



DEHN + SÖHNE

Verfügbarkeit von Mittelspannungsanlagen.



SONDERDRUCK NR. 65 AUS TAB 05/2007



Autor

Dipl.-Ing. (FH) Lothar Gmelch
Produktmanagement Überspannungs-
schutz DEHN + SÖHNE GmbH + Co. KG,
92306 Neumarkt



Bild 1: Blitzschutz durch Überspannungsschutz in Mittelspannungsanlagen

Zur Verfügbarkeit elektrischer Anlagen Überspannungsschutz von Mittelspannungsanlagen

Elektrische Betriebsmittel der Mittelspannungstechnik haben den Ruf einer robusten Technik, dennoch hat auch hier der Einzug moderner Überspannungs-Ableiter deutlich an Stellenwert gewonnen. Der wesentliche Grund hierfür ist sicherlich der Wunsch, aber auch der Zwang nach einer erhöhten Verfügbarkeit der elektrischen Anlage in Zeiten eines immer größer werdenden Kostendrucks auf die Betreiber. Dabei wird die Verfügbarkeit der elektrischen Anlage durch zwei Ereignisse bestimmt. Das Worst-Case-Szenario ist der Totalausfall der elektrischen Anlage, bedingt durch Überspannungen. Das weniger spektakuläre Ereignis ist die Herabsetzung der Lebensdauer der elektrischen Betriebsmittel durch eine stetige Belastung der Isolation durch Überspannungen.

Die Ursachen für Überspannungen in elektrischen Versorgungsnetzen sind vielfältig. Übergeordnet sind hier die Blitzwirkungen und Schalthandlungen zu nennen.

Die größte Bedrohung geht von einem direkten Blitzeinschlag aus. Dieser kann sich im Bereich der Freileitung durch einen Seilleiter-Einschlag oder aber auch durch einen rückwärtigen Einschlag, bei dem zuerst der Mast getroffen wird und in der Folge ein Überschlag auf die Leiterseile stattfindet, darstellen.

Ein Blitzeinschlag im nahen Umfeld kann eine induktive Kopplung hervorrufen.

Wolke-Wolke-Blitze können ebenso zur Bildung von Überspannungen in Form von Wanderwellen im Bereich der Freileitungen führen.

Da in den letzten Jahrzehnten mehr und mehr eine Verlagerung der Trafostationen und Mittelspannungs(MS)-Anlagen direkt in Industrie- und Zweckbauten stattgefunden hat, muss konsequenterweise auch die Bedrohung durch einen direkten Blitzeinschlag bei solchen Gebäuden und die bereits oben beschriebenen induktiven und kapazitiven Kopplungsmechanismen in Betracht gezogen werden.

Als weitere Störursachen neben dem natürlichen Phänomen Blitz

können die so genannten Schaltüberspannungen genannt werden, die aufgrund von Schalthandlungen entstehen.

Alle genannten Formen der Überspannung gefährden die elektrischen Betriebsmittel. Da die Isolationsfestigkeit elektrischer Betriebsmittel aus wirtschaftlicher Betrachtung heraus nicht auf mögliche entstehende Überspannungen (z. B. durch direkte Blitzeinschläge) ausgelegt werden kann, werden Überspannungs-Ableiter eingesetzt. Dies ist wirtschaftlicher und es wird ein versorgungszuverlässiger Netzbetrieb erreicht.

Seit Mitte der 1980er Jahre wurden die bis dato in den Mittelspannungsnetzen eingesetzten Ableiter, bestehend aus einer Serienschaltung von SiC-Widerständen und Funkenstrecken, mehr und mehr durch Ableiter auf Basis von Metalloxid-Varistoren (MOV) abgelöst. Diese MOV-Ableiter ohne seriengeschaltete Funkenstrecke bestehen aus übereinander geschichteten MO-Varistoren, die eine hohe, nicht lineare Stromspannungs-Charakteristik besitzen. Dies bedeutet, dass der MO-Varistor ab einem bestimmten Bereich bei hohen Strömen sehr stark in eine Spannungsbegrenzung geht. MO-Varistoren bilden den Aktivteil der Ableiter (Bild 3). Mit der Einführung moderner MOV-



Bild 2: Defekter Trafo durch direkten Blitzeinschlag

Ableiter hat zeitgleich auch eine Ablösung des bis dahin verwendeten Isolierkörpers stattgefunden. Während vorher die klassischen Isoliermaterialien, wie z. B. Porzellan, das isolierende Gehäuse (Bild 3) von Ableitern gebildet haben, wird heute vorwiegend Silikon als Isoliermaterial eingesetzt. Neben seinen idealen mechanischen Eigenschaften, wie eine sehr hohe Flexibilität und Biegsamkeit, die sich vor allem beim Transport und Einbau zeigen, hat Silikon vor allem herausragende Eigenschaften hinsichtlich der Isolationsfestigkeit, geringer Kriechwegbildung und der so genannten Hydrophobie. Damit wird eine Eigenschaft beschrieben, welche das Bilden von wasserbenetzten Oberflächen, aber auch das Bilden von Schmutzablagerungen auf der Silikonoberfläche weitestgehend verhindert.

Mit der neuen Ableitertechnologie ist auch die Produktnorm IEC 60099-4 [1] mehr und mehr in den Mittelpunkt gerückt. Dabei handelt es sich um eine Norm für funkenstreckenlose Ableiter. Darin werden die Mindestanforderungen für die Auslegung und Prüfung von MOV-Ableitern ohne Funkenstrecken zum Einsatz in Wechselspannungsnetzen beschrieben. Eine eigenständige Norm für MOV-Ableiter zum Einsatz in Gleichspannungsnetzen gibt es bis heute nicht. Während die IEC 60099-4 [1] eine ständige Aktualisierung erfährt, liegt das Veröffentlichungsdatum der Anwendernorm IEC 60099-5 [2] fast sieben Jahre zurück. Mit ihr werden Empfehlungen zur Auswahl und Anwendung von Überspannungs-Ableitern gegeben, die in Wechselspannungsnetzen mit Nennspannungen über 1 kV zum Einsatz kommen.

Eine weitere wichtige zu beachtende Norm ist die DIN VDE 0101 [3] sowie die Technische Richtlinie des Verbandes der Netzbetreiber (VDN) [4].

Die DIN VDE 0101 [3] dient der Projektierung und Errichtung von Starkstromanlagen mit Nenn-Wechselspannungen über 1 kV mit dem Ziel einer sicheren und störungsfreien Funktion im bestimmungsgemäßen Betrieb. Darin wird unter den elektrischen Anforderungen erläutert, dass Anlagen und Betriebsmittel sowohl ihren Betriebsspannungen als auch zeitweiligen betriebsfrequenten Überspannungen

sowie Schaltspannungen und Blitzüberspannungen standhalten müssen. Ferner wird beschrieben, dass für die Isolationsbemessung die Beherrschung der durch Gewittereinwirkung hervorgerufenen Überspannung maßgebend ist.

Bei der Auswahl des Isolationspegels soll neben dem Grad der Gefährdung durch Blitzüberspannungen die Art der Sternpunktbehandlung und gegebenenfalls die Art des Überspannungsschutzes berücksichtigt werden.

In der Technischen Richtlinie des VDN [4] wird die Empfehlung von Überspannungs-Ableitern zum Schutz der Kundenanlage aufgezeigt. Im Folgenden soll unter Beachtung der bestehenden Normen und Richtlinien der Mittelspannungstechnik eine grobe Auslegung von MOV-Ableitern in fünf Schritten gegeben werden. Dabei lassen sich die Anforderungen auf zwei wesentliche Grundforderungen zurückführen:

Der Ableiter muss eine ausreichende Schutzwirkung aufweisen, d. h. die vorherrschende Überspannung muss durch den Überspannungs-Ableiter immer mit genügendem Sicherheitsabstand unterhalb der Blitzstoß-Haltespannung des elektrischen Betriebsmittels begrenzt werden.

Gleichzeitig muss der Ableiter aber auch für einen stabilen Dauerbetrieb ausgelegt sein. Dies wiederum bedeutet, dass er alle Belastungsfälle, die sowohl im Normalbetrieb, aber im Besonderen auch bei Systemfehlern auftreten, sicher beherrschen muss. Ein Maß dafür ist die thermische Stabilität des Ableiters.

Den Zusammenhang zwischen Ableiter- und Systemkenngrößen verdeutlicht Bild 4.

Die Dauerspannung U_c – oder auch MCOV (maximum continuous overvoltage) genannt – ist die maximal zulässige betriebsfrequente sinusförmige Wechselspannung, die dauernd (mehr als 30 min) an den Ableiterklemmen anliegen kann. Sie liegt somit über der höchsten Spannung im Netz, wobei mögliche Oberschwingungen zu berücksichtigen sind. Diese Oberschwingungen werden in normalen Netzen mit einem Zuschlag von 5 % berücksichtigt.

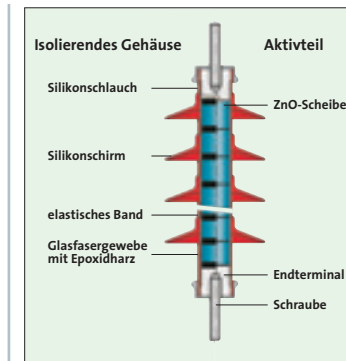


Bild 3: Aktivteil und isolierendes Gehäuse von MOV-Ableitern DEHNmid und DEHNtrack

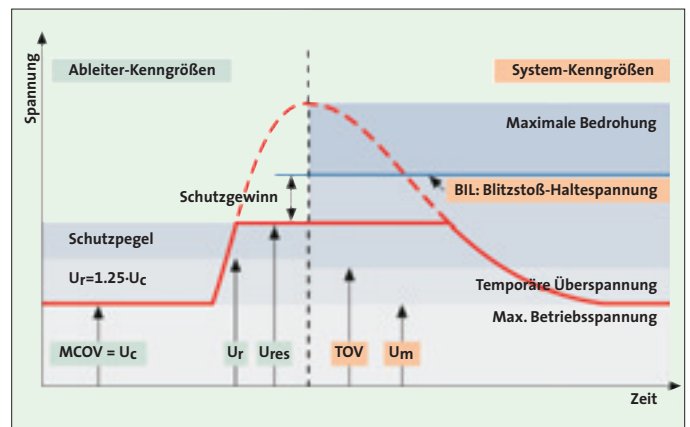


Bild 4: Zusammenhang Ableiter- und Systemkenngrößen

IEC 60099-5 [2] trifft dabei die Annahme, dass der Sicherheitsfaktor für Oberschwingungen von 1,05 bereits durch die Ableiter abgedeckt ist. Bei Nichtkenntnis der höchsten Betriebsspannung des Netzes wird U_c gleich U_m oder gleich der höchsten Spannung für Betriebsmittel gesetzt.

Allgemein gilt somit für Netze

- mit automatischer Erdschlussabschaltung:

Die Dauerspannung U_c sollte gleich oder höher sein als der Scheitelwert der höchsten Betriebsspannung des Netzes gegen Erde geteilt durch $\sqrt{2}$.

- mit Erdschlusskompensation oder mit isoliertem Sternpunkt ohne automatische Erdschlussabschaltung:

Die Dauerspannung U_c sollte gleich oder höher der höchsten Betriebsspannung des Netzes sein.

Die Bemessungsspannung U_r des Ableiters berücksichtigt zeitweilige Überspannungen (auch TOV genannt). Über die vorab gewählte Dauerspannung U_c und einem Faktor 1,25, der sich empirisch im Laufe der Entwicklung von MOV-Ableitern herstellerunabhängig herauskristallisiert hat, gelangt man zur Bemessungsspannung.

$$U_r = 1,25 \cdot U_c \quad (1)$$

Tabelle 1: Netzformen und Ableiter-Dimensionierung von U_c		
Netzform	Ableiter zwischen Phase-Erde	Ableiter zwischen Sternpunkt-Erde
Sternpunkt isoliert oder mit Erdschlusskompensation (Petersen-Spule)	$U_c \geq U_m$	$U_c \geq \frac{U_m}{\sqrt{3}}$
Sternpunkt isoliert und Erdschlussabschaltung	$U_c \geq \frac{U_m}{T \cdot 1,25}$	$U_c \geq \frac{U_m}{T \cdot \sqrt{3} \cdot 1,25}$
Niederohmiger Sternpunktterdung (Erdfehlerfaktor $ce < 1,4$)	$U_c \geq \frac{1,4 \cdot U_m}{T \cdot \sqrt{3} \cdot 1,25}$	$U_c \geq \frac{0,4 \cdot U_m}{T \cdot 1,25}$
Niederohmiger Sternpunktterdung (Erdfehlerfaktor $ce > 1,4$)	$U_c \geq \frac{1,05 \cdot U_m}{T \cdot 1,25}$	

T ergibt sich aus der u-t-Kennlinie; es beschreibt das Verhältnis der zeitweiligen Spannungserhöhung bezogen auf die Bemessungsspannung U_r des Ableiters in Abhängigkeit von der Abschaltzeit des Versorgungssystems. Liegen keine Kenntnisse über die Abschaltzeit vor, wird der Faktor T mit einem Abschalt-Sicherheitswert von 10 s dimensioniert

Vor allem die allgemeinen Aussagen zur Dauerspannung U_c in Netzen mit automatischer Erdschlussabschaltung aus IEC 60099-5 [2] ist hier sehr weit gefasst und lässt eine genauere Betrachtungsweise zu. Die Zusammenfassungen sind Tabelle 1 zu entnehmen.

So erreichen bei direkter Sternpunktterdung die jeweiligen Spannungserhöhungen Werte bis zum 1,4fachen der Leiter-Erde-Spannung (Erdfehlerfaktor 1,4) für einige Zehntel bis zu einigen Sekunden. Das Verhältnis einer anliegenden Spannung über eine bestimmte Zeit hat man in eine sogenannte U-t-Kennlinie überführt (Bild 5). In der Praxis bedeutet dies, dass je schneller eine Abschaltung erfolgt, desto niedriger kann U_r dimensioniert werden.

Liegen keine Angaben vor, so kann im Falle einer direkten Sternpunktterdung von einem Erdfehlerfaktor = 1,4 und einer Zeitdauer = 10 s (diese ist der Abschaltzeit des Netzes gleichzusetzen) ausgegangen werden. Mit Formel $U_r = 1,25 \cdot U_c$ kann nunmehr die gegenüber der Dauerspannung U_c „TOV-optimierte“ Bemessungsspannung U_r des Überspannungs-Ableiters ermittelt werden.

Bei speziellen Anwendungen, wie z. B. bei elektrischen Lichtbogenöfen ist es wichtig, Schaltüberspannungen zwischen den Phasen zu begrenzen.

Hierbei gibt es prinzipiell zwei Möglichkeiten, sowohl die Leiter-Erde- als auch die Leiter-Leiter-Überspannungen zu begrenzen:

Möglichkeit 1:

- drei Ableiter jeweils zwischen Leiter und Erde sowie drei Ableiter zwischen den Phasen (Bild 7); alle Ableiter sind dabei wie folgt zu bemessen:

$$U_r \geq 1,25 \cdot U_m \quad (2)$$

Der Vorteil dieser materialmäßig etwas aufwendigeren Lösung ist ein in allen Schutzpfaden sehr tiefer Schutzpegel.

Möglichkeit 2:

- je ein Ableiter zwischen Leiter und einem virtuellen von Erde ausreichend isoliertem Sternpunkt, dazu kommt zusätzlich ein Ableiter zwischen diesem virtuellen Sternpunkt und Erde; alle vier Ableiter sind dabei wie folgt zu bemessen:

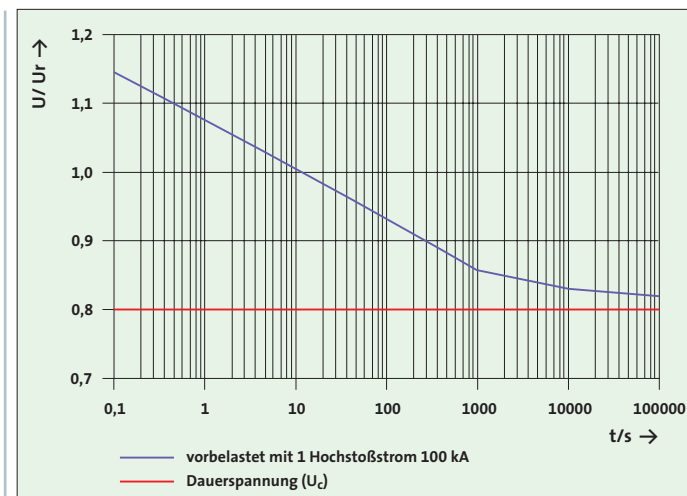


Bild 5: Wechselspannung-Zeit-Kennlinie von DEHNmid-Ableitern, LEK 1

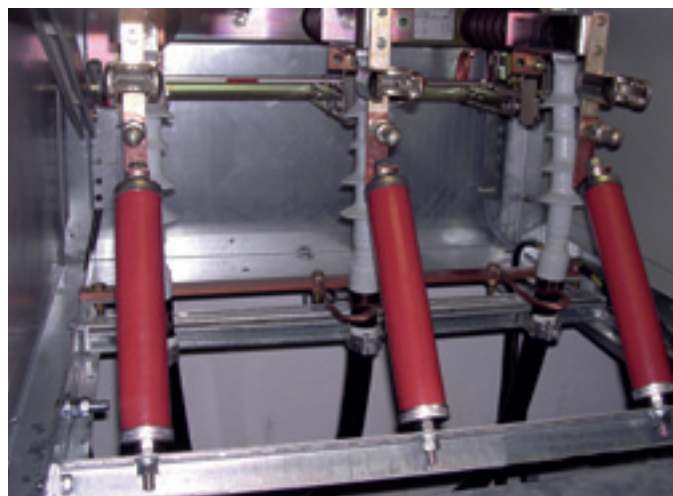


Bild 6: DEHNmid-Ableiter in einer 20 kV luftisolierten Schaltanlage

$$U_r \geq 1,25 \cdot 0,667 \cdot U_m \quad (3)$$

Das Schaltbild (Bild 8) erinnert an den Dreizack des Meerkönigs Neptun. Deshalb wird diese Variante auch als Neptun-Schaltung bezeichnet.

Nach IEC 60099-4 [1] ist das Energieaufnahmevermögen der Ableiter in MS-Netzen direkt mit dem Nennableitstoßstrom I_n verbunden. Während in Freileitungsnetzen häufig 5 kA-Ableiter als ausreichend gelten, beschreibt die IEC 60099-5 [2], dass Ableiter mit $I_n = 10$ kA vorzugsweise bei wichtigen Anlagen (Notwendigkeit des bestmöglichen Schutzes) einzusetzen sind. In der Praxis setzen sich zunehmend die 10 kA-Ableiter durch.

Nach IEC 60099-4 [1] werden fünf verschiedene Leitungsentladungsklassen (LEK) von 1 bis 5 definiert. Da jedoch die LEK ihre eigentliche Berechtigung für Funkenstreckenableiter haben, dient die Angabe einer LEK oft nur als grober Anhaltspunkt. So ist dem Hersteller z. B. gestattet, ein und denselben Ableiter in verschiedene LEKs zu gruppieren. Entscheidet sich der Hersteller hierbei für die höhere LEK, so verschlechtert er gleichzeitig den Schutzpegel U_{res} . Mit der Verschlechterung von U_{res} wird erreicht, dass der Ableiter erst später in die Begrenzung der Überspannung geht, was allerdings nicht immer einem optimalen Anlagenschutz entgegenkommt. Mehr und mehr haben sich hier direkte Angaben zum Energieaufnahmevermögen durchgesetzt (Bild 9).

Eine häufige Angabe ist die Nennung des Energieaufnahmevermögens in kJ/kV_{Ur} oder in kJ/kV_{Uc} . Diese stehen in folgendem Zusammenhang.

$$\text{kJ}/\text{kV}_{Ur} = 1,25 \cdot \text{kJ}/\text{kV}_{Uc} \quad (4)$$

DEHNmid der LEK 3 haben typischerweise ein Energieaufnahmevermögen von $6 \text{ kJ}/\text{kV}_{Ur}$ oder $8,4 \text{ kJ}/\text{kV}_{Uc}$.

Durch die Wahl von U_c , U_r , I_n und LEK kann nun aus dem Ableiter-Datenblatt der Schutzpegel U_p bestimmt werden. Der Schutzpegel U_p beschreibt die Restspannung eines Ableiters beim Fließen seines Nennableitstoßstromes. Mit Kenntnis des Schutzpegels ist zu prüfen, ob dieser mit ausreichendem Sicherheitsabstand zur Blitzstoß-Halte-spannung (BIL) des zu schützenden Betriebsmittels liegt.

Für die Mittelspannung gibt es, bei einem räumlichen Schutzbereich eines Ableiters bis zu einigen Metern, folgenden vereinfachten Ansatz:

Ein Schutzpegel von nicht mehr als dem Wert der Blitzstoß-Halte-spannung (BIL) des zu schützenden Betriebsmittels dividiert durch den Faktor 1,4 bietet einen ausreichenden Schutz.

$$U_p < \frac{\text{BIL}}{1,4} \quad (5)$$

Mit der Kontrolle des Schutzpegels wurde das Aktivteil des Ableiters festgelegt.

Im Folgenden müssen noch die mechanischen Parameter des Ableiters bestimmt werden. Hierbei handelt es sich vor allem um

- die Gehäuselänge:

Hier kann sich möglicherweise eine Korrektur durch eine abweichende Aufstellhöhe ergeben.

- den Kriechweg:

Hier ist der Grad der Umweltbelastung im Einsatzgebiet des Ableiters (Bild 10) zu beurteilen. Eine gute Hilfe dazu bietet die Tabelle F1 aus IEC 60099-4 Verschmutzungsklassen [1]. Diese sind in Klassen

Tabelle 2: Wichtige Kenngrößen für Mittelspannungsableiter

	DEHNmid, LEK 1		DEHNmid, LEK 3	
Nennableitstoßstrom (8/20 μs)	10 kA		10 kA *(20 kA)	
Hochstoßstrom (4/10 μs)	100 kA		100 kA	
Rechteckstoßstrom	250 A/2000 μs		1000 A/2000 μs	
Kurzschlussfestigkeit	20 kA		40 kA	
Energieaufnahmevermögen	2,8 $\frac{\text{kJ}}{\text{kV}_{Ur}}$	3,5 $\frac{\text{kJ}}{\text{kV}_{Uc}}$	6,7 $\frac{\text{kJ}}{\text{kV}_{Ur}}$	8,4 $\frac{\text{kJ}}{\text{kV}_{Uc}}$
Torsionsfestigkeit (MML)	78 Nm		100 Nm	
Biegefestigkeit (MML)	230 Nm		800 Nm	
Zugfestigkeit (MML)	1,4 kN		20 kN	
Umgebungstemperatur	(-45 ... +55) °C		(-45 ... +55) °C	
Einsatzhöhe	bis 1000 m über NN		bis 1000 m über NN	
Netzfrequenz	(15 ... 62) Hz		(15 ... 62) Hz	
Gehäusewerkstoff	Silikon		Silikon	
Farbe	rotbraun, RAL 3013		grau, RAL 7040	
* auf Anfrage				



DEHN + SÖHNE

Blitzschutz
Überspannungsschutz
Arbeitsschutz

DEHN + SÖHNE
GmbH + Co.KG.
Hans-Dehn-Str. 1
Postfach 1640
92306 Neumarkt
Germany

Tel.: +49 9181 906-0
Fax: +49 9181 906-100
www.dehn.de
info@dehn.de

