert. Das kann folgendermaßen bewerkstelligt werden:

Zuerst ist die Stelle am Schutzerdssystem zu ermitteln, die am nächsten liegt zum Erdboden. In einer Fabriks- oder Büroanlage ist das meist die Erdklemme der Haupt-Energieverteilertafel, die den Netzstrom im Gebäude verteilt. An dieser Stelle, die den Sternpunkt der Anlage bilden soll, werden alle Überspannungsbegrenzer über möglichst kurze, direkte Leitungen geerdet. Somit wird Stromstößen ein direkter Pfad zu Erde gewährleistet, der sich nicht auf das Gebäude-Schutzerdungsanlage auswirkt. Wie bereits erwähnt, erzeugt dieser Strom eine Spannung zwischen der Erdklemme und der Verbindung zum Erdboden. Das Potential der gesamten Erdungsanlage steigt relativ zur Bodenverbindung an, es entstehen jedoch nur geringfügige Unterschiede zwischen den verbundenen Geräten.

Eine Voraussetzung für das anschließen aller Überspannungsbegrenzer an der Haupt-Erdungsklemme ist, daß die entsprechenden Signalleiter nahe an dieser Stelle verlaufen – eine Praxis, die sich auf alle Fälle lohnt und allzu oft nicht befolgt wird.

7.2.2 Installation eines Sternpunktsystems: Zusammenfassung

- ◆ Die Stelle am Schutzerdssystem der Installation ermitteln, die am nächsten liegt zur Erdverbindung (z.B. die Erdklemme der Haupt-Energieverteilertafel). Diese Stelle wird den Sternpunkt darstellen, an den die Überspannungsbegrenzer angeschlossen werden.
- ◆ Alle Signalleiter möglichst nahe zu dieser Stelle verlegen.
- ◆ Alle Signalleitungen möglichst nahe am Sternpunkt mit Überspannungsbegrenzern ausstatten.
- ◆ Die Überspannungsbegrenzererden mit möglichst kurzen, direkten Verbindungsleitern anschließen.

7.2.3 Nützliche Verbindungen

Sofern möglich, strukturelle Metallkomponenten des Systems als Leiter einsetzen. Die Überspannungsbegrenzer auf Metalltafeln montieren um die Induktivität ihrer Erdverbindungen möglichst zu reduzieren, dabei sicherstellen, daß die Metallfläche frei ist von Lack und Fett.

7.3 Überspannungs- und Schutzerdungen

Nach der Erstellung einer Verbindung zwischen dem Überspannungsbegrenzer und der Gebäude-Netzversorgung lohnt es sich, deren Zweck zu ergünden.

7.3.1 Überspannungsschutzerden

Die Überspannungsschutzerde hat die Aufgabe, Stromstöße möglichst direkt und widerstandsarm zu Erde abzuleiten, um die Gleichtakt-Grenzspannung zwecks Betriebsmittelschutz auf ein Mindestmaß zu reduzieren. Wir empfehlen für diesen Zweck ein Kabel von mindestens 2,5mm Durchmesser (sofern eine Verwendung von Metallbauteilen nicht möglich ist).

7.3.2 Netzschutzerden

Der Versorgungsnetz-Schutzerdleiter leitet Fehlerstrom bei Versorgungsfrequenz so lange ab, bis strombegrenzende Vorrichtungen, wie z.B. Sicherungen und Leistungsschalter ausgelöst werden. Die Größe des Leiters hängt ab von seiner Fähigkeit, unbeeinflussten Fehlerstrom vom Versorgungsnetz effektiv abzuleiten. „Unbeeinflusster Fehlerstrom“ ist der Strom, den der Schaltkreis bei einem Kurzschlußfehler abgibt.

7.3.3 Weitere Überlegungen

Wird ein Leiter aus irgendeinem Grund zur Erfüllung beider Aufgaben verwendet, muß er UNBEDINGT fähig sein, den unbeeinflussten Fehlerstrom zu leiten – die SICHERHEIT steht immer an erster Stelle!

In manchen Fällen sind die Überspannungs- und Schutzleiter parallel verlegt. Sofern ein adäquater Schutzleiter vorhanden ist und gute Erdungsprinzipie befolgt wurden ist ein gemeinsames Vorkommen von Überspannungs- und Fehlerstrom in den zwei Pfaden annehmbar.

Zur Sicherstellung der korrekten Schutzleitergröße und -art ist auf die einschlägigen Richtlinien (in Großbritannien BS7671:1992: IEE Wiring Regulations, 16. Ausgabe) bezug zu nehmen.

7.4 Überspannungsschutz für Außenverbindungen

Hersteller von Überspannungsschutzvorrichtungen (einschließlich Telematic) empfehlen das Installieren eines Überspannungsbegrenzers an jeder Zuleitung in das Gebäude – bloß eine absatzfördernde Maßnahme?

Auf keinen Fall, und zwar aus zwei Gründen:

- Jede Leitung bietet Stromstößen einen Zugang in das Gebäude.
- Ungeschützte Leitungen können Stöße von anderen Leitungen aufnehmen.

7.4.1 Störimpulse von fremden Quellen in ein Gebäude

Der erste Fall kann veranschaulicht werden durch ein Gerät mit zwei Eingangsleitungen, die beide ihren Ursprung außerhalb des Gebäudes haben. Das eine ist durch einen Überspannungsbegrenzer geschützt, das andere nicht (Abbildung 25). Bei einem Blitzeinschlag in der Nähe des fernen Endes der ungeschützten Leitung ergibt sich ein Stromstoß in diesem Kabel, der ungehindert zu dem Gerät gelangt. Ein (meist schädlicher) Zusammenbruch des Geräts folgt und der Strom fließt sodann zu Boden ab, entweder durch das Gerät oder durch dessen „geschützte“ Schnittstelle und die Ausgangsklemme des Überspannungsbegrenzers. Im letzteren Fall können sowohl das Gerät als auch der Überspannungsbegrenzer Beschädigungen erleiden (Abbildung 26).

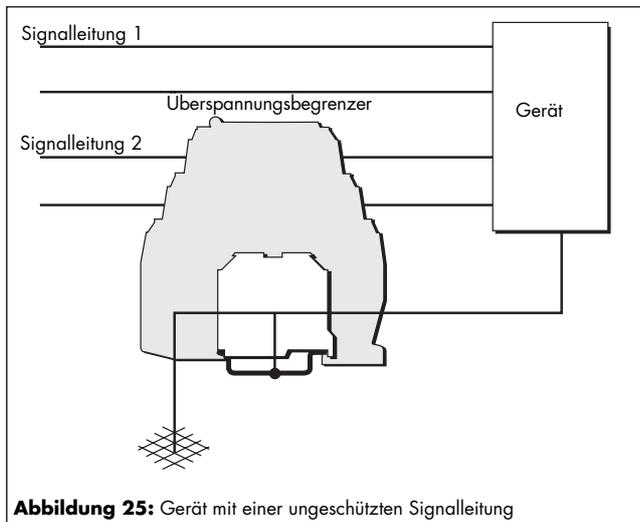


Abbildung 25: Gerät mit einer ungeschützten Signalleitung

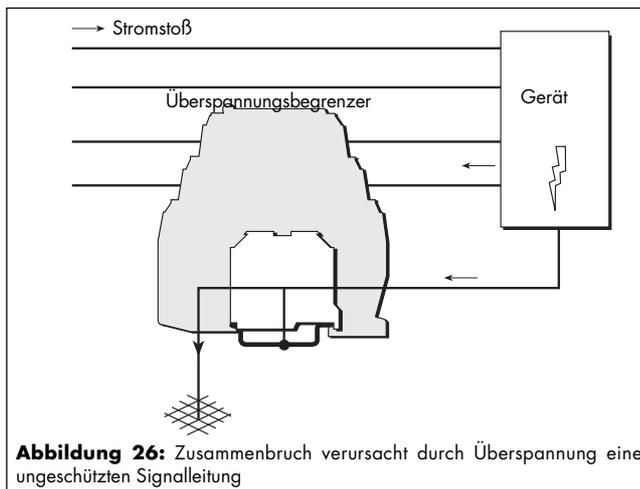


Abbildung 26: Zusammenbruch verursacht durch Überspannung einer ungeschützten Signalleitung

7.4.2 Störimpulse von einem Kabel zu einem anderen

In Abbildung 17 ist eine einfache Schaltung mit einer Signalleitung und einem netzstromversorgten Gerät dargestellt, in der Überspannungskopplungen vorkommen können.

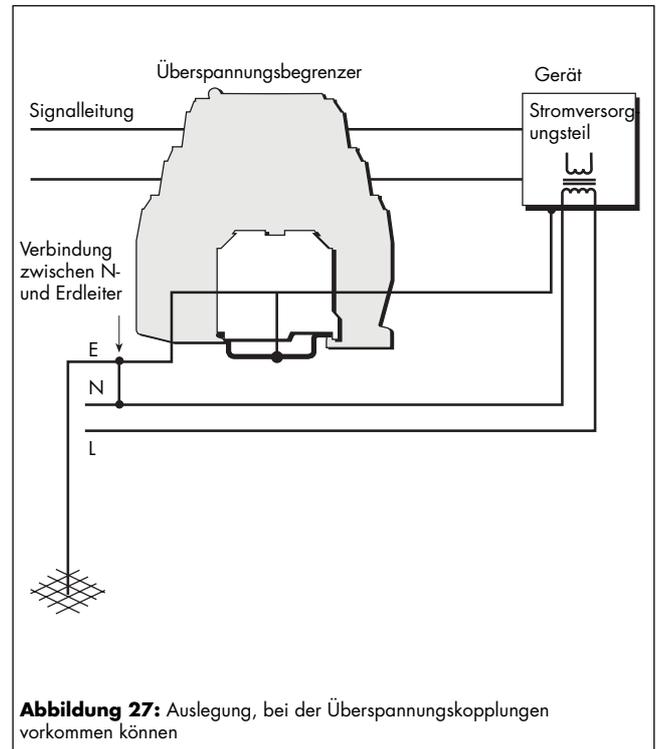


Abbildung 27: Auslegung, bei der Überspannungskopplungen vorkommen können

Während einer Überspannung funktioniert der Überspannungsbegrenzer an der Signalleitung ordnungsgemäß und transienter Strom fließt durch den Erdleiter zu Erde ab. Die induktive Spannung im Erdleiter aber erscheint zwischen den anderen Netzstromleitern (Abbildung 28). Die Spannung zwischen dem Neutral- und dem Erdleiter hängt ab von der Länge des Verbindungsleiters. Ist der Überspannungsbegrenzer an der Haupt-Erdklemme der Verteilertafel angeschlossen – wo sich auch die Neutral-/Erde-Verbindung befindet – entsteht nur eine geringfügige transiente Überspannung und die induktive Spannung erscheint zwischen dem L-Leiter und den zwei anderen Leitern. Ein in die Netzversorgung geschalteter Überspannungsbegrenzer (Abbildung 29) begrenzt diesen Stoß auf einen sicheren Wert.

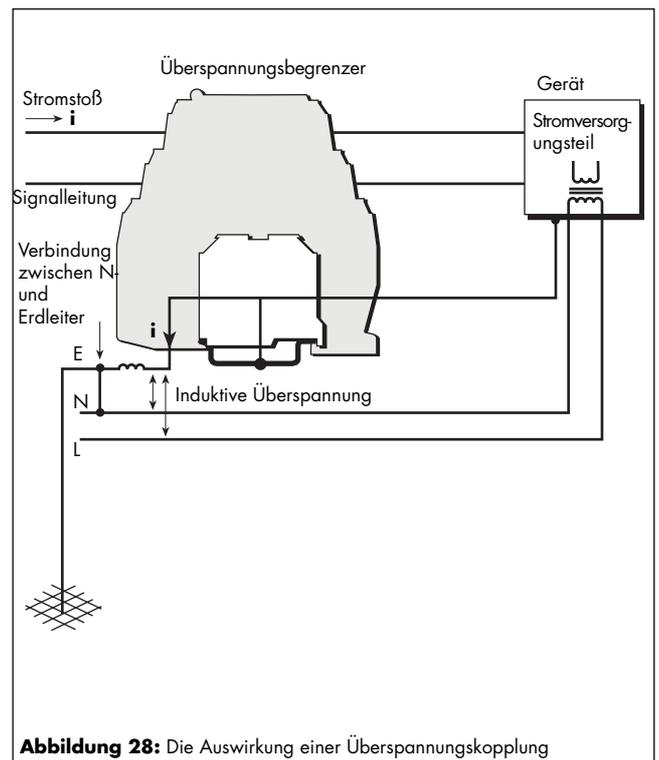


Abbildung 28: Die Auswirkung einer Überspannungskopplung

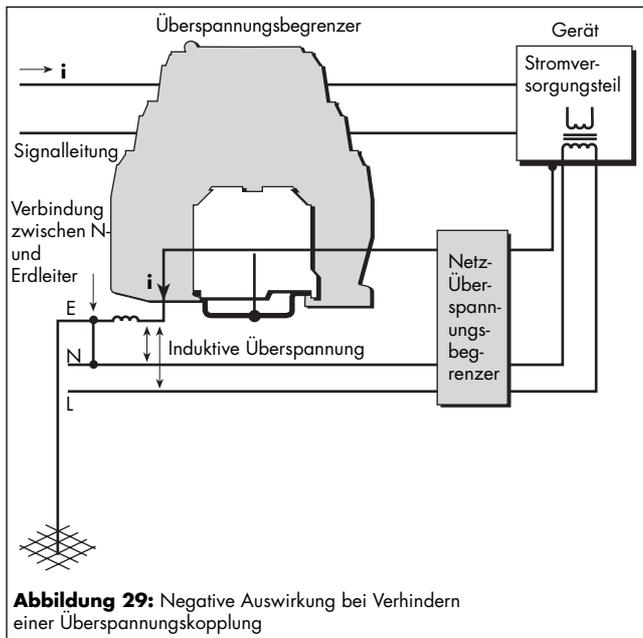
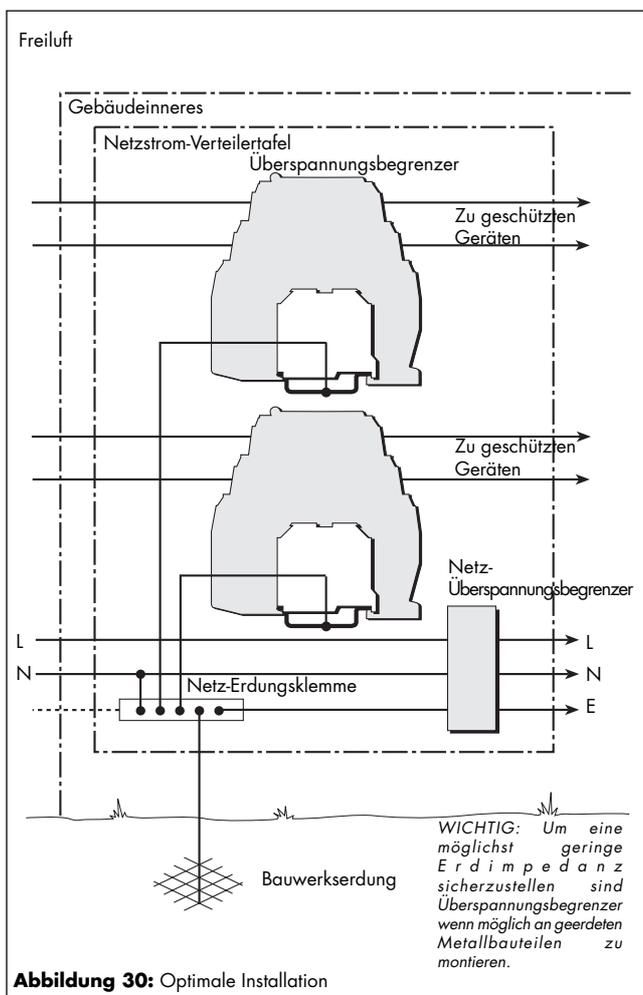


Abbildung 30 zeigt eine praktische Konfiguration einer optimalen Installation



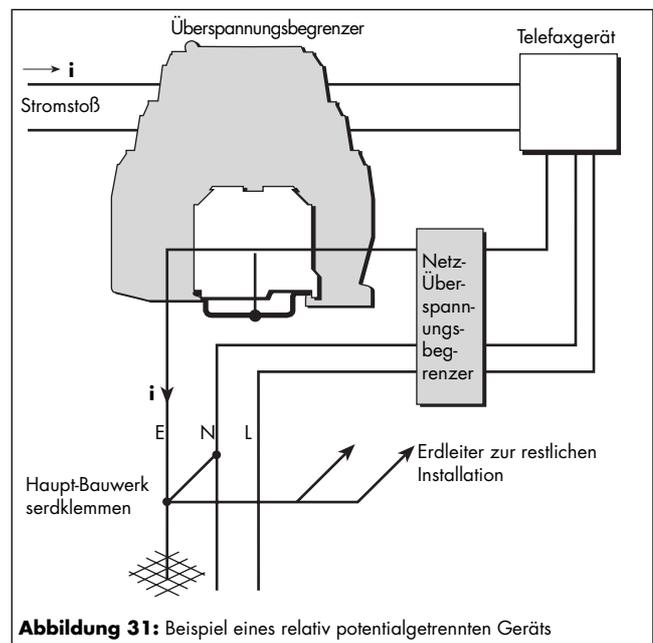
7.5 Probleme bei mehreren Leitungseingängen in ein Gebäude

In der Praxis treten Signalleiter oft an Stellen fern von der Erdungsklemme der Haupt-Energieverteilertafel in das Gebäude ein. Die Überspannungsbegrenzer sind (wie in Abschnitt 7.4 beschrieben) zum Schutz von leitungsverbundenen Geräten an die Signalleitung und an das Energienetz angeschlossen, die Kabel zurück zur Erdungsklemme fallen aber äußerst lang aus. Es gilt, die negative Auswirkung dieser Anordnung zu neutralisieren. Dazu gibt es zwei Möglichkeiten:

- Relativ potentialgetrennte Geräte: keine Signalleiter verbinden das Gerät mit anderen Einrichtungen im Gebäude; keine Leitungen werden mit anderen Geräten geteilt – siehe Abschnitt 7.5.1.
- Keine internen Signalleiter, aber gemeinsamer Erdfeld (wahrscheinlicher) – siehe Abschnitt 7.5.2.
- Interne Kabel: kein gemeinsamer Erdfeld – siehe Abschnitt 7.5.3.
- Interne Kabel: gemeinsamer Erdfeld – siehe Abschnitt 7.5.4.

7.5.1 Relativ potentialgetrennte Geräte

Telefone und Telefaxgeräte sind typische Beispiele von „relativ“ potentialgetrennten Einrichtungen (Abbildung 31). Ein Blitzstoß hebt das Potential des Kabels relativ zur örtlichen Erde an, der Überspannungsbegrenzer spricht an und der Stromstoß wird durch den Überspannungserdleiter abgeleitet. Am Erdleiter entwickelt sich eine induktive Überspannung, da das Gerät aber galvanisch getrennt und geschützt ist und Stromstöße nicht mit anderen Geräten teilt ergeben sich weiters keine Probleme.



7.5.2 Keine internen Signalleiter (gemeinsamer Erdfeld)

Auch hier kann es sich um ein Telefaxgerät handeln (Abbildung 32), das allerdings über das Netzstrom-Erdungssystem (z.B. eine Ringleitung) geerdet ist. Man sieht, daß nun ein höheres Schutzniveau gewährleistet wird. Das Faxgerät überlebt. Wäre es nicht geschützt, würde es durch einen Stromstoß beschädigt werden, und eine transiente Netzüberspannung würde dennoch zustande kommen.

7.5.3 Interne Kabel (kein gemeinsamer Erdfeld)

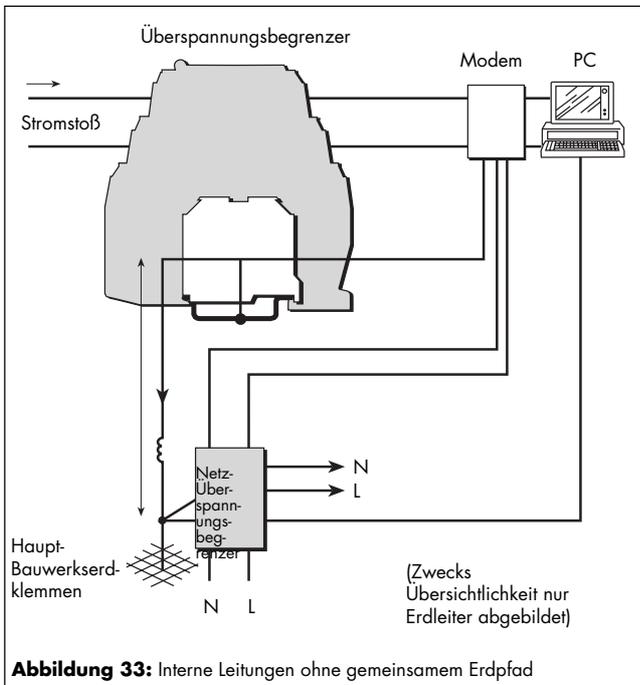
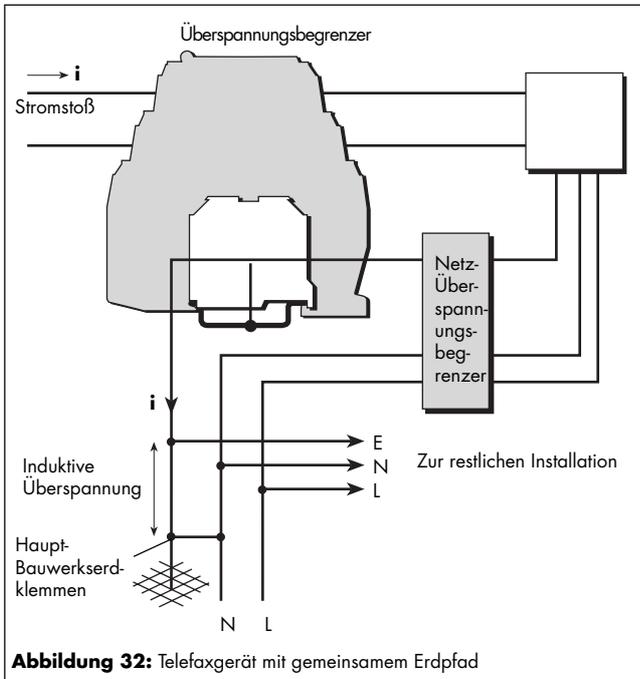
Als Beispiel für ein internes Kabel ohne gemeinsamem Erdfeld (Abbildung 33) dient ein Computer (PC). Zumindest manche der im Erdleiter entstehenden Spannungstöße gelangen zum Verbindungskabel des PC, und letzterer kann somit einen Schaden erleiden. Ist eine Kürzung des Erdfelds nicht möglich, sollte das Modem und dessen Überspannungsbegrenzer näher an den PC herangerückt und gemeinsam mit diesem geerdet werden.

7.5.4 Interne Kabel (gemeinsame Erdfeld)

Dies ist eine Kombination aus den in Abschnitten 7.5.2 und 7.5.3 beschriebenen Auslegungen. Überspannungen können an internen Leitungen und im Stromnetz entstehen.

7.5.5 Zusammenfassung

Eine einfache Schutzlösung gibt es nicht wenn mehrere Leitungen an verschiedenen Stellen fern von der Haupt-Erdklemme in ein Gebäude eintreten. Sofern möglich sollten die Leitungen neu verlegt werden, andernfalls sollten die damit verbundenen Geräte durch Überspannungsbegrenzer geschützt werden. Sind diese Geräte mit empfindlichen oder strategisch wichtigen Einrichtungen galvanisch verbunden, so lohnt sich eventuell auch ein Überspannungsschutz. Ein schlechtes Verkabelungsschema sollte nicht von der Verwendung von Überspannungsbegrenzern abhalten, da letztere das Risiko bzw. das Ausmaß einer Beschädigung auf jeden Fall deutlich herabsetzen.



- Beim Flugzeug funktioniert diese Methode da es, im Gegensatz zu Gebäuden die meist an das Stromnetz angeschlossen sind überhaupt keine galvanischen Verbindungen hat mit dem Boden (mit Ausnahme der Atmosphäre)..
- Es wäre übertrieben teuer..

Nachdem wir uns mit der Tatsache abgefunden haben, daß unser Bauwerk unwiderruflich galvanisch mit dem Boden verbunden ist, stellt sich die Frage, ob wir uns mit der Erdimpedanz auseinandersetzen müssen. Nehmen wir an, es geht um eine abseits gelegene Fernmeßstation mit einer Eingangsleitung vom Meßumformer und einem sonnenkraftgespeisten Fernmeß-Radiosender ohne Netzanschluß. Diese Auslegung entspricht etwa dem in Abschnitt 7.5.1 erwähnten galvanisch getrennten Telefon oder Telefaxgerät. Eine Verbindung zur Erde erübrigt sich also eventuell. Dennoch ist eine solche aus zwei Gründen unter Umständen vorteilhaft.

- In einer langen Meßumformerleitung kann durch einen Stoß im Erdpotential genügend Spannung entstehen, um einen Überschlag vom Kabel durch die Fernmeßeinrichtungen zum Bauwerk zu induzieren.
- Weiters besteht die geringe Gefahr eines elektrischen Schocks wenn eine Person während einem Gewitter auf einem Boden bei Erdpotential steht und gleichzeitig die Einrichtungen berührt.

Diese Eventualitäten können ausgeschaltet werden, indem man einen Erdungsstab an der Unterstation in den Boden treibt und einen Überspannungsbegrenzer so installiert (Abbildung 34), daß der Begrenzer als Sternpunkt dient.

Vorausgesetzt es wird zur Erdung eine Sternpunktanordnung verwendet, ist die Erdimpedanz unwesentlich für den Überspannungsschutz elektronischer Betriebsmittel.

Anmerkung: Allgemein wird der Erdwiderstand gemessen. In dieser Publikation wird der Ausdruck Erdimpedanz bevorzugt, um darauf hinzuweisen, daß in Serie mit dem Widerstand auch eine gewisse Induktivität besteht.

Es wäre sinnlos zu versuchen, eine Erdimpedanz von sagen wir 1 Ohm zu erzielen (dieser Wert wird üblicherweise mit Großanlagen wie z.B. Kraftwerken in Verbindung gestellt). Deshalb wird die Erdimpedanz im Zusammenhang mit dem Überspannungsschutz elektronischer Einrichtungen nur selten erwähnt. Der Vorteil einer relativ niedrigen Erdimpedanz ist in Abbildung 35 veranschaulicht. Das dargestellte Gerät verfügt über zwei jeweils durch einen Überspannungsbegrenzer geschützte Signalleitungen und einen weiteren Überspannungsbegrenzer am Stromnetzanschluß. Das Gerät ist also gut geschützt und wird keinen Schaden erleiden. Leitet aber eines der Signalkabel einen Stromstoß, so fließt dieser durch die Erdimpedanz ab und erzeugt eine Spannung daran. Diese Spannung offenbart sich am fernen Ende des Signalleiters. Je größer die Erdimpedanz, desto stärker ist der übertragene Stromstoß. Siehe Anhang A für ein einfaches Modell, das die Auswirkung des Erdelektrodenwiderstands veranschaulicht.

7.6 Erdelektroden, Erdimpedanz und Überspannungen

7.6.1 Allgemeines

Wie wir zuvor gesehen haben, verursacht ein zur Erde abgehender Blitzstrom in Eingangsleitungen hohe transiente Spannungen gegenüber der lokalen Erde. Bisher gingen wir von der Annahme aus, daß eine Verbindung zum Boden vorhanden ist. Wozu aber braucht man diese überhaupt?

Warum, anstatt induktionsarme Sternpunktterdungen usw. einzurichten, nicht einfach das System galvanisch trennen und Stromstößen den Weg völlig sperren?

Die Antwort zu diesen Fragen liegt in den kolossalen Spannungs- und Stromstärken, die bei einem Blitzeinschlag entstehen. Die Spannungsstärke ließe sogar annehmen, daß sie im Grunde von einem Konstantstromgenerator erzeugt wurde. Ein Stromfluß ist also unvermeidbar, die einzige Hoffnung besteht darin, ihm den Pfad vorzugeben. Man könnte versuchen, das Bauwerk zu schützen, indem man es den Flugzeugkonstrukteuren nachmacht und es mit einem Metallkäfig umschließt und auf isolierende Stelzen stellt, damit wäre aber aus zwei Gründen nichts gewonnen:

7.6.2 Zusammenfassung

- ◆ Zum Schutz einer alleinstehenden Anlage ist eine niedrige Erdimpedanz nicht notwendig.
- ◆ Bei mehreren verbundenen Installationen ist eine niedrige Erdimpedanz allgemein vorteilhaft.
- ◆ Einen Richtwert für Erdimpedanz gibt es nicht.
- ◆ Die erzielte Erdimpedanz ist oft abhängig von der Beschaffenheit des Erdbodens und von verfügbaren Zeit- und Geldressourcen.

Siehe Anhang C für weitere Lektüre zu diesem Thema.

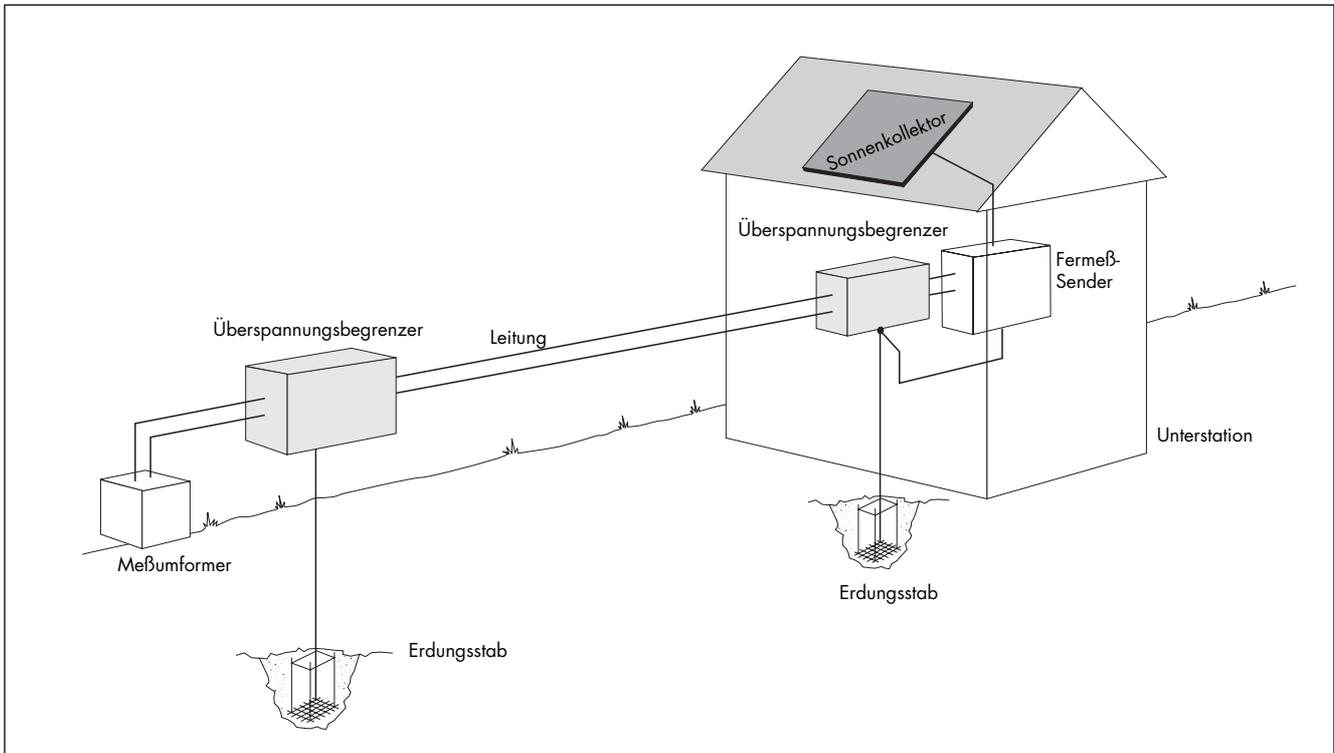


Abbildung 34: Unterstation mit Erdungsstab

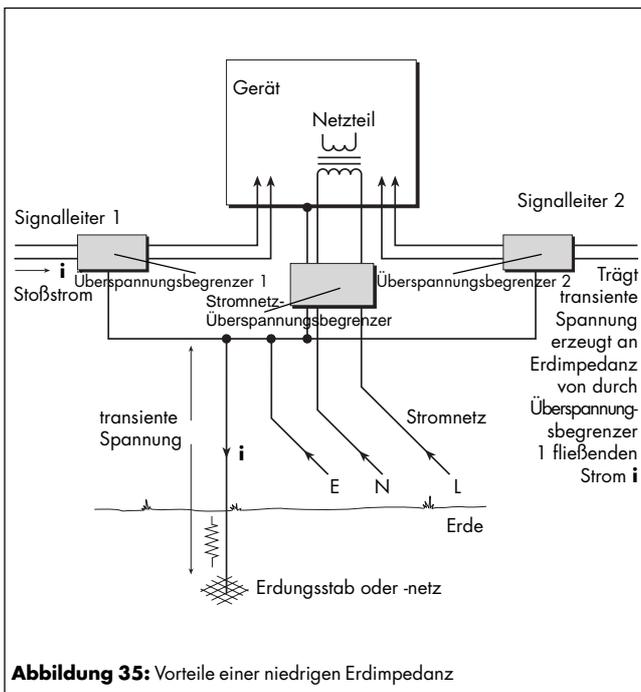


Abbildung 35: Vorteile einer niedrigen Erdimpedanz

7.7 Anbindung an den Gebäudeblitzschutz

Wie aus Abschnitt 7.6 ersichtlich ist, wird ein baulicher Blitzschutz unter der Annahme bereitgestellt, daß:

- ein Blitzeinschlag stattfinden wird.
- die Folgeschaden der hohen Stromstärken beachtlich sein können.

Die Aufgabe der Blitzschutzanlage ist es, dem Strom einen möglichst direkten Weg zu Boden zu gewährleisten. Die zwischen den Blitzableitern und der elektrischen Anlage entstehende Spannung kann, wenn diese voneinander isoliert sind groß genug sein um einen schädlichen Überschlag zu verursachen. Bloß 50kA durch einen Widerstand von 20Ω ergibt eine Million Volt! Deshalb ist es sicherer, die zwei Systeme zu verbinden. Die bevorzugte Methode ist ein möglichst direkt verlegtes Kabel von der Haupt-Erdklemme (dem Anlagensternpunkt) zu einer Stelle am Ableiter entweder in Bodennähe oder darunter (z.B. an das Grundnetz selber (siehe Abbildung 36)).

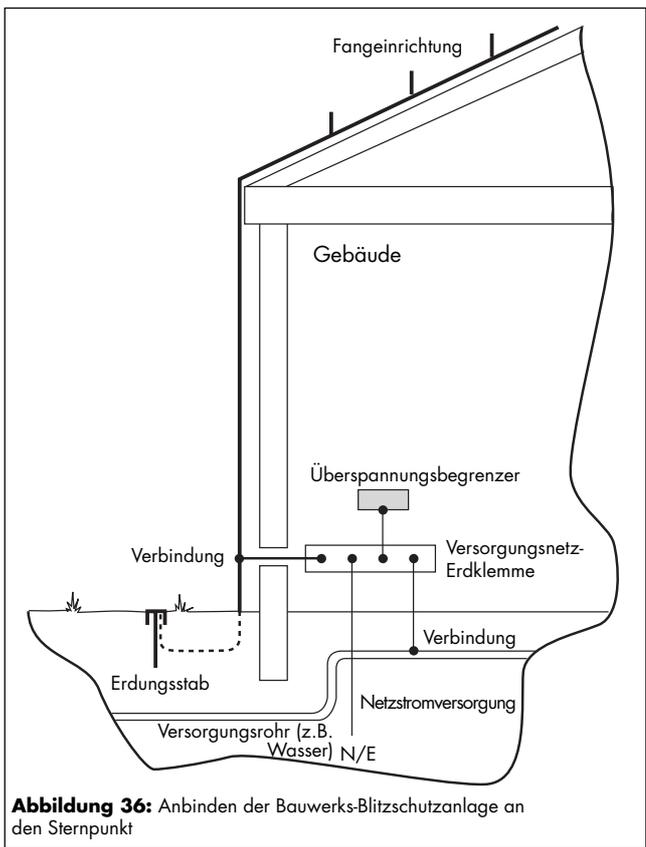
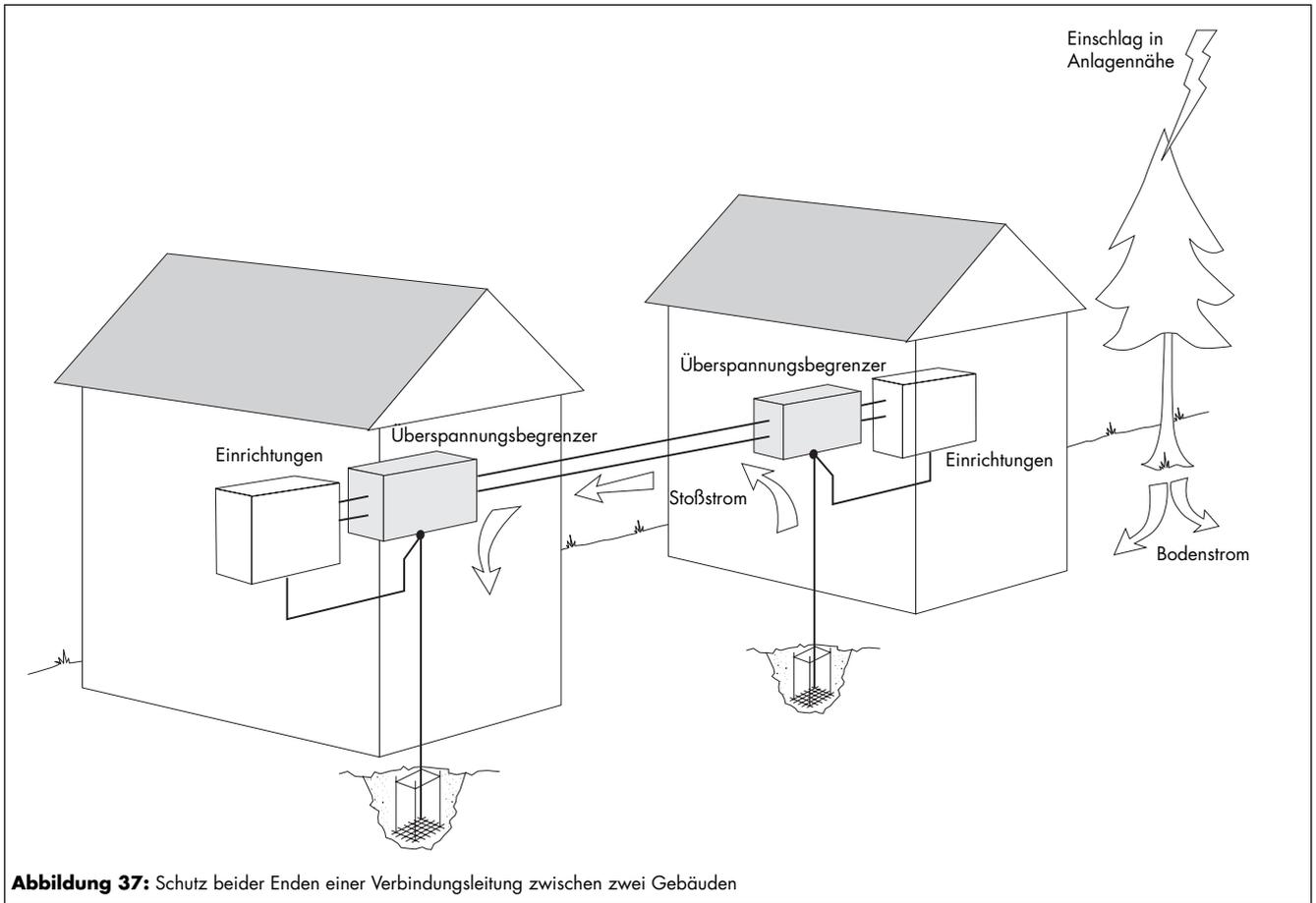


Abbildung 36: Anbinden der Bauwerks-Blitzschutzanlage an den Sternpunkt

Diese Publikation bietet nur einen kurzen Überblick zu diesem Thema. Für eine ausführlichere Behandlung empfehlen wir die zutreffende Norm zu studieren (in Großbritannien BS6651:1992: *Protection of Structures Against Lightning*).

7.8 Das andere Leitungsende

Sind Sie verantwortlich für den Geräteschutz an beiden Leitungsenden (z.B. bei über mehrere Gebäude verteilte Anlagen oder einer Fernmeßinstallation mit fern angeordnetem Sensor) sind beide Leitungsenden auf die selbe Weise zu behandeln. Die Geräte an beiden Enden stehen durch das Kabel jeweils mit der lokalen Erde am anderen Leitungsende in Verbindung (Überspannungsbegrenzer stellen sicher, daß dies der Fall ist). Ohne Überspannungsschutz kann durch ein Blitzstoß ein erheblicher Potentialunterschied zwischen diesen Erdverbindungen entstehen.

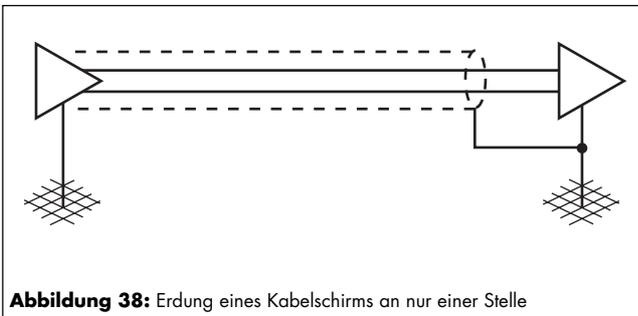


Wird an beiden Enden ein Überspannungsbegrenzer eingeschaltet, kann der Stoßstrom harmlos zwischen den zwei Erdungspunkten fließen und die Einrichtungen umgehen (Abbildung 37). Wie immer sind die Überspannungsschutz-Erdleiter kurz zu halten, andernfalls ist ein Potentialausgleichsleiter anzubringen.

8 VERSCHIEDENES

8.1 Geschirmte Kabel und Erdungskreise

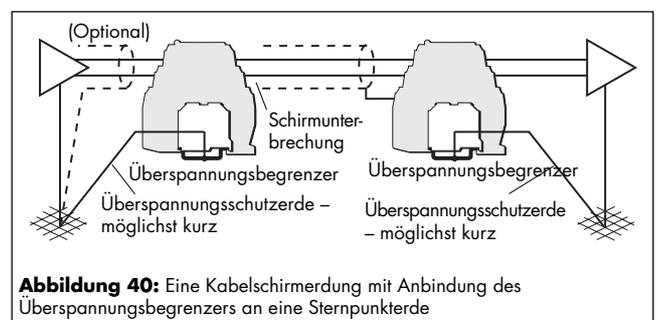
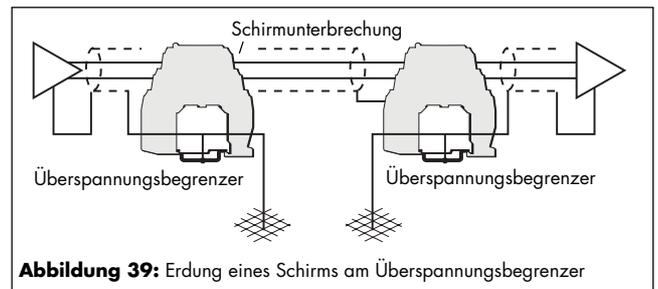
Um eine unerwünschte Aufnahme von Streufeldern zu verhindern, werden Leitungen für niederfrequente Signale im L-Bereich abgeschirmt. Einpunkterdungen werden meist bevorzugt, da sie brummstörungsbehaftete Kreise unterbrechen. In Fällen bei denen keine Überspannungsbegrenzer notwendig sind, kann eine Einpunkt-Signalerdung am einfachsten eingerichtet werden indem der Schirm nur an dem einen Kabelende angeschlossen wird (Abbildung 38). Sind aber Überspannungsbegrenzer vorhanden, so sind mehrere Erdungsstellen erforderlich. Ergibt sich daraus ein Konflikt?



Allgemein kann diese Frage mit nein beantwortet werden, da der Überspannungsbegrenzer nur bei Überspannungen einen impedanzarmen Pfad zu Erde bereitstellt (und während dieser Zeit ist das Beseitigen von Brummgeräuschen kaum eine Priorität). Beim Normalbetrieb ist die kapazitive Impedanz groß genug, um Brummgeräusche zu unterdrücken.

Anmerkung: Die meisten Überspannungsbegrenzer haben eine Leitung/Erde-Kapazität von nur wenigen Nanofarad, oft sogar im zweistelligen Picofarad-Bereich – bei Netzfrequenz 50Hz hat eine 10nF-Kapazität einen Blindwiderstand von über 300kΩ.

Ist eine Anlage mit Überspannungsbegrenzern ausgerüstet, ist es meist praktisch, die Unterbrechung des Schirmkreises an einem der Überspannungsbegrenzer vorzunehmen – siehe Abbildung 39. Diese Zeichnung zeigt die idealen Erdungsstellen für den Blitzschutz, in der Praxis sieht eine Schaltung aber oft aus wie in Abbildung 40, in welchem Fall die Überspannungsbegrenzer möglichst nahe am Sender und Empfänger aufgestellt werden müssen.



Anmerkung: Hat der mit „optional“ bezeichnete Schirm einen Gesamtquerschnitt von 2,5mm² oder mehr, kann er als Überspannungsschutz-erde dienen.

Eine ebenfalls mögliche Situation ist in Abbildung 41 gezeigt. In diesem Fall sind Überspannungsbegrenzer und Betriebsmittel über einer sehr lange Leitung mit der Sternpunkterde verbunden und hohe transiente Spannungen können entstehen. In diesem Fall kann der Kabelschirm als Verbindungsleiter dienen um die Überspannung zu reduzieren.

Dadurch entsteht allerdings eine Schleife die eventuell Probleme bereiten kann. Dem kann u.U. vorgebeugt werden indem der Überspannungserdleiter möglichst nahe am Schirm verlegt und die Schleifenfläche somit auf ein Mindestmaß reduziert wird.

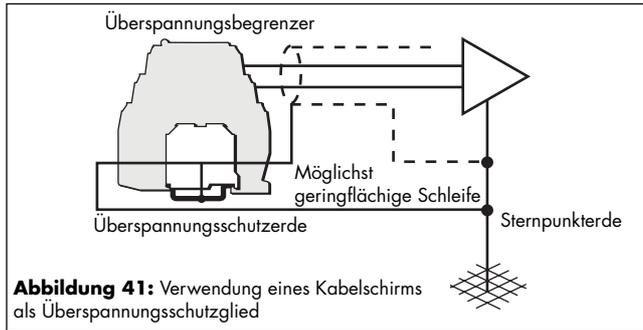


Abbildung 41: Verwendung eines Kabelschirms als Überspannungsschutzglied

Man beachte, daß die Unterbrechung im Kabelschirm voraussetzt, daß der Schirm nicht mit Metallbauteilen, wie etwa dem Überspannungsbegrenzer in Kontakt steht, da letztere ein anderes Potential haben können. Eine Trennung von 10mm reicht im Normalfall aus, besonders wenn der Schirm gut isoliert ist. Wahlweise kann es auch vorteilhaft sein, wenn der Stromstoß durch den Schirm geleitet wird, da dieser einer höhere Stromkapazität hat als bloß die inneren Leiter. Zu diesem Zweck kann der Schirm wie in Abbildung 42 gezeigt an einer Seite des Überspannungsbegrenzers angeschlossen werden. Der Überspannungsbegrenzer hält dann wie zuvor beschrieben eine Unterbrechung in der Störschleife aufrecht.

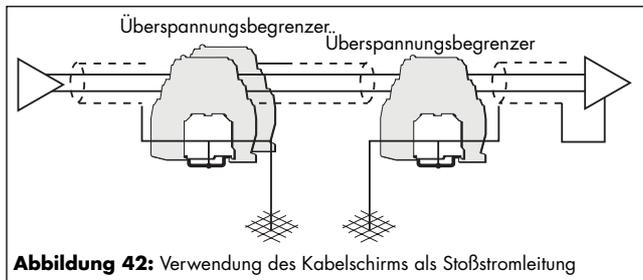


Abbildung 42: Verwendung des Kabelschirms als Stoßstromleitung

Für weitere Lektüre zu diesem Thema siehe Anhang C.

8.2 Schutz für Basisband-Übertragungssystemen mit Koaxialkabeln

Der Ausdruck „Basisband“ bezieht sich auf relativ niederfrequente Signale (bis zu zweistelligen MHz-Werten) im Gegensatz zu höherfrequenten Signalträgern (z.B. Kabelfernsehen).

Für Anlagen dieser Art gibt es Netzwerk- und Video-Überspannungsbegrenzer (Baureihen NP und VP von Telematic). Verschiedene Versionen sind erhältlich für unterschiedliche Computernetzwerke und Videoinstallationen. Beide Typen unterbrechen aufgrund ihrer sehr hohen Erdimpedanz Störschleifen. Die NP-Reihe verfügt zusätzlich über eine einfache Erdungsmöglichkeit durch direkte Trennung oder Erdung des Koaxialkabelschirms.

Die Schutzterdung folgt den selben allgemeinen Richtlinien die an anderer Stelle in dieser Publikation ausgelegt werden.

8.3 Schutz für Hochfrequenz-Koaxialkabelsystemen (z.B. Antennenzuleitungen und Kabelfernsehen)

Für Frequenzen im zweistelligen Megahertzbereich und darüber muß ein Überspannungsbegrenzer eine sehr niedrige Kapazität aufweisen. Auch bei Sendern ist ein Hochspannungsbetrieb erforderlich. Breitband-Koaxial-Überspannungsbegrenzer – wie z.B. die der Telematic CA-Reihe – beruhen auf Gasentladungsröhren, die in für diesen Zweck entwickelten Gehäusen montiert werden. Ein Überspannungsbegrenzer wird am besten nahe an empfindlichen Geräten und dem besten Erdungspunkt eingeschaltet. Die selben Installationsrichtlinien wie für alle anderen Überspannungsbegrenzer gelten hierzu, der einzige Unterschied liegt in der niedrigen Kapazität dieser Geräte und deren Symmetrie (d.h. sie können in beiden Richtungen angeschlossen werden). Siehe Abbildung 43 für eine typische Installation.

Um einen direkten Blitzstrom durch die Zuleitung in das Gebäude zu verhindern, sollte der Schirm des Koaxialkabels wie abgebildet mit der Basis des Antennenturms verbunden sein. Ist der Turm sehr hoch,

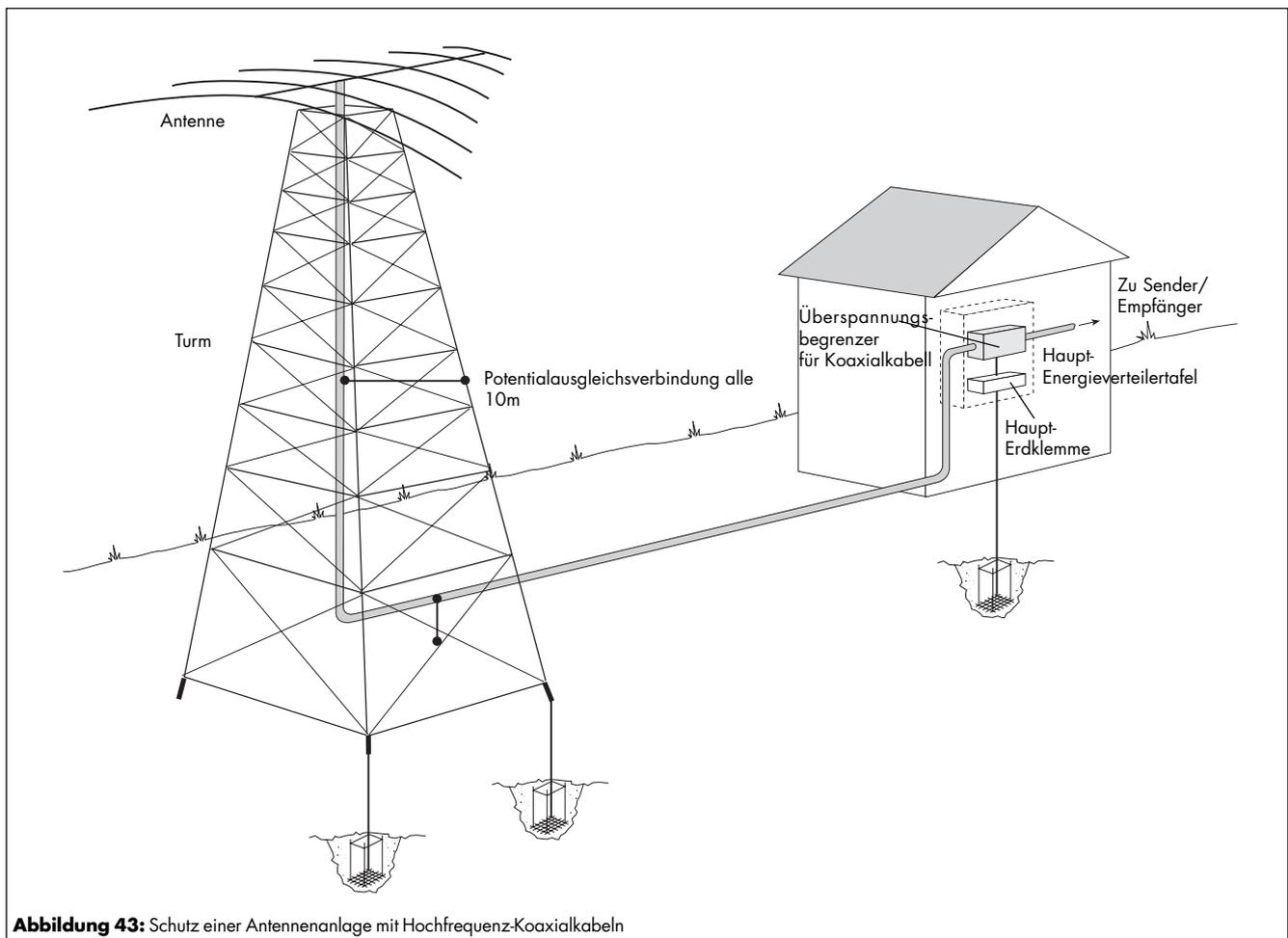


Abbildung 43: Schutz einer Antennenanlage mit Hochfrequenz-Koaxialkabeln

sollte das Kabel etwa alle 10m mit dem Turm verbunden werden um einen Überschlagn zwischen Turm und Kabel zu vermeiden. Das Vorhandensein mehrerer Erdungen bereitet bei derartigen Anlagen normalerweise kein Problem, da die Signalfrequenzen nicht im Netzstörfrequenzbereich liegen und das Kabel bei diesen Frequenzen eine effektive Abschirmung bietet.

8.4 Schutz für das Stromnetz

Transiente Überspannungen können einem System (wie auch bei allen anderen Kabeln) durch das Stromnetz zugeleitet werden. Wie wir früher gesehen haben, können sie entstehen, wenn Stromstöße entlang Signalleitungen in den Stromnetz-Erdleiter fließen. Allgemein sind Netzüberspannungen weniger schädlich als sich vermuten lässt, da eine Seite der Versorgung (Erde/neutral) das Erdpotential der Anlage definiert (d.h. den Nullspannungs-Bezugswert darstellt). Die Anlage wird demnach nur den Gegen- und Quertaktüberspannungen ausgesetzt. Diese verursachen allerdings oft Fehlfunktionen.

Die Netzversorgung trägt auch oft durch das Schalten hoher Lasten Störungen in eine oder in der Nähe einer Anlage.

Der beste Schutz hiergegen verbindet eine Hochstromunterdrückung an der Verteilertafel mit Schutz gegen zunehmend niedrigere Überspannungen bis hinunter zu einzelnen Geräten. Die für diesen Zweck bestimmten Telematic-Überspannungsbegrenzer verfügen auch über HF-Filter.

Abbildung 44 zeigt ein beispielhaftes Schutzsystem für ein modernes Büro. Verschiedene Telematic-Überspannungsbegrenzer werden eingesetzt. Natürlich stellt dieses Schema keine universelle Schutzlösung dar. Für Beratung zu spezifischen Anwendungen stehen ihnen die qualifizierten Telematic-Mitarbeiter gerne zur Verfügung.

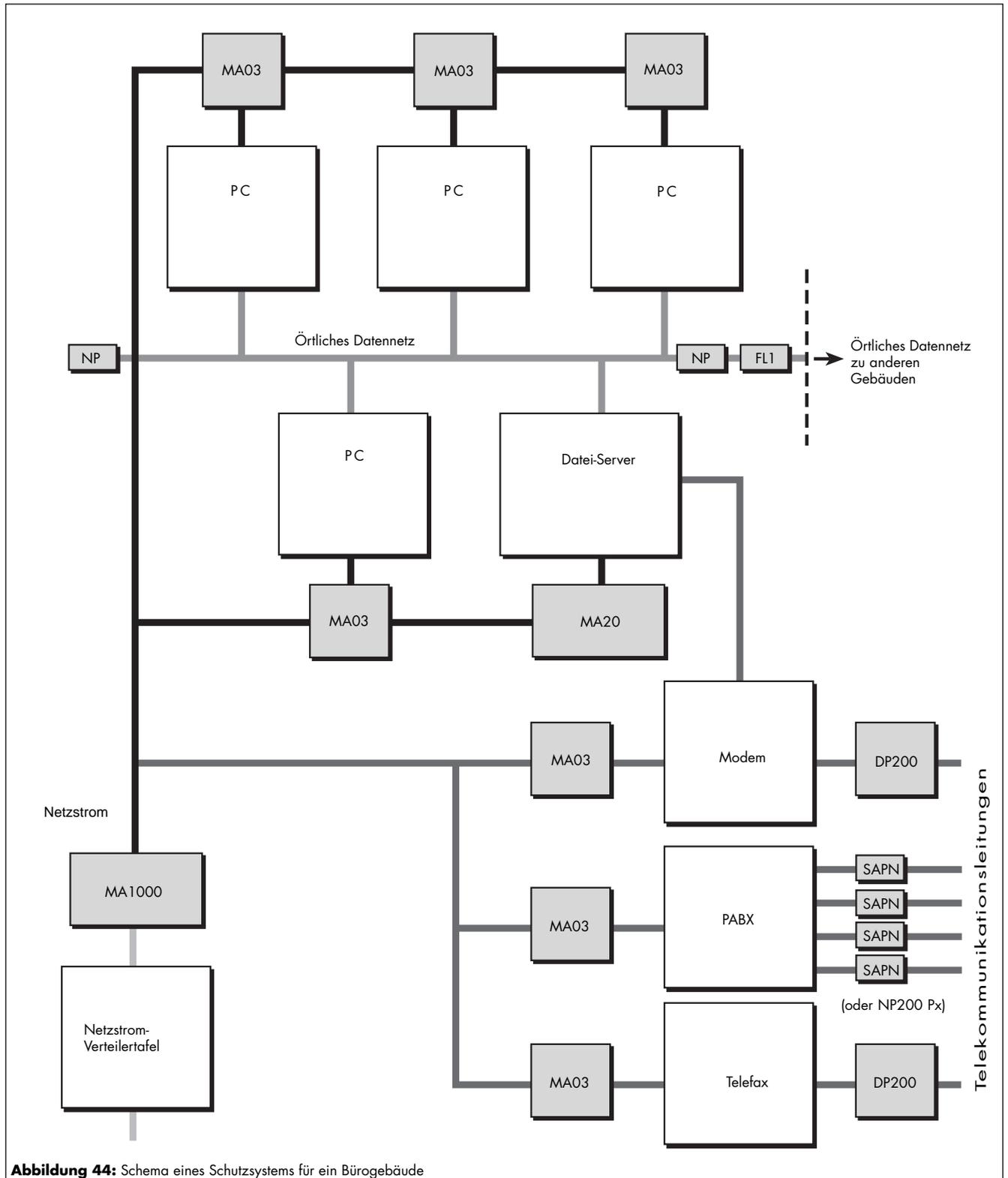


Abbildung 44: Schema eines Schutzsystems für ein Bürogebäude

8.5 Überspannungsschutzerden und Funktionserden in der Telekommunikation

Die bei der Telekommunikation eingesetzten Praktiken haben sich in den verschiedenen Ländern unterschiedlich entwickelt. Dieser Abschnitt bezieht sich nur auf die in Großbritannien eingesetzten Verfahrensweisen.

Dieser Abschnitt stützt sich auf den britischen Standard BS6701. In Abschnitt 6.10 dieser Norm wird zwischen der Schutzerde – welche den IEE-Richtlinien für Kabel entsprechen muß – und der Funktionserde unterschieden. Der Gebrauch einer Funktionserde umfaßt auch den „Überspannungsschutz“, d.h. die in diesem Handbuch bisher mit „Überspannungsschutzerde“ bezeichnete Einrichtung wird in der Telekommunikation mit Funktionserde (auch: Betriebserde) bezeichnet. Die Funktionserdung ist nicht als Schutzerdung zu verwenden.

Nach BS6701 ist der Funktionserdleiter nur entweder „an der Haupt-Erdklemme des Verbrauchers“ (d.h. also unserer Sternpunkterde) oder an ein unterirdisches Erdelektrodensystem anzuschließen. Im letzteren Fall ist die Erdelektrode an der Haupt-Erdklemme anzuschließen.

Soweit besteht noch keine Widersprüchlichkeit zwischen der Norm und diesem Handbuch. Einen Konflikt ergibt jedoch die Aussage: „Verbindungen zwischen der Funktionserde und der Schutzerde sind mit Ausnahme der Anbindung an die Erde zu vermeiden.“

Prinzipiell stimmt diese Empfehlung überein mit unserem Vorschlag, am Sternpunkt Überspannungsbegrenzer anzuordnen. Ist dies allerdings unpraktisch, so besteht zwecks Blitzschutz eventuell ein Bedarf auf ein Überspannungsschutzglied zwischen dem Überspannungsbegrenzer und den Betriebsmitteln. Die Norm setzt auch voraus, daß der Leitungsmantel der Funktionserdung beige gefärbt und durchgehend mit „Telecomms Functional Earth“ beschriftet ist. Wie bereits erwähnt, wird der bestmögliche Schutz durch eine direkte Verbindung mit Metallbauteilen am Sternpunkt und ohne Verwendung von Kabeln gewährleistet. Wir sind nicht der Meinung, daß dies die Norm verletzt, besonders wenn die Erdverbindung des Überspannungsbegrenzers am Sternpunkt wie in Abschnitt 6.10.3.3 der Norm permanent mit „Telecomms Earth Do Not Remove“ (Telekom-Erde: nicht entfernen) beschriftet ist.

Anmerkung: der Elektronenfluß ist unabhängig von der Farbe der Kabelisolierung!

Für weitere Publikationen zu diesem Thema siehe Anhang C.

8.6 Integrierte Erdung für Prozeßanlagen

8.6.1 Einführung

Die Erdung für einen einzigen Überspannungsbegrenzer und das geschützte Gerät ist einleuchtend und leicht realisierbar. Bei größeren Anlagen sieht es schon komplizierter aus, da verschiedenste Erdungsanforderungen berücksichtigt werden müssen, so z.B. für die Geräuschunterdrückung, Eigensicherheit (siehe auch Abschnitt 8.7) und

die elektrische Sicherheit. In diesem Abschnitt wird eine vielfach bewährte praktische Lösung vorgeschlagen, die sich eignet für die meisten Prozeßanlagen, entweder bei der Konstruktion oder für eine nachträgliche Implementierung.

8.6.2 Bevorzugter Ansatz zur Erdung von Steuerungssystemen

Um einen optimalen Schutzgrad zu gewährleisten ist ein kohärenter Ansatz zur Erdung erforderlich. Abbildung 45 veranschaulicht diesen Ansatz.

Stromstöße, egal ob sie durch Direkteinschläge oder durch Änderungen im Erdpotential verursacht werden, brauchen einen widerstandsarmen Pfad zu Erde. Tritt ein solcher Strom durch die Geräte Kabeln in den Rangierschrank ein, so wird er durch den Überspannungsbegrenzer und dessen Erdsammelleiter zu Erde abgeleitet. Vom Sammelleiter sollte der Strom zu Erde abgehen ohne irgendwelche andere Erdverbindungen zu berühren. Alle anderen Erden sollten an nur einer Stelle an den Erdsammelleiter des Überspannungsbegrenzers angeschlossen sein.

Die Geräteerde soll von der elektrischen Erde und dem Schaltschrank isoliert sein. Leckstrom von der elektrischen Erde erhöht das Potential des Sammelleiters zu einer Geräuschspannung. Da aber der Sammelleiter des Überspannungsbegrenzers, nicht die Anlagenerde Bezugspunkt ist für die Instrumentenerde, hat diese Spannung keine Auswirkung auf die Geräte. Sie stellt bloß eine Gleichtaktspannung dar.

Abbildung 46 zeigt die Erdungsanlage für mehrere Schaltschränke. Alle Verbindungen von dem Überspannungsbegrenzer-Erdsammelleiter gehen zu einer Sternpunkterde auf dem Erdsammelleiter des Untersystems, so daß die Abweichung des Potentials des Überspannungsbegrenzer-Erdsammelleiters bei einer Reihenanzordnung auf ein Mindestmaß reduziert wird. Verbindungen zwischen den Schaltschränken und dem Untersystem-Sammelleiter sollten nicht länger als 3m sein, so daß die maximale an ihnen anliegende stoßinduzierte Spannung unter den Isolierwerten der Betriebsmittel liegt.

8.7 Explosionsgefährdete Bereiche: Erdung für den Blitzschutz

Der Einsatz elektrischer und elektronischer Betriebsmittel in explosionsgefährdeten (Ex-) Bereichen stellt ein umfangreiches, kompliziertes Thema dar. Diese Publikation befaßt sich deshalb nur mit der Erdung von den in Ex-Bereichen eingesetzten Überspannungsbegrenzern. Ausführlicheres über den Blitzschutz in Ex-Bereichen finden Sie in Handbüchern TAN1004 und TAN1005.

Verbindungskabel zwischen Geräten im sicheren und im Ex-Bereich stellen eine potentielle Gefahr dar, da sogar bei Verwendung von Sicherheitsbarrieren und – sofern ein ausreichender Unterschied im

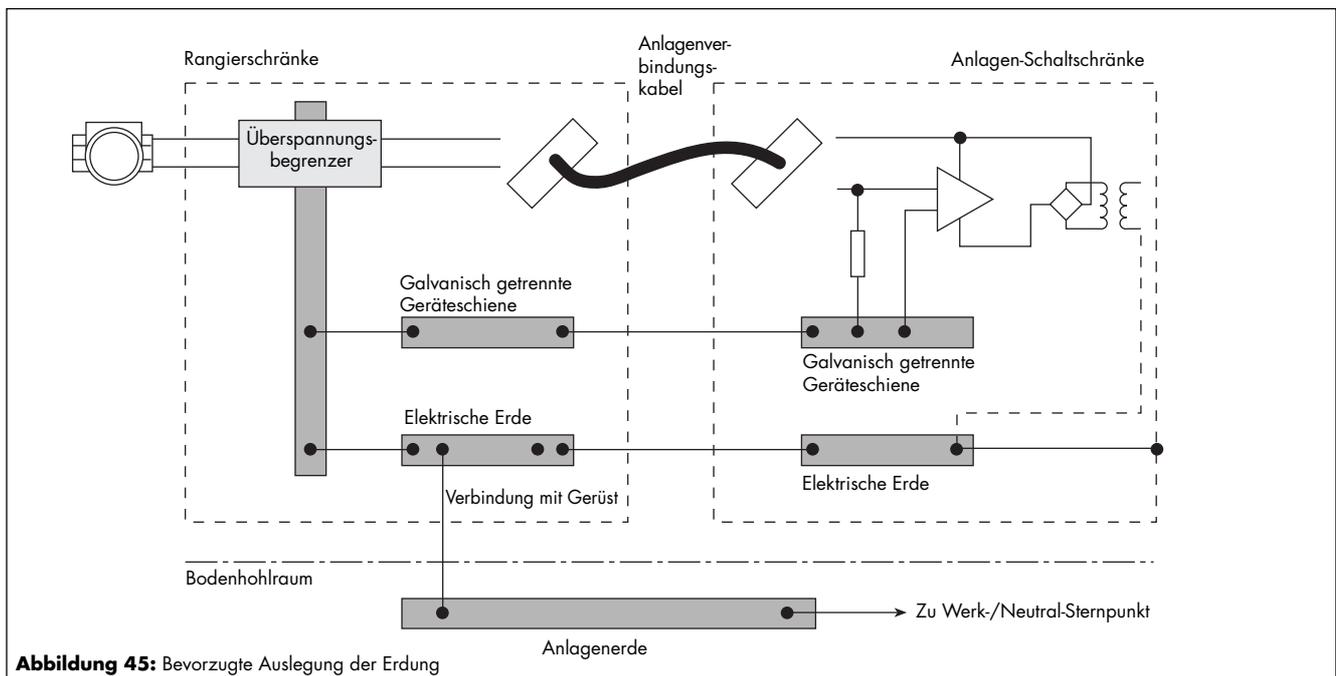
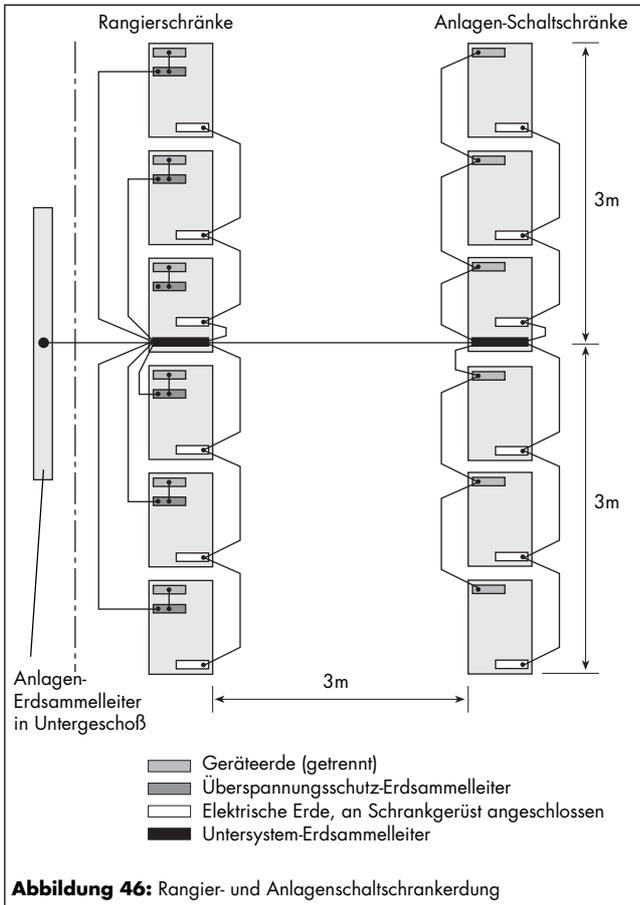


Abbildung 45: Bevorzugte Auslegung der Erdung



Erdpotential besteht – Potentialtrennern ein Überschlag und somit eine die explosive Atmosphäre entzündende Funkenbildung möglich ist. Siehe dazu Abbildung 47. Bestimmungen für eigensichere Bereiche sind für Großbritannien in der Norm BS5345 festgelegt. Publikationen über das Erden eigensicherer Installationen sind von Measurement Technology Ltd. erhältlich.

Für einen effektiven Blitzschutz sind ein Überspannungsbegrenzer an jedem Leitungsende sowie eine gute Sternpunkterdung erforderlich (siehe Abbildung 48).

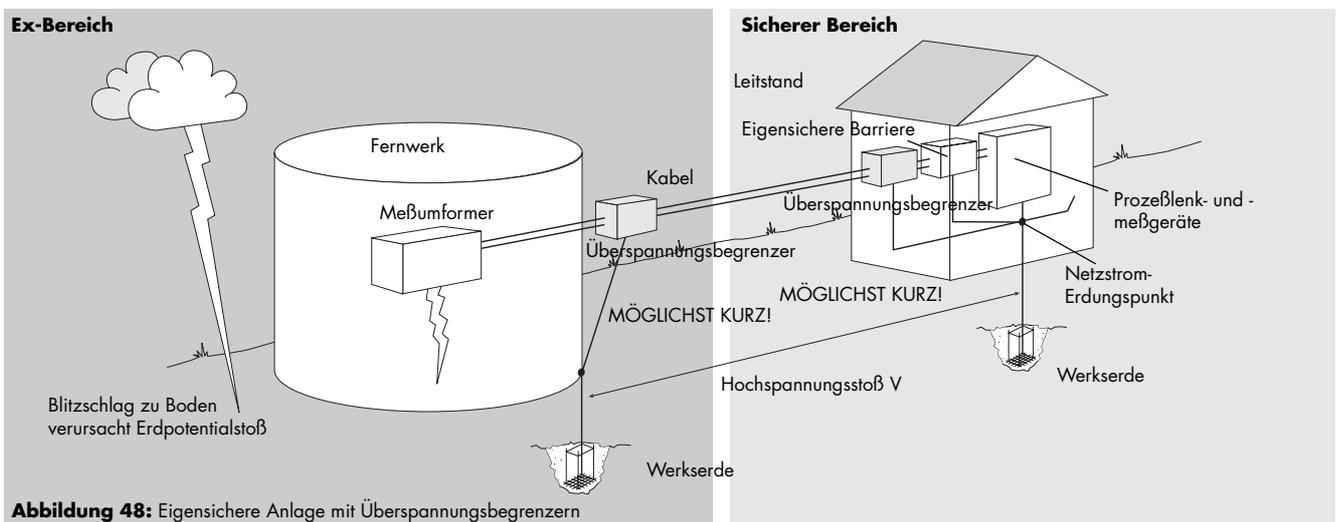
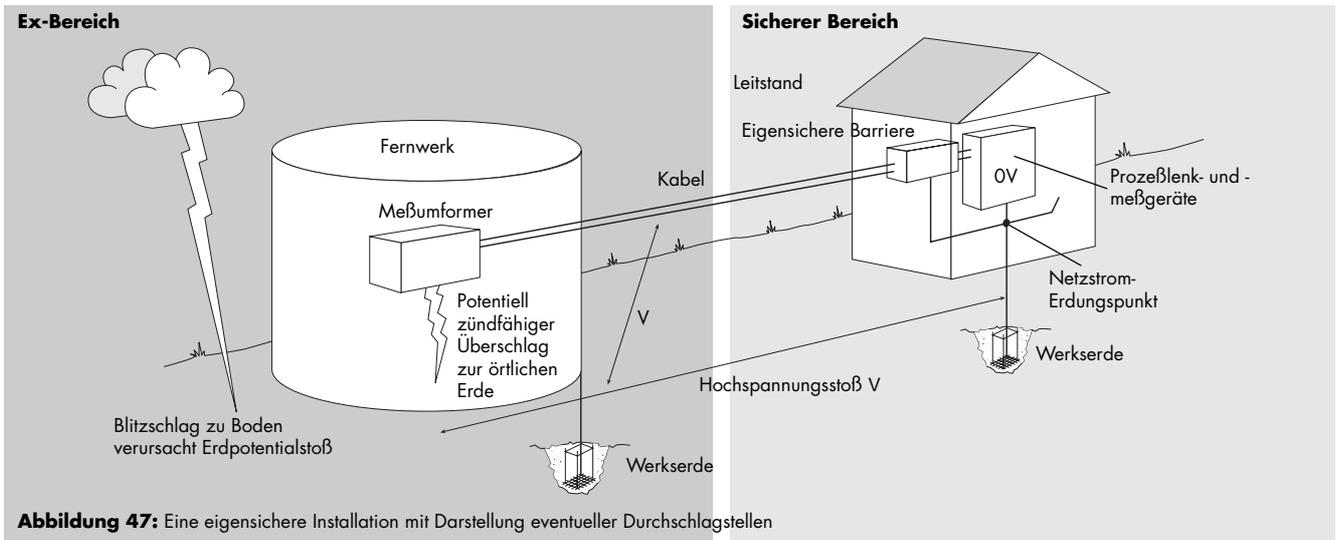
Nach BS5345 sollten eigensichere Schaltungen allerdings:

- a) von der Erde isoliert sein, oder
- b) an nur einer Stelle geerdet sein, oder
- c) falls mehrere Erdungsstellen vorhanden sind, galvanisch getrennt sein, oder
- d) falls keine galvanische Trennung vorgesehen ist, über isolierte Potentialausgleichsleiter von Mindestquerschnitt 4mm² zur Verbindung der Erden verfügen.

Das sich daraus ergebende System mit Blitzschutz ist in Abbildung 49 dargestellt. Es sei zu beachten, daß der Potentialausgleichsleiter aufgrund seiner großen Länge und der resultierenden Impedanz keinen wesentlichen Blitzschutz bietet.

Die Erdung ist wesentlich einfacher wenn, wie zunehmend der Fall ist Metall-Grundnetze verlegt werden. Überspannungsbegrenzer müssen auf ihrer eigenen Sammelschiene montiert und direkt an die Sternpunkterde angeschlossen werden, da sonst eine Gleichtakt-Impedanzkopplung einen Stoß in eigensicheren Geräten verursachen kann.

Besteht mehr als nur eine unwesentliche Gefahr eines Blitzeinschlags (dessen Energie deutlich höher ist als in Ex-Bereichen zulässig), dann ist ein effektiver Blitzschutz unentbehrlich. Eine gut dokumentierte, gründlich durchdachte Erdungsstrategie ist von größter Bedeutung, im Zweifelsfall ist der Rat einer zuständigen Behörde – in Großbritannien



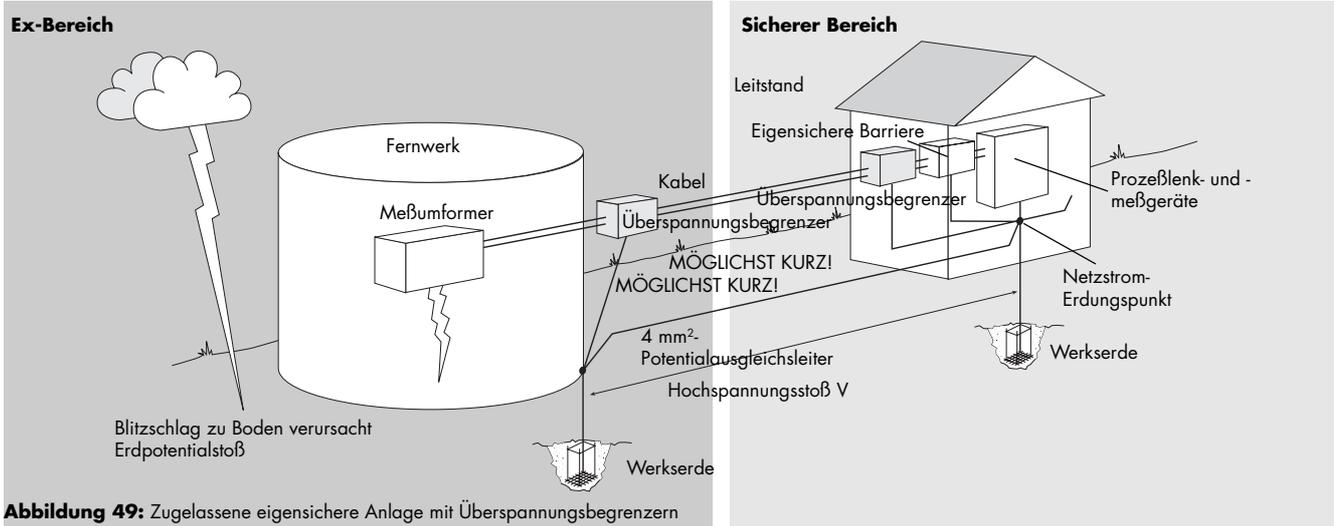


Abbildung 49: Zugelassene eigensichere Anlage mit Überspannungsbegrenzern

der Health and Safety Executive – einzuholen.

Für weiteren Lesestoff zu diesem Thema siehe Anhang C.

Widerstand (einschließlich dem Leitungswiderstand). R_s und r_g sind die Erdelektrodenwiderstände der Installationen 1 bzw. 2, und r ist der Widerstand der Verbindungsleitungen. Zur Einfachheit wird hier nur der Widerstand, nicht aber die Reaktanz berücksichtigt.

9 ANHÄNGE

9.1 Anhang A: Erdelektroden – Widerstand und Überstromteilung, ein einfaches Modell

Obgleich es sich hier um eine stark vereinfachte Darstellung handelt, bietet dieses Modell einen nützlichen Einblick in das Thema ohne sich zu sehr mit komplizierter Mathematik zu befassen.

Die Anlage besteht aus zwei kabelverbundenen Installationen 1 und 2, jeweils ausgestattet mit einem Erdelektrodensystem (Abbildung 50). Die eine wird durch eine Außenleitung gespeist. Ein Blitzschlag verursacht einen Spannungsstoß am Kabel relativ zu den lokalen Erden 1 und 2. Installation 1 verfügt über einen Überspannungsbegrenzer, der bei diesem einfachen Modell dem Stoß eine Kurzschlußschaltung bietet.

Dieser Sachverhalt läßt sich durch das Schaltbild in Abbildung 51 darstellen. V ist die transiente Spannungsquelle und R dessen

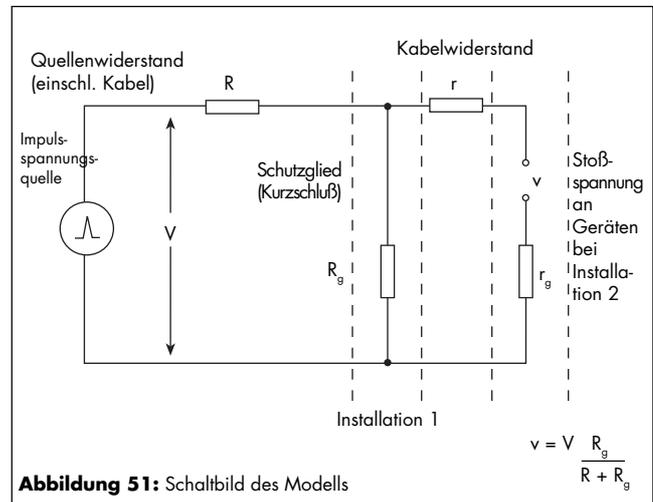


Abbildung 51: Schaltbild des Modells

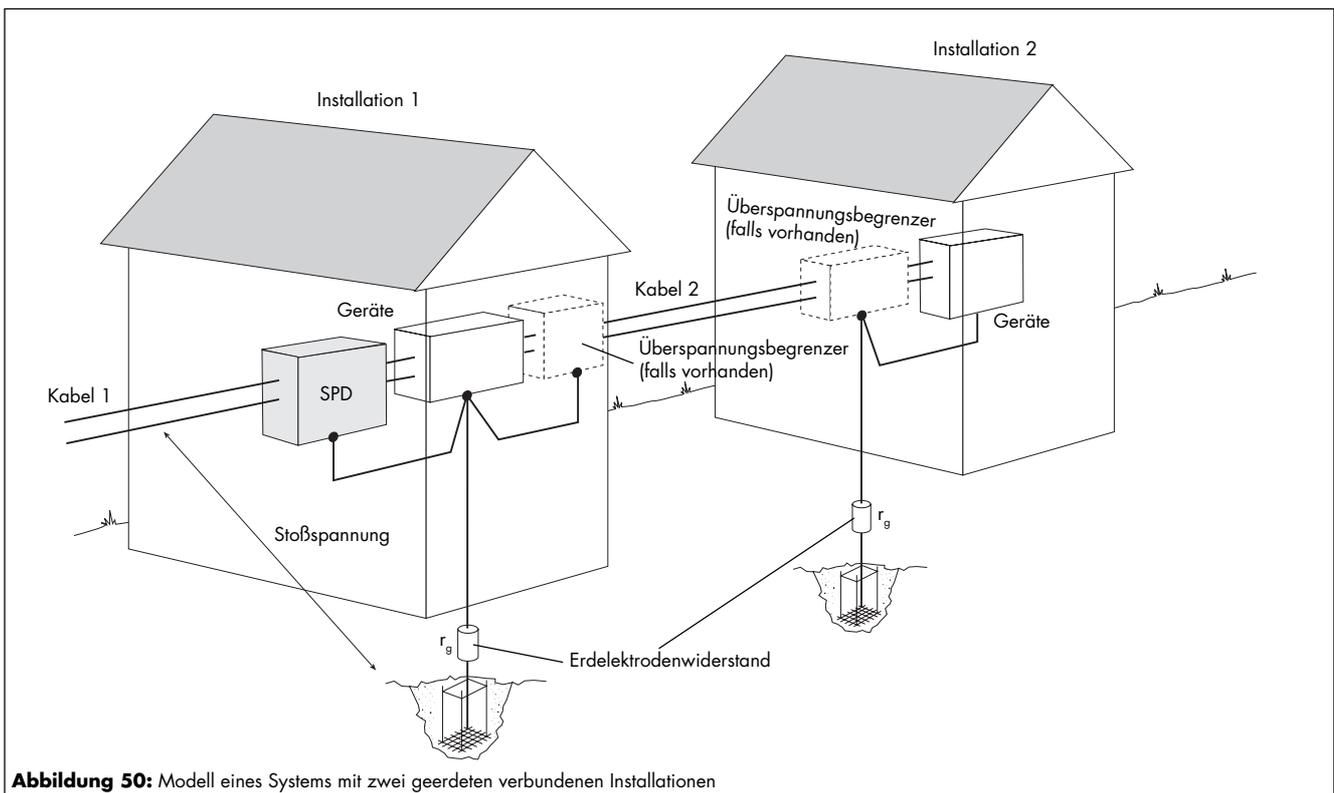


Abbildung 50: Modell eines Systems mit zwei geerdeten verbundenen Installationen

Ausgehend von der Annahme, daß Installation 2 ungeschützt ist kann die Stoßspannung der sie ausgesetzt wird und dann der Stoßstrom den sie bei Vorhandensein eines Überspannungsbegrenzers (der hier wieder einen „perfekten“ Kurzschlußreis darstellt) erhält berechnet werden.

Aus dem Schaltbild in Abbildung 51 ergibt sich eine Stoßspannung:

$$v = V \times \frac{R_g}{R+R_g}$$

Wird der Überspannungsbegrenzer in Installation 2 ausgelöst, wirkt er annähernd kurzschließend (Abbildung 52).

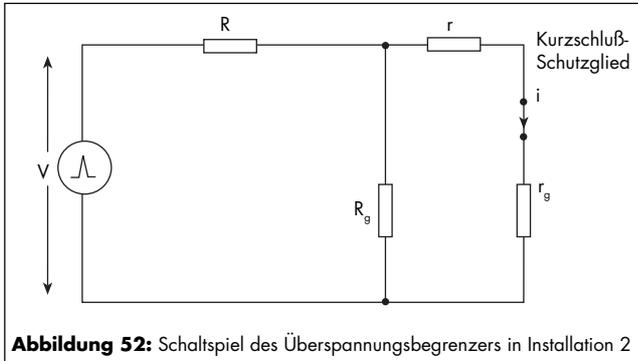


Abbildung 52: Schaltspiel des Überspannungsbegrenzers in Installation 2

Aus Abbildung 52 ergibt sich:

$$i = V \times \frac{R_g}{R(R_g+r+rg)+R_g(r+rg)}$$

$$i = V \times \frac{1}{R(1+[r+rg]/R_g)+(r+rg)}$$

Scheint das etwas unklar, können die beiden Extremfälle – keine Erdelektrode und eine „perfekte“ Erdelektrode – Licht ins Dunkel werfen:

Keine Elektrode:

$$R_g = \infty$$

$$i = \frac{V}{R+r+rg}$$

Perfekte Elektrode:

$$R_g = 0$$

$$i = 0$$

Wie zu erwarten ist, steigt die Stoßstärke die Installation 2 erhält im Verhältnis mit dem Erdwiderstand bei Installation 1 an.

9.2 Anhang B: Glossar

Potentialausgleich

Elektrische Verbindungen zwischen Geräten (welche nicht unbedingt Strom führen sollen) zur Sicherstellung eines gemeinsamen Potentials

dc

Gleichstrom (Direct Current)

Potentialausgleichszone

Bereich in dem Geräte durch Potentialausgleichsleiter möglichst auf dem selben Potential gehalten werden. In der Praxis ist dieser Zustand meist annähernd möglich aber nie erreichbar, da bei einer Stromführung durch die Leiter ein Spannungsunterschied an den Ausgleichsleitern zustande kommt.

Impedanz

auch: Scheinwiderstand; die Eigenschaft eines Leiters die den Stromfluß begrenzt.

Induktivität

Eigenschaft eines Leiters die Stromladungen begrenzt die durch das vom Strom erzeugte Magnetfeld entstehen.

kA

Kiloampere (1 kA = 1000 Ampere)

kV

Kilovolt (1 kV = 1000 Volt)

Grenzspannung

auch: Durchlaßspannung; die am Ausgang eines Überspannungsbegrenzers anliegende sichere transiente Spannung der die geschützten Betriebsmittel ausgesetzt werden

MOV

Metalloxid-Varistor

Spannungsstoß, Störimpuls, transiente Überspannung

eine übermäßig hohe vorübergehende Spannung; die Ausdrücke sind miteinander austauschbar und beziehen sich in diesem Handbuch allgemein auf durch atmosphärische Entladungen verursachte Störimpulse

Überspannungsschutzglied

ein kurzer Potentialausgleichsleiter zur Begrenzung der Spannung zwischen dem Erdungsanschluß eines Überspannungsbegrenzers und den geschützten Vorrichtungen.

Überspannungsbegrenzer

Geräte, die ein Beschädigen von Vorrichtungen durch transiente Überspannungen verhindern. Diese Vorrichtungen werden auch mit Überspannungsschutzvorrichtung und Überspannungsableiter bezeichnet.

Echte Erde

Der imaginäre Nullspannungspunkt auf den sich die Spannungen an allen anderen Stellen beziehen.

9.3 Anhang C: Literaturhinweis

Blitzschläge (Abschnitt 2)

Martin A Uman, *Lightning*, Dover 0 486 64575 4, 1969

William C Hart and Edgar W Malone, *Lightning and Lightning Protection*, Interference Control Technologies Inc, 1988

Protection of Structures Against Lightning, BS6651: 1992 Erdelektrodenwiderstand (Abschnitt 7.6)

Code of Practice for Earthing, BS7430: 1991

Blitzschutz von Gebäuden (Abschnitt 7.7)

Protection of Structures Against Lightning, BS6651: 1992

Geschirmte Kabel und Erdungskreise (Abschnitt 8.1)

Ralph Morrison, *Grounding and Shielding Techniques in Instrumentation*, Wiley Interscience, 0 471 83805 5, date 1986

Henry W Ott, *Noise Reduction Techniques in Electronic Systems*, Wiley Interscience, 0 471 85068 3

Überspannungsschutzerdern und Funktionserden in der Telekommunikation (Abschnitt 8.5)

Installation of Apparatus Intended for Connection to Certain Telecommunications Systems, Part 1: 'General Recommendations', BS6701: 1994

Explosionsgefährdete Bereiche: Erdung für den Blitzschutz (Abschnitt 8.7)

Überspannungsschutz für eigensichere Systeme, Handbuch TAN1004, Telematic Ltd., 1996

Überspannungsschutz für Montageorte in Zone 0 Handbuch TAN1005, Telematic Ltd., 1996

