

# Schutzpegel von Blitzstromableitern in TT-Netzen

Jan Meppelink • Jürgen Trinkwald • Ernst Günther Jordan

**Blitzstromableiter der Kategorie B der neuesten Technologie mit gesteuerten Funkenstrecken aus Grafit bieten im Besonderen im TT-Netz einen vorteilhaft niedrigen Schutzpegel trotz der Serienschaltung der Phasenableiter mit der N-PE-Funkenstrecke. Diese günstige Eigenschaft schützt wirksam die Isolierung zwischen Außenleiter und PE auch bei hohen Steilheiten der Blitzstoßspannung.**

Blitzstromableiter [1] stellen bei einem Blitzeinschlag den Potenzialausgleich zwischen PE und den Leitern der Energieversorgung her und begrenzen die dabei auftretende Stoßspannung auf einen Wert unterhalb der Bemessungsstoßspannung nach DIN V VDE 0100-534 (VDE V 0100 Teil 534):1999-04 [2]. Die Tabelle zeigt die für Dreiphasensysteme mit einer Nennspannung von 230/400 Volt gültigen Werte der Bemessungsstoßspannung.

## Ableiter in TT-Netzen

Gerade in TT-Netzen muss zusätzlich zu den Phasenableitern, die zwischen L und N installiert werden, noch eine N-PE-Funkenstrecke eingesetzt werden. Der Grund dafür ist der hohe Erdungswiderstand in TT-Netzen, der im Falle eines Isolationsfehlers z. B. zwischen L1 und PE das Auslösen einer Schutzeinrichtung verhindert. Daher dürfen Varistorableiter im TT-Netz in keinem Falle zwischen einem Außenleiter und dem Schutzleiter angeschlossen werden. Bild 1 zeigt eine korrekte Installation von Blitzstrom- und Überspannungsableitern in einem TT-Netz. Der Blitzstromableiter allein kann jedoch aus zwei Gründen nicht die für die gesamte räumlich ausgedehnte Anlage vorgeschriebene Bemessungsstoßspannung sicherstellen:

- Der räumliche Schutzbereich eines Ableiters ist begrenzt,
- der Blitzstromableiter, der bei höchstem Ableitvermögen als Funkenstreckenableiter ausgeführt wird, soll nicht bei inneren Überspannungen, z. B. infolge von Schalthandlungen ansprechen.

Daher wird in der Praxis der dreistufige Schutz ausgeführt, wie ihn Bild 1 zeigt. Die in den Bereichen C (fest installierte Verbraucher) und D (bewegliche Verbraucher) angeordneten Ableiter sind keine Blitzstromableiter, sondern Überspannungsableiter, die meist als Varistor-

*Ing. (grad) Ernst Jordan ist Mitarbeiter der BET Blitzschutz und EMV Technologiezentrum GmbH in Menden.*

*Dr.-Ing. Jan Meppelink ist Professor für Hochspannungstechnik an der Universität Gesamthochschule Paderborn, Abt. Soest, FB 16 und wissenschaftlicher Berater im BET.*

*Dipl.-Ing. Jürgen Trinkwald ist Leiter der Entwicklung ESV El.-Schutz- und Verbindungssysteme der OBO Bettermann GmbH.*

ableiter ausgeführt werden. Auch für die Überspannungsableiter im C- und D-Bereich gilt die Forderung nach Einbau einer N-PE-Funkenstrecke. So kann jeder Ableiter die für seinen Bereich geforderte Bemessungsstoßspannung sicherstellen. Da jedoch die Bemessungsstoßspannungen vom B- zum D-Ableiter abnehmen (vgl. Tabelle), würde bei unmittelbarer direkter Parallelschaltung von B-, C- und D-Ableitern der Ableiter mit dem kleinsten Schutzpegel als erster reagieren und dabei thermisch zerstört werden. Zur Vermeidung dieses Effekts werden bei unmittelbarer Parallelschaltung Entkopplungs-

spulen (vgl. Bild 1) zwischen die Ableiter geschaltet, bzw. bei größerer Entfernung dient die Induktivität der Leitung als Entkopplung. Durch diese Entkopplungsspulen wird eine thermische Überlastung von Ableitern verhindert und der Schutzpegel eingehalten. Bild 3 zeigt das Ergebnis einer Simulation der Überspannungen in einem TT-Netz bei einem direkten Blitzeinschlag in die äußere Blitzschutzanlage.

## Schutzpegel von Blitzstrom- und Überspannungsableitern

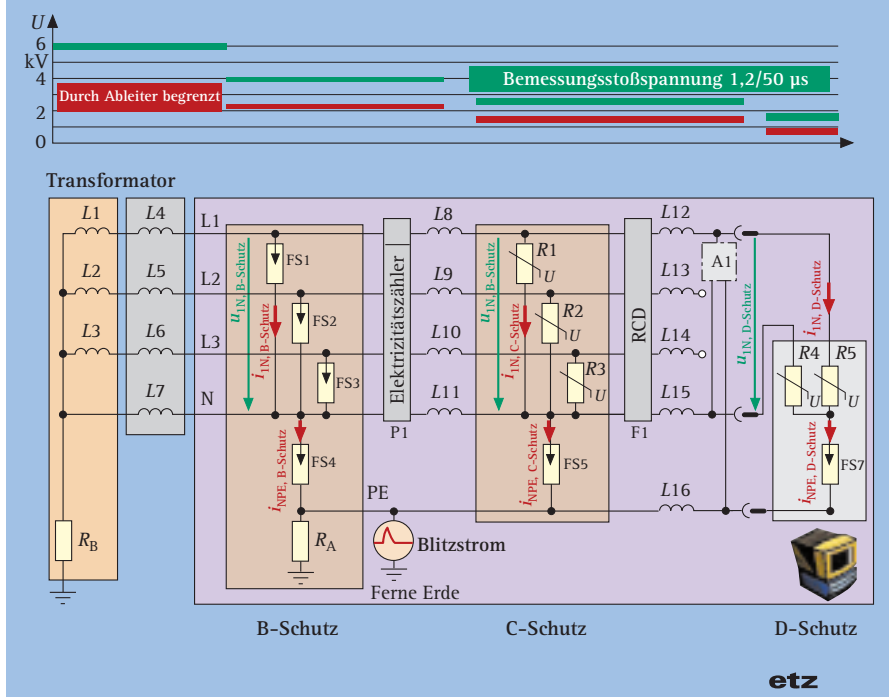
Die Ableiter müssen den angegebenen Schutzpegel einhalten. Der Schutzpegel von Blitzstromableitern mit Funkenstrecke wird nach E DIN VDE 0675-6/A1 (E VDE 0675 Teil 6/A1):1996-03 [4] wie folgt ermittelt: Die Ansprechstoßspannung wird mit Stoßspannung 1,2/50 µs durch Anlegen von je fünf positiven und negativen Stößen ermittelt, wobei alle Stöße zum Überschlag der Funkenstrecke führen müssen.

Der Schutzpegel von Überspannungsableitern der Anforderungsklasse C wird nach [4] durch Messung der Restspannung bei Stoßströmen 8/20 µs ermittelt. Die Restspannung des Ableiters, die zur Ermittlung der gemessenen Restspannung verwendet wird ist nach der Definition in [4] die höchste Spannung zwischen dem 0,1- bis 1,0-fachen des Nennableit-Blitzstoßstroms 8/20 µs.

Die so nach der Norm ermittelte Ansprechspannung eines Funkenstreckenableiters gibt an, ab welcher Höhe der Stoßspannung die Funkenstrecke sicher schaltet. Überspannungen infolge von

Nennspannung der Anlage in V		Erforderliche Bemessungsstoßspannung in kV			
Dreiphasensysteme	Einphasensysteme mit Mittelpunkt	Betriebsmittel am Speisepunkt der Anlage	Betriebsmittel in Verteil- und Endstromkreisen der Anlage	Verbrauchsmittel	Speziell geschützte Betriebsmittel
		(Überspannungskategorie IV)	(Überspannungskategorie III)	(Überspannungskategorie II)	(Überspannungskategorie I)
–	120–240	4	2,5	1,5	0,8
230/400	–	6	4	2,5	1,5

*Erforderliche Bemessungsstoßspannung für Betriebsmittel nach IEC 60364-4-443:1999-03 [3]. Die Bemessungsstoßspannung betrifft die Spannung zwischen Außenleiter und PE*



**Bild 1.** Anordnung von Blitzstrom- und Überspannungsableitern im TT-Netz.

- A1 Betriebsmittel zum Anschluss an feste Installation
- FS1–FS4 Blitzstromableiter B-Schutz
- L1–L3 Transformator-Nachbildung
- L4–L7 Zuleitungs-Impedanz Transformator → NS-Verteilung, bzw. eingebaute Entkopplungsspulen
- L8–L11 Impedanz Leitung zwischen Einspeisung und C-Schutz bzw. eingebaute Entkopplungsspulen
- L12–L16 Leitungsimpedanz zwischen C- und D-Schutz, bzw. eingebaute Entkopplungsspulen
- R1–R3, FS5 C-Schutz als Überspannungsableiter
- R4–R5, FS7 D-Schutz für besonders geschützte Betriebsmittel
- $R_A$  Anlagenerder
- $R_B$  Betriebserder

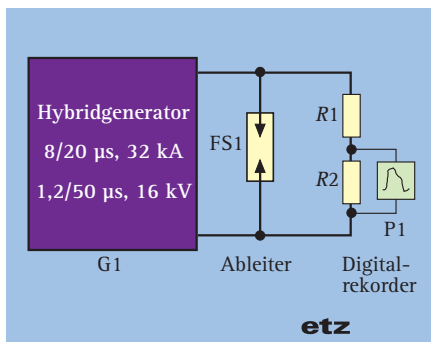
B-Schutz: Blitzstromableiter und blitzstromtragfähige N-PE-Funkenstrecke mit hohem Ableitvermögen und Schutzpegel < 4 kV

C-Schutz: Überspannungsableiter und N-PE-Funkenstrecke mit Schutzpegel < 2,5 kV

D-Schutz: Überspannungsableiter N-PE-Funkenstrecke mit Schutzpegel < 1,5 kV

Blitzeinschlägen können natürlich eine Stoßspannung aufweisen, deren prospektive Höhe weit über der der Prüfspannung zur Ermittlung des Schutzpegels der Funkenstrecke liegt. Daher ist von Interesse, wie die Ansprechspannung

einer Funkenstrecke von der Höhe der Stoßspannung, bzw. von der Steilheit der Stoßspannung abhängt. Weiterhin gibt die Norm [4] keinen Hinweis auf die Serienschaltung von Funkenstrecken, wie sie im vorliegenden Fall eines TT-Netzes zu beachten ist. Daher wird im Besonderen das Verhalten der Serienschaltung eines Blitzstromableiters mit Funkenstrecke und einer N-PE-Funkenstrecke untersucht.



**Bild 2.** Prinzip-Schaltbild der Versuchsschaltung zur Ermittlung der Stoßkennlinie von Blitzstromableitern mit Funkenstrecke

### Steilheit der Stoßspannung: Ansprechverhalten der Ableiter

Ansprechverhalten von Blitzstromableitern und N-PE-Funkenstrecken in Abhängigkeit von der Steilheit der Stoßspannung: Die Stoßkennlinie wurde mit einem Hybridgenerator [5–6] ermittelt. Bild 2 zeigt schematisch den Versuchsaufbau. Der Hybridgenerator mit einem Innenwiderstand von  $2 \Omega$  liefert zunächst eine Blitzstoßspannung der Form

1,2/50  $\mu$ s. Nachdem die Funkenstrecke gezündet hat, liefert der Hybridgenerator einen Stoßstrom der Form 8/20  $\mu$ s bis zu einer Höhe von 32 kA. Mit dem verwendeten Hybridgenerator konnten Stoßspannungen bis zu einer Höhe von 16 kV erzeugt werden. Durch die Verwendung eines Hybridgenerators wird die Funkenstrecke unter realistischen Bedingungen wie bei einem Blitzeinschlag untersucht, da in der Natur bei einem Ansprechen der

Funkenstrecke stets ein Stoßstrom fließt. Blitzstromableiter unterschiedlicher Technologie wurden untersucht.

### Stoßkennlinien von Blitzstromableitern (B-Ableiter)

Konventionelle Blitzstromableiter mit ausblasenden Funkenstrecken und Blitzstromableiter neuester Technologie [1] werden miteinander verglichen. Bild 4 zeigt die Stoßkennlinien. Der Schutzpegel

des konventionellen Blitzstromableiters OBO-Bettermann LA 60-B [7] beträgt 4 kV. Die Stoßkennlinie zeigt eine Ansprechspannung, die nahezu unabhängig von der Steilheit der Stoßspannung ist und im Bereich höchster Steilheiten infolge des Verhaltens der Gleitentladungsfunkenstrecke sogar noch etwas absinkt. Das Niveau bleibt für alle Steilheiten unter 4 kV. Der geschlossene Blitzstromableiter, OBO-Bettermann Lightning-Controller MC 50-B, mit einem Schutzpegel von 2 kV zeigt dagegen einen wesentlich besseren Schutzpegel. Mit zunehmender Steilheit der Stoßspannung steigt die Ansprechspannung flach an und bleibt weit unterhalb der geforderten 4 kV für die Überspannungskategorie III nach der Tabelle.

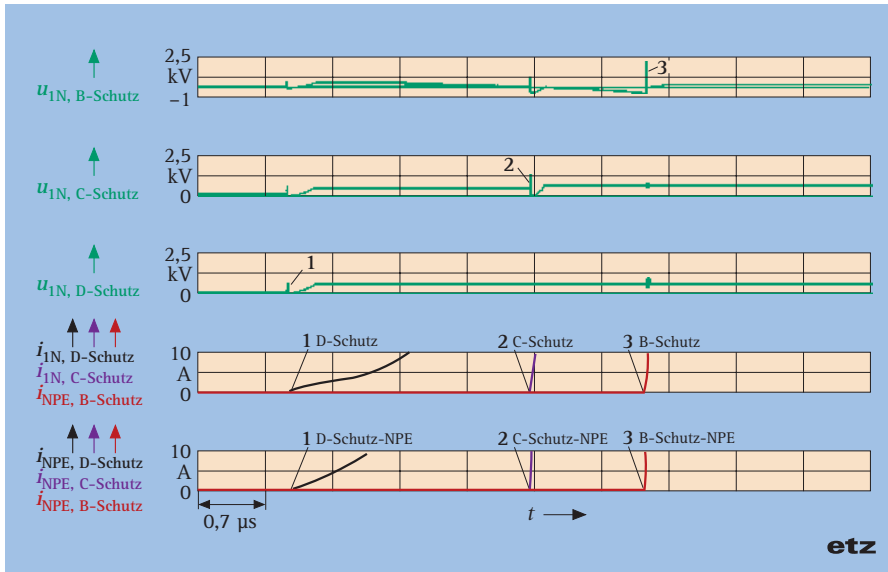
### Stoßkennlinien von N-PE-Funkenstrecken

Untersucht wurde eine N-PE-Funkenstrecke vom Typ OBO-Bettermann LA 100-B, die für einen Stoßstrom von 100 kA (10/350  $\mu$ s) ausgelegt ist. Neue geschlossene N-PE-Funkenstrecken mit Grafit-Technologie [1] sind für einen Stoßstrom von 125 kA (10/350  $\mu$ s) ausgelegt, da im TT-Netz die N-PE-Funkenstrecke nahezu den gesamten Blitzstrom führen muss, während die Phasenableiter nur etwa ein viertel des Stroms tragen müssen. Die N-PE-Funkenstrecke OBO-Bettermann MC 125/B-NPE besteht aus zwei Funkenstrecken mit kapazitiver Steuerung der Funkenstrecken. Bild 5 zeigt die Stoßkennlinien der Funkenstrecken im Vergleich. Beide Funkenstrecken zeigen einen flachen Verlauf der Stoßkennlinie und halten auch bei höchsten Steilheiten sicher den Schutzpegel von 2,5 kV ein.

### Seriengeschaltete Blitzstromableiter und N-PE-Funkenstrecken

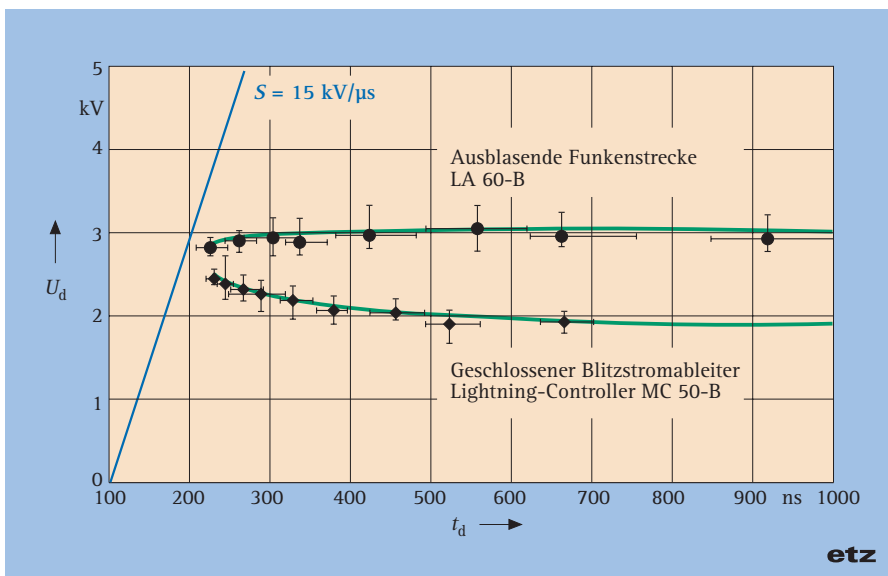
Wie bereits erwähnt müssen im TT-Netz beide Funkenstrecken, der Blitzstromableiter zwischen Außenleiter und N und die N-PE-Funkenstrecke zwischen N und PE gemeinsam einen Schutzpegel < 4 kV aufweisen. Bild 6 zeigt die Stoßkennlinien der Reihenschaltung der Funkenstrecken, die als Einzelelement in Bild 4 und 5 dargestellt sind.

Die Stoßkennlinie der Serienschaltung aus konventionellen Funkenstrecken LA 60-B (ausblasende Funkenstrecke) und LA 100-B verläuft mit zunehmender Steilheit der Stoßspannung oberhalb des geforderten Schutzpegels von 4 kV. Beide Bauelemente zusammen erfüllen allerdings den Schutzpegel von 4 kV, der nach [4] als Ansprechstoßspannung ge-



**Bild 3.** Computersimulation der Anordnung in Bild 1 bei einem direkten Blitzeinschlag zur Erklärung der Kommutierungsvorgänge.

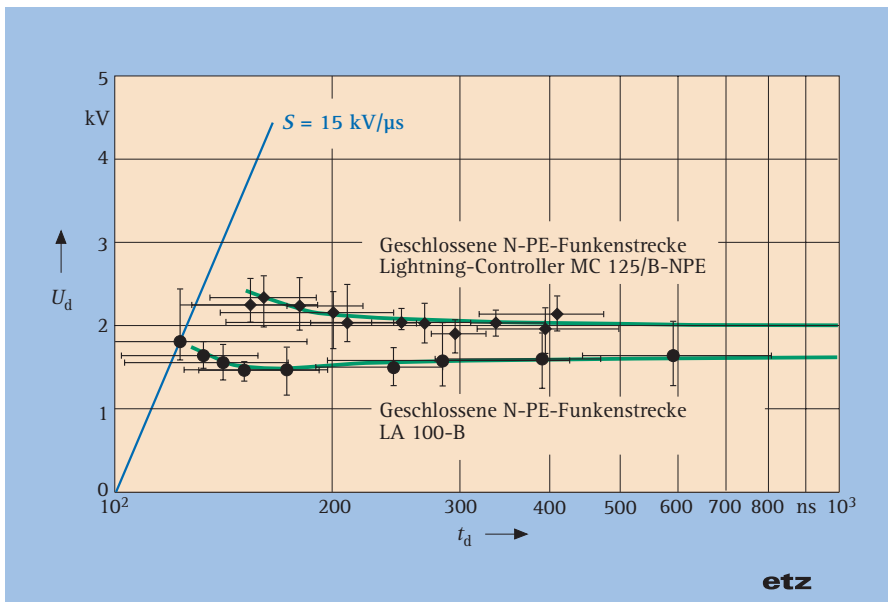
- 1 Zünden der N-PE-Funkenstrecke im D-Schutz und Begrenzung durch den Überspannungsableiter im D-Bereich,
- 2 Zünden der N-PE-Funkenstrecke im C-Schutz und Begrenzung durch den Überspannungsableiter im C-Bereich,
- 3 Ansprechen der N-PE-Funkenstrecke im B-Bereich und Ansprechen der Blitzstromableiter in den Außenleitern.



**Bild 4.** Stoßkennlinie von Blitzstromableitern.

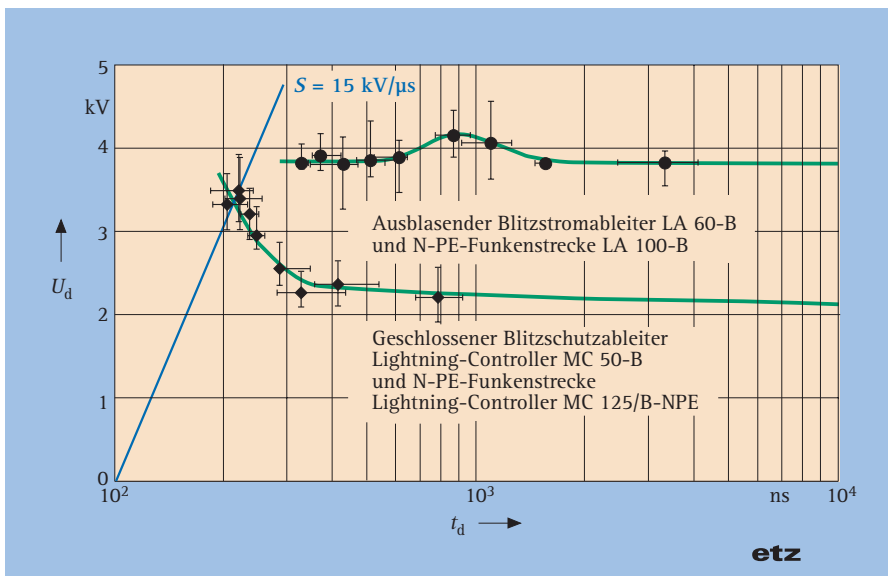
Oben: Konventionelle ausblasende Funkenstrecke Typ LA 60-B.

Unten: Geschlossener, nicht-ausblasender Lightning-Controller MC 50-B neuester Technologie



**Bild 5.** Stoßkennlinie von Blitzstromableitern.

Oben: Geschlossener, nicht-ausblasender Lightning-Controller MC 125/B-NPE neuester Technologie.  
 Unten: Konventionelle, geschlossene N-PE-Funkenstrecke Typ LA 100-B



**Bild 6.** Stoßkennlinie von seriengeschalteten Blitzstromableitern und N-PE-Funkenstrecken.  
 Oben: Konventionelle ausblasende Funkenstrecke Typ LA 60-B in Serie geschaltet mit N-PE-Funkenstrecke LA 100-B.

Unten: Geschlossener, nicht ausblasender Lightning-Controller MC 50-B in Serienschaltung mit der geschlossenen N-PE-Funkenstrecke Lightning-Controller MC 125/B-NPE

messen wird. Demgegenüber verhält sich die Stoßkennlinie der neuen geschlossenen Ableiter wesentlich besser. Der Schutzpegel nach [4] gemessen beträgt 2,5 kV. Erst bei größeren Steilheiten der Blitzstoßspannung steigt die Kennlinie an und bleibt stets unter 4 kV. Dieses Verhalten erklärt sich aus dem schnelleren Ansprechen der Funkenstrecken in den Ableitern der neuesten Technologie, die als großflächige Parallelplatten-Funkenstrecken ausgeführt sind und daher aufgrund der günstigeren Statistik der Anfangselektronen im feld-

erfüllten Volumen der Funkenstrecken eine kürzere Durchschlagszeit ermöglichen.

### Schutz bei höchsten Steilheiten: Ableiter in Grafit-Technologie

In TT-Netzen werden bei Verwendung von Blitzstromableitern und N-PE-Funkenstrecken im B-Bereich die Schutzpegel von 4 kV eingehalten. Diese Aussage bezieht sich auf die Ansprechstoßspannung der Funkenstrecken, die bei einer Steilheit der Stoßspannung ermittelt wird, bei der gerade fünf Stöße positiver und

fünf Stöße negativer Polarität zum Überschlag führen. Bei einem Blitzeinschlag wirkt jedoch in der Anlage eine Stoßspannung höherer Steilheit. Deshalb wurde die Untersuchung über den Schutzpegel bei höheren Steilheiten durchgeführt, um zu zeigen, wie sich dabei unterschiedliche Funkenstreckentechnologien verhalten. Dabei wurde festgestellt: Konventionelle Blitzstromableiter mit Funkenstrecken, die Plasma ausblasen, zeigen bei zunehmender Steilheit der Stoßspannung einen Schutzpegel von etwa 3 kV. Vorteile bieten geschlossene Blitzstromableiter in Grafit-Technologie, die kein Plasma ausblasen und deren Schutzpegel unterhalb 2,5 kV bleibt.

N-PE-Funkenstrecken beider Technologien zeigen eine glatte Stoßkennlinie unterhalb 2,5 kV. Die Reihenschaltung der Blitzstromableiter mit den jeweiligen N-PE-Funkenstrecken offenbart die Vorteile der neuen Grafit-Technologie mit geschlossenen Funkenstrecken. Während die Stoßkennlinie der Serienschaltung konventioneller Ableiter Werte oberhalb 4 kV zeigt, bleibt die Stoßkennlinie der neuen Ableiter in Grafit-Technologie weit unterhalb 4 kV und schützt so normgerecht auch im TT-Netz die Isolierung zwischen Außenleiter und PE auch bei höchsten Steilheiten der Blitzstoßspannung bei einem Blitzeinschlag.

### Literatur

- [1] Drilling, C.; Droidner, M.; Jordan, E.; Meppelink, J.; Trinkwald, J.: Geschlossene Blitzstromableiter mit erweitertem Betriebsbereich. etz Elektrotech. + Autom. 121 (2000) H. 7-8, S. 32-34
- [2] DIN V VDE V 0100-534 (VDE V 0100 Teil 534): 1999-04 Elektrische Anlagen von Gebäuden – Teil 534: Auswahl und Errichtung von Betriebsmitteln – Überspannungs-Schutzeinrichtungen. Berlin · Offenbach: VDE VERLAG. Zu beziehen über VDE VERLAG, Berlin ([www.vde-verlag.de](http://www.vde-verlag.de))
- [3] IEC 60364-4-443:1999-03 Electrical installations of buildings – Part 4: Protection for safety – Chapter 44: Protection against overvoltages – Section 443: Protection against overvoltages of atmospheric origin or due to switching. Genf/Schweiz: Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale. Zu beziehen über VDE VERLAG, Berlin ([www.iec-normen.de](http://www.iec-normen.de))
- [4] E DIN VDE 0675-6/A1 (E VDE 0675 Teil 6/A1): 1996-03 Überspannungsableiter zur Verwendung in Wechselstromnetzen mit Nennspannungen zwischen 100 V und 1000 V – Änderung 1. Berlin · Offenbach: VDE VERLAG. Zu beziehen über VDE VERLAG, Berlin ([www.vde-verlag.de](http://www.vde-verlag.de))
- [5] Meppelink, J.: Multipler Blitzstromgenerator. etz Elektrotech. + Autom. 122 (2000) H. 3-4, S. 52
- [6] Höhen, W.: Modifikation eines multiplen Stoßgenerators zur Messung von Stoßkennlinien. Diplomarbeit an der Universität GH Paderborn, Abt. Soest, FB 16. Soest: Uni GH Paderborn, 2001
- [7] [www.obo-bettermann.de](http://www.obo-bettermann.de)