

Berührungsspannung bei Blitzschutzanlagen

R. Brocke, N. Pfister, A. Wechsler; Neumarkt

Normgerecht geplante und errichtete Blitzschutzsysteme bieten nicht zwangsläufig Sicherheit vor Berührungsspannung, die außerhalb eines Gebäudes und nahe der Ableitungen in Sonderfällen lebensgefährlich sein kann. Der Beitrag beschreibt die Notwendigkeit eines Schutzes gegen Berührungsspannung beim Äußeren Blitzschutz für Gebäude sowie die Ausführung nach aktueller Norm.

1 Begriffsdefinitionen

1.1 Berührungsspannung

Die Berührungsspannung bei Blitzschutzanlagen ist als die Spannung definiert, die auf eine im Abstand von 1 m stehende Person bei Berührung des stromdurchflossenen Ableiters einwirkt (Bild 1). Ursache dieser Berührungsspannung ist der abgeleitete Blitzstrom, der einen Spannungsabfall am Erdwiderstand gegenüber der fernen Erde bewirkt. Diese Potentialdifferenz wird aufgrund ihrer Form als Spannungstrichter bezeichnet. Die Steilheit (Gradient) des Spannungstrichters ist in der Nähe der Ableitung am größten und nimmt mit größer werdendem Abstand ab.

Berührt eine Person die Ableitung während eines Blitzschlags, so fließt ein Teil des Blitzstromes über den Körper der Person. Hierbei führt der Stromweg über Hand und Körper zu den Füßen. Berechnungen unter Annahme des elektrischen Ersatzschaltbildes mit Induktivitäten zeigen, dass die in die Person eingeprengten Energien Werte im Bereich von einigen 10 J annehmen. Dies kann beim Berühren der stromdurchflossenen Ableitung eine wesentliche Gefährdung der Person darstellen.

1.2 Gefahrenbereich

Der Gefahrenbereich von Berührungsspannungen für Personen, die sich außerhalb des Gebäudes aufhalten, ist mit der Blitz-Schutzzone LPZ 0_c (LPZ – Lightning Protection Zone) definiert. Dabei handelt es sich um den Bereich auf Erdniveau außerhalb einer baulichen Anlage in einem Abstand von 3 m vom Gebäude und innerhalb einer Höhe von 3 m [1]. Dieser zu schützende Bereich entspricht in seiner Höhe der maximalen Griffhöhe eines Menschen mit hochgestreckter Hand und einem zusätzlichen Trennungsabstand s (Bild 2) [2].

Autor

Dr.-Ing. Ralph Brocke, Norbert Pfister und Dipl.-Ing. (FH) André Wechsler sind Mitarbeiter der Firma Dehn + Söhne, Neumarkt.

2 Induktive Einkopplung

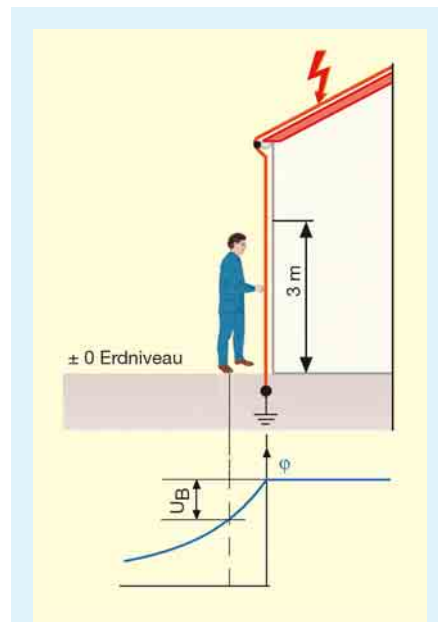
Im Zusammenhang mit der Gefährdung von Personen muss auch das magnetische Feld der Anordnung mit seinen Auswirkungen auf die nähere Umgebung der Ableitung berücksichtigt werden. Zwar treten im Falle eines negativen Folgeblitzes deutlich niedrigere Stromstärken auf als beim positiven Erstblitz, jedoch ist hier der sehr steile Stromanstieg charakteristisch (100 kA/μs für Blitzschutzklasse III). Dadurch werden in den entsprechenden Leiterschleifen hohe, sehr kurze Impulsspannungen induziert. In ausgedehnten Installationsschleifen ist es beispielsweise möglich, dass in Nähe der Ableitung Spannungen von mehreren 100 kV auftreten. Dies kann zu großen wirtschaftlichen Schäden führen.

Aufgrund seiner leitenden Eigenschaft bildet auch der menschliche Körper zusammen mit der isolierten Ableitung und dem leitfähigen Erdreich eine Schleife mit einer Gegeninduktivität M , in der hohe Spannungen U_i induziert werden können (Bild 3). Das aus Ableiter und Person bestehende System wirkt dabei wie ein Transformator. Hierzu sind in [5] folgende Bedingungen angegeben:

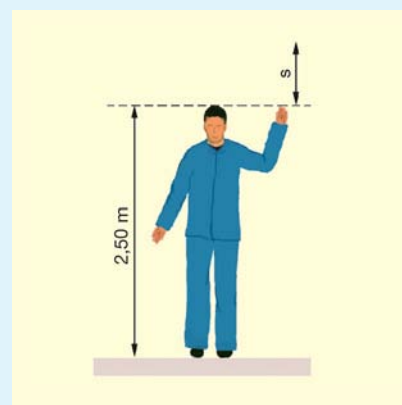
$$M = 0,2 \cdot h \cdot \ln \left(\frac{a}{r_{\text{Leitung}}} \right)$$

$$U_i = M \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

Die eingekoppelte Spannung U_i liegt an der Isolation an, da der menschliche Körper und das Erdreich zunächst als leitfähig angenommen werden können. Wird die Spannungsbelastung zu groß, kommt es zu einem Durch- oder Gleitüberschlag der Isolation. Ist dies der Fall, treibt die induzierte Spannung einen Strom durch die Schleife, dessen Größe von den Widerständen und der Eigeninduktivität der Schleife abhängt und für eine betroffene Person lebensgefährlich werden kann. Somit muss die Isolation dieser Spannungsbeanspruchung standhalten. Die normative Vorgabe von 100 kV bei 1,2/50 μs schließt die hohen



1 Prinzipdarstellung von Spannungstrichter und Berührungsspannung U_B



2 Gefahrenbereich für Personen

aber sehr kurzen Spannungsimpulse mit ein, die nur während der Dauer des Stromanstiegs (0,25 μs bei negativem Folgeblitz) anliegen. Mit zunehmender Eingrabbtiefe der isolierten Ableitung vergrößert sich die Schleife und damit die Gegeninduktivität M . Dadurch nimmt auch die induzierte Spannung und die Beanspruchung der Isolation in entsprechendem Maß zu, was bei dieser Betrachtung bezüglich induktiver Einkopplung mit zu berücksichtigen ist.

3 Normative Forderungen

Die Blitzschutznormenreihe DIN V VDE V 0185 beschreibt neben dem Gebäudeblitzschutz auch Schutzmaßnahmen für Personen innerhalb und in der Nähe gefährdeter Gebäude. Besondere Anforderungen gelten beispielsweise für Eingangs- oder Unterstellbereiche von baulichen Anlagen mit

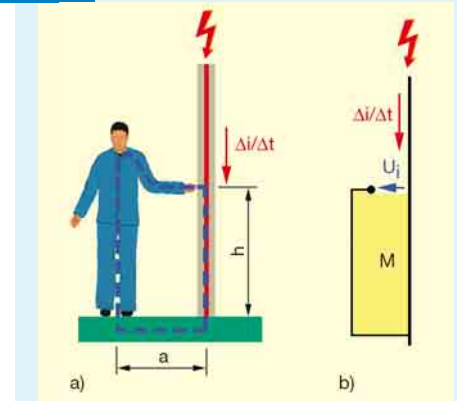
hoher Besucherfrequenz wie Theater, Kinos, Einkaufszentren oder Kindergärten, bei denen keine isolierten Ableitungen und Blitzschutzterder in unmittelbarer Nähe vorhanden sind. Bei besonders exponierten (blitzgefährdeten) baulichen Anlagen, die dem öffentlichen Personenverkehr frei zugänglich sind, wie z. B. Schutzhütten, können ebenfalls Maßnahmen gegen unzulässig hohe Berührungsspannungen erforderlich sein. Weiterhin ist die Personengefährdung bei der Risikoanalyse einer baulichen Anlage nach [3] als Parameter D1 (Verlust von Menschenleben) zu beachten.

4 Schutzmaßnahmen

Gefahren durch Berührungsspannung lassen sich mit folgenden Maßnahmen reduzieren:

- Die Ableitung wird mit einem Isolierstoff ummantelt (mindestens 3 mm vernetztes Polyethylen; mit Stehstoßspannungsfestigkeit von 100 kV bei 1,2/50 μ s).
- Die Position der Ableitungen wird verändert (z. B. Ableitungen nicht im Eingangsbereich der baulichen Anlage anbringen).
- Der spezifische Widerstand der Erdoberflächenschicht im Abstand bis 3 m um die Ableitung beträgt mindestens 5 k Ω m.
- Die Wahrscheinlichkeit einer Häufung von Personen kann durch Hinweisschilder, Verbotstafeln oder Absperrungen verringert werden.

Jedoch sind diese Maßnahmen zum Schutz gegen Berührungsspannung für einen wirksamen Personenschutz nicht in jedem Fall ausreichend. So genügt beispielsweise die Ummantelung einer exponierten Ableitung mit hochspannungsfester Isolierung nur dann, wenn gleichzeitig Maßnahmen zum Schutz gegen Gleitüberschläge an der Oberfläche der Isolierung getroffen werden. Dies ist von besonderer Bedeutung, wenn Umwelteinflüsse wie z. B. Regen (Feuchtigkeit) berücksichtigt werden müssen. Wie beim blanken Ableiter baut sich auch bei der isolierten Ableitung im Fall eines Blitzeinschlags eine hohe Spannung auf, die durch die Isolation vom Menschen getrennt gehalten wird. Da der menschliche Körper im Vergleich zum Isolierstoff als sehr gut leitfähig angenommen werden kann, wird die Isolierschicht mit nahezu der gesamten Berührungsspannung beansprucht. Hält die Isolation hier nicht stand, kann ein Teil des Blitzstromes wie bei einer blanken Ableitung über den Menschen zur Erde abfließen. Für einen sicheren Personenschutz gegen Berührungsspannungen ist es daher unbedingt erforderlich, sowohl einen Durchschlag durch die Isolierung als auch einen Gleitüberschlag über die Isolierstrecke zu verhindern.



3 Prinzipdarstellungen zur induktiven Einkopplung

a) Schleife bestehend aus Ableitung und Person; b) Gegeninduktivität M und induzierte Spannung U_i

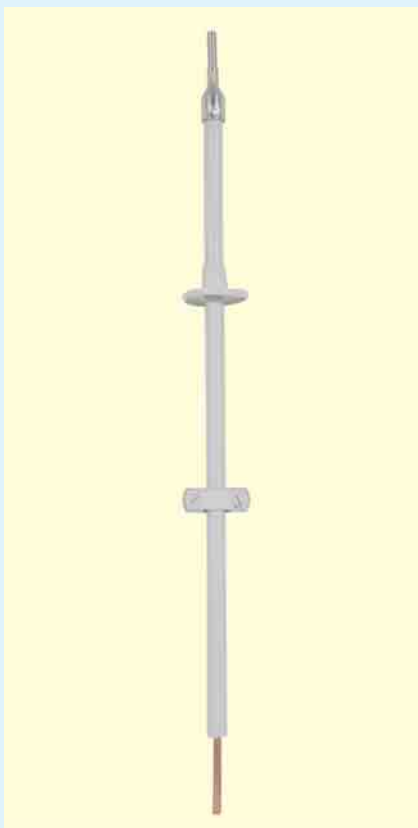


4 Detailansicht der Leitung zum Schutz vor Berührungsspannung

5 Schutz durch spezielle Leitung

Eine Systemlösung wie die so genannte CUI-Leitung erfüllt die Anforderung der Durch- und Gleitüberschlagsfestigkeit zum Schutz vor Berührungsspannung. Diese Leitung besteht aus einem Innenleiter aus Kupfer mit einem Querschnitt von 50 mm² sowie einer rund 6 mm dicken Isolationschicht aus vernetztem stoßspannungsfesten Polyethylen (VPE). Zum Schutz vor äußeren Einflüssen ist die isolierte Leitung zusätzlich mit einer dünnen Schicht aus Polyethylen (PE) umhüllt (Bild 4). Die Ableitung wird im gesamten Bereich der Blitzschutz-Zone LPZ O_c verlegt, d. h. oberhalb der Erdoberfläche werden 3 m der CUI-Leitung senkrecht installiert. Das obere Leitungsende wird an die von der Fangeinrichtung kommende Ableitung angeschlossen, das untere Ende an die Erdungsanlage.

Neben der Durchschlagsfestigkeit der Isolierung muss auch die Gefahr von Gleitüberschlägen zwischen dem Anschlusspunkt an der blanken Ableitung und der Hand der berührenden Person betrachtet werden. Diese aus der Hochspannungstechnik bekannte Problematik der Gleitladungen wird mit einer Fremdschicht wie z. B. Regen noch zusätzlich verschärft. Versuche haben gezeigt, dass eine isolierte Ableitung ohne zusätzliche Maßnahmen auf einer Strecke von mehr als 1 m bei Beregnung überschlagen werden kann. Durch das Aufbringen



5 Vorkonfektionierte CUI-Leitung

eines geeigneten Schirmes an die isolierte Ableitung wird eine ausreichende Trockenzone geschaffen, die einen Gleitüberschlag entlang der Isolationsoberfläche verhindert. Mit Stehspannungsprüfungen unter Beregnung nach [4] wurde die Betriebssicherheit der Leitung sowohl bezüglich der Durchschlagsfestigkeit als auch der Gleitüberschlagsfestigkeit bei Impulsspannungen bis 100 kV (1,2/50 μ s) nachgewiesen. Die CUI-Leitung ist vorkonfektioniert mit Anschlusselement für das Anschließen an die Ableitung (Trennstelle) und kann gegebenenfalls zum Anschluss an die Erdungsanlage auch vor Ort gekürzt werden. Sie ist in den Längen 3,5 m und 5 m mit den notwendigen abgestimmten Leitungshaltern aus Kunststoff oder Metall erhältlich (Bild 5).

6 Fazit

Jährlich entladen sich über dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland durchschnittlich etwa 1,5 Millionen Blitze. Neben dem Schutz baulicher Anlagen vor mechanischer Zerstörung oder Brand sollen Blitzschutz-

systeme auch Personen innerhalb und in der Nähe von Gebäuden vor Verletzung oder Tod bewahren. Durch Verwendung der CUI-Leitung lässt sich die Berührungsspannung an Ableitungen mit geringem Installationsaufwand beherrschen. Damit wird die Gefahr für Personen in den besonders gefährdeten Bereichen wesentlich reduziert.

Literatur

- [1] DIN V VDE V 0185-4 (VDE 0185 Teil 4):2002-11 Blitzschutz – Elektrische und elektronische Systeme in baulichen Anlagen
- [2] DIN V VDE V 0185-3 (VDE 0185 Teil 3):2002-11 Blitzschutz – Schutz von baulichen Anlagen und Personen
- [3] DIN V VDE V 0185-2 (VDE 0185 Teil 2):2002-11 Blitzschutz – Risiko-Management: Abschätzung des Schadensrisikos für bauliche Anlagen
- [4] VDE 0432-1 Hochspannungs-Prüftechnik – Allgemeine Festlegungen zu Prüfbedingungen, (IEC 60060-1: 1989 + Corrigendum März 1990); Deutsche Fassung HD 588.1 S1, 1990
- [5] Hasse, P.; Wiesinger, J.: Handbuch für Blitzschutz und Erdung. 5. Auflage. Pflaum Verlag, München, Bad Kissingen, Berlin, Düsseldorf, Heidelberg, 2006