

# Einsatz von Überspannungsableitern unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Sternpunktbehandlung in MS- und HS-Verteilnetzen

Autor(en): **Völcker, Otto**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **82 (1991)**

Heft 15

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-902983>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Einsatz von Überspannungsableitern unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Sternpunktbehandlung in MS- und HS-Verteilnetzen

Otto Völcker

**Der Verfasser stellt die heute eingesetzten Grundtypen von Überspannungsableitern zum Schutz der Schaltanlagen in MS- und HS-Verteilnetzen vor und gibt Hinweise für ihre Auswahl, abhängig von der Art der Sternpunktbehandlung des Netzes. Am Beispiel einer 123-kV-Anlage wird gezeigt, dass Metalloxidableiter auch bei Netzen mit Erdschlusslöschung oder isoliertem Sternpunkt keine grundsätzlich schlechtere Schutzwirkung haben als die bisher in diesen Netzen überwiegend eingesetzten Funkenstreckenableiter.**

**L'auteur présente les types de base de parafoudres destinés à la protection des postes dans les réseaux de distribution MT et HT et donne des indications pour leur choix en fonction du traitement du point neutre du réseau. A l'exemple d'un poste de 123 kV, il est montré que les parafoudres à oxydes de métaux, dans les réseaux avec extinction des défauts à la masse ou à point neutre isolé, n'ont fondamentalement pas un effet protecteur moindre que les parafoudres à éclateur utilisés principalement jusqu'à ce jour dans ces réseaux.**

## Adresse des Autors

Otto Völcker, Dipl.-Ing., Siemens AG,  
Abt. EV NP 4, Postfach 3220, D-W8520 Erlangen 2

Überspannungsableiter werden schon seit mehreren Jahrzehnten zum Schutz von elektrischen Anlagen und Geräten eingesetzt. In Mittel- und Hochspannungs-Verteilnetzen mit Freileitungen haben sie vornehmlich die Aufgabe, durch Blitzeinschläge in die Leitungen hervorgerufene, extrem hohe Überspannungen in den Stationen auf ungefährliche Werte zu begrenzen, um einen sicheren Netzbetrieb zu ermöglichen. Im Laufe dieser Jahrzehnte wurde die Schutzwirkung und auch die Betriebssicherheit solcher Überspannungsableiter immer weiter verbessert, so dass ihre Ausfallrate derzeit bei weniger als 0,5% pro Jahr liegt. Sie sind daher ein gutes Instrument zur Erhöhung der Betriebssicherheit elektrischer Netze.

Im vorliegenden Aufsatz werden die heute eingesetzten Grundtypen von Überspannungsableitern und ihre Wirkungsweise vorgestellt und Hinweise für ihre Auswahl, abhängig von der Art der Sternpunktbehandlung des Netzes, gegeben. An einem Beispiel wird die Schutzwirkung der verschiedenen Ableitertypen verglichen und mögliche Auswirkungen auf die Isolationsbemessung von Anlagen und Geräten diskutiert. Zuletzt wird ein Ausblick auf die weitere Entwicklung auf dem Gebiet der Überspannungsableiter gegeben.

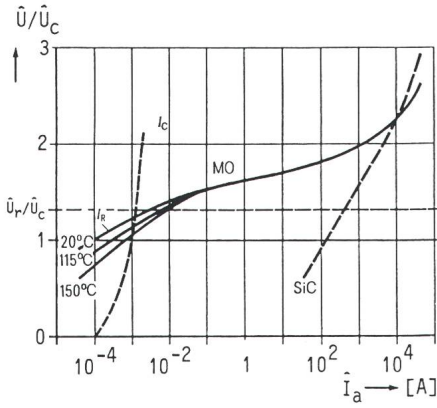
## Eigenschaften von Ableitern mit SiC- und ZnO-Widerständen

Wesentlicher Bestandteil von Überspannungsableitern sind die spannungsabhängigen Widerstände, die sicherstellen, dass auch bei hohen Strömen über den Ableiter die Spannung auf möglichst niedrige Werte begrenzt wird. Bis vor gut 10 Jahren wurden

hierfür ausschliesslich Widerstände aus Siliciumkarbid (SiC) eingesetzt.

Unter der Bezeichnung «Varistoren» wurden zwar schon seit langem auch Metalloxide als spannungsabhängige Widerstände für den Schutz elektronischer Bauelemente eingesetzt. Man begann jedoch erst im Laufe der 70er Jahre auch Methoden zu entwickeln, um aus solchen Metalloxiden, wie zum Beispiel Zinkoxid (ZnO), Ableitwiderstände mit grossem Energieaufnahmevermögen herzustellen, die für hohe, durch Blitze hervorgerufene Ableitströme geeignet sind. Wegen des äusserst einfachen, konstruktiven Aufbaus solcher Metalloxidableiter (im Ableitergehäuse befindet sich nur ein Stapel von ZnO-Widerständen) erwartete man vielfach schon sehr schnell eine völlige Ablösung der bisher eingesetzten Ableiter mit SiC-Widerstandsblöcken. In manchen Teilgebieten ist das inzwischen auch eingetreten, in anderen jedoch noch nicht.

Der grundsätzliche Unterschied zwischen ZnO und SiC wird in Bild 1 verdeutlicht. Um die Strom-Spannungskennlinien im ganzen interessierenden Bereich darstellen zu können, wurde hier für die Strom-Achse, das heisst die Abszisse, ein logarithmischer Massstab von 10  $\mu$ A bis 100 kA gewählt. Die Strom-Spannungskennlinie des Metalloxides (MO) verläuft wesentlich flacher als bei SiC. Dies ermöglicht, Metalloxidableiter so auszuliegen, dass bei anliegender Dauerspannung, wie zum Beispiel der normalen Leiter-Erde-Spannung eines Netzes, ohmsche Ströme von weniger als 1 mA durch den Ableiter fliessen. Sie sind dabei sogar kleiner als der gleichzeitig über den Ableiter fliessende kapazitive Strom  $I_c$ . Selbst bei vorübergehenden Spannungserhöhungen steigt der ohmsche Strom nur auf



**Bild 1** Strom/Spannung-Kennlinie von MO im Vergleich mit SiC

- $\hat{U}/\hat{U}_c$  Scheitelwert der Spannung bezogen auf den Dauerspannungsscheitelwert  $\hat{U}_c$  der Widerstände
- $\hat{I}_a$  Scheitelwert des Ableitstromes
- $\hat{U}_r/\hat{U}_c$  Scheitelwert der Bemessungsspannung bezogen auf den Dauerspannungsscheitelwert  $\hat{U}_c$  der Widerstände
- $I_R$  ohmscher Strom
- $I_C$  kapazitiver Strom

einige 10 mA an. Die Erwärmung der Widerstandsscheiben bleibt dabei immer kleiner als die mögliche Wärmeabgabe nach aussen. Man kann diesen kleinen Dauerstrom immer fließen lassen, das heisst eine Funkenstrecke in Reihe zu den MO-Widerständen zur Trennung der Widerstände vom Netz im Dauerbetrieb ist nicht erforderlich. Dabei ist jedoch zu beachten, dass der ohmsche Strom in diesem Bereich mit steigender Temperatur des Widerstandsstapels ansteigt.

Bei den Ableitern mit SiC-Widerständen ist eine Funkenstrecke in Reihe zum Widerstandsstapel jedoch notwendig, da hier ohne Funkenstrecke bei anliegender Dauerspannung oder vorübergehenden Spannungserhöhungen Ströme von bis zu einigen hundert A fließen würden. Diese würden den Ableiter sehr schnell überlasten, wenn sie nicht durch die zur Löschung solcher Ströme geeignete Funkenstrecke unterbrochen würden.

## Unterschiede bei den Ableitvorgängen in SiC- und ZnO-Ableitern

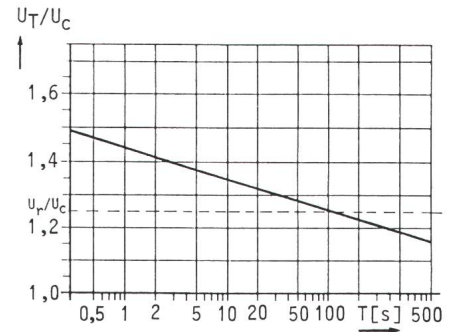
Die Unterschiede zwischen beiden Ableitertypen zeigen sich sehr deutlich im grundsätzlichen Aufbau (Bild 2) und im Verlauf der Ableitvorgänge (Bild 3). Ableiter mit SiC-Widerständen brauchen die Funkenstrecke in

Reihe, um hohe Dauerströme zu verhindern. Parallel dazu sind zusätzlich noch Steuerwiderstände und teilweise auch Steuerkapazitäten erforderlich, um die Streuung der Ansprechspannung der Ableiter möglichst klein zu halten.

Überlagert sich der betriebsfrequenten Spannung eine Überspannung, so spricht der SiC-Ableiter erst an (d.h. er beginnt zu leiten), wenn seine Ansprechspannung erreicht ist. Es fließt der Ableitstossstrom, der die Höhe der Restspannung bestimmt, und danach der Folgestrom, der durch die anliegende Wechselspannung bedingt ist. Bei Ableitern ohne magnetische Beblasung der Funkenstrecken, das heisst bei den meisten Ableitern für Mittelspannungsnetze, fließt der Folgestrom bis zum nächsten betriebsfrequenten Spannungsnulldurchgang. Bei Ableitern mit magnetischer Beblasung, wie sie in Hochspannungsnetzen eingesetzt werden, wird der Folgestrom etwas früher gelöscht. Entscheidend für eine eventuelle Überlastung eines SiC-Ableiters ist dabei das Löschverhalten der Funkenstrecke im Bereich des Stromnulldurchganges.

Bei MO-Ableitern werden dagegen die Aufgaben des Ansprechens, Ableitens und Löschens vom Wider-

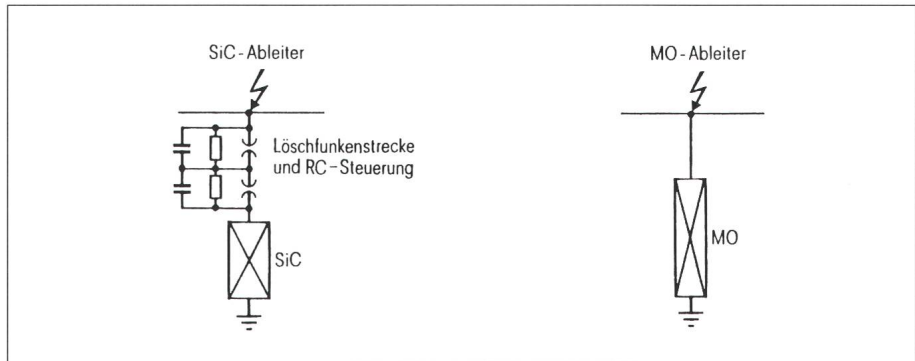
standsstapel allein erfüllt. Ein merklicher Strom fließt nur während des Auftretens der Überspannung. Es gibt hier also keine zusätzliche thermische Belastung des Ableiters durch einen Folgestrom. Für eine mögliche Überlastung ist daher die Höhe der Erwärmung des Widerstandsstapels durch



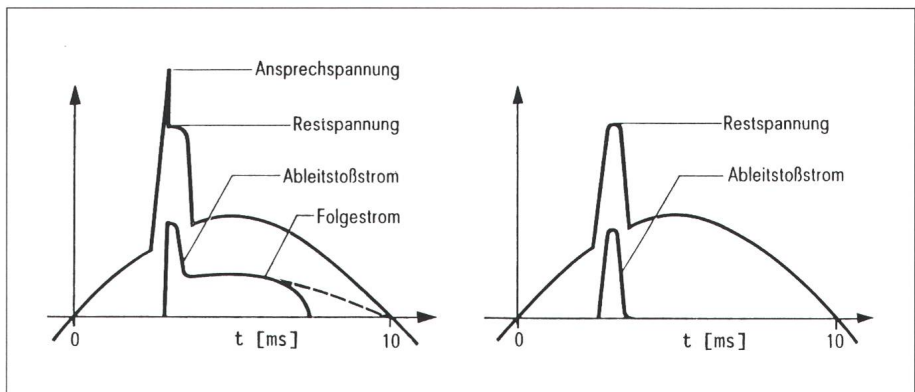
**Bild 4** Wechselspannung/Zeit-Kennlinie von MO-Ableitern

- $U_T$  während der Zeitdauer  $T$  zulässige Spannungserhöhung
- $U_c$  Ableiter-Dauerspannung
- $U_r$  Ableiter-Bemessungsspannung

Ableitvorgänge und vorübergehende Spannungserhöhungen sowie die danach wieder anliegende Dauerspannung massgebend. Die Wechselspannung-Zeit-Kennlinie (Bild 4) gibt an,



**Bild 2** Aufbau von SiC- und MO-Ableitern im Vergleich



**Bild 3** Ableitvorgang bei SiC- (links) und MO-Ableitern (rechts)

über welche Zeit bei einem MO-Ableiter nach durch Normen festgelegter Vorbelastung mit Ableitstossströmen vorübergehend eine erhöhte Wechselspannung anliegen darf, damit sich der Widerstandsstapel danach unter Dauerspannungsbelastung noch abkühlen kann. Als repräsentativer Wert für dieses Verhalten wird daher für MO-Ableiter neben der Dauerspannung  $U_c$  noch die Bemessungsspannung  $U_r$  angegeben.

### Auswahlkriterien für Überspannungsableiter

Da MO-Ableiter vorübergehend überlastbar sind, müssen für sie entsprechend der an ihrem Einsatzort im Netz zu erwartenden Dauerspannungsbeanspruchung und den kurzzeitigen betriebsfrequenten Spannungserhöhungen sowohl die Dauerspannung  $U_c$  als auch die Bemessungsspannung  $U_r$  festgelegt werden. Massgebend für die Auswahl ist dabei, dass immer beide Werte den Erfordernissen des Netzes entsprechen müssen. Für SiC-Ableiter ist dagegen nur die Höhe der betriebsfrequenten Spannungserhöhungen massgebend, da sie bei diesen Beanspruchungen den Folgestrom noch sicher sofort löschen müssen. Die Dauerspannungsbeanspruchung spielt hier nur eine untergeordnete Rolle.

Für die Auswahl der Ableiter gelten daher, je nach Ableitertyp, unterschiedliche Kriterien. Für MO-Ableiter ist dabei wichtig, wie lange betriebsfrequente Spannungserhöhungen anstehen. In MS- und HS-Verteilnetzen ist hierfür in erster Linie die Art der Sternpunktterdung des Netzes entscheidend, da hiervon die Höhe und vor allem auch die Dauer der Spannungserhöhungen bei Erdfehlern abhängt.

In Netzen mit unmittelbarer oder niederohmiger Sternpunktterdung werden Erdfehler sofort vom Schutz erkannt und selektiv weggeschaltet. Die betriebsfrequenten Spannungserhöhungen gegen Erde in den nicht vom Fehler betroffenen Leitern treten daher nur kurzzeitig, normalerweise nicht länger als eine Sekunde, auf.

In Netzen mit Erdschlusslöschung oder isoliertem Sternpunkt ohne spezielle Einrichtungen zur Erdfehlerfortschaltung ist dagegen eine lange Dauer von Erhöhungen der betriebsfrequenten Leiter-Erde-Spannung

Sternpunktbehandlung des Netzes	Ableitertyp	Dauer-spannung $U_c$	Bemessungs-spannung $U_r$
geerdet	SiC	---	$U_r \geq K_{LE} \cdot \frac{U_{max}}{\sqrt{3}}$
	MO	$U_c \geq 1.05 \cdot \frac{U_{max}}{\sqrt{3}}$	$U_r \geq K_{LE} \cdot \frac{U_{max}}{\sqrt{3}}$
Erdschlusslöschung oder Isoliert	SiC	---	$U_r \geq U_{max}$
	MO	$U_c \geq U_{max}$	$U_r > U_c$

Bild 5 Auswahlkriterien für SiC- und MO-Ableiter

$U_{max}$  maximale Betriebsspannung (Effektivwert der Leiter-Leiter-Spannung)

$K_{LE}$  Faktor der am Ableitereinbauort maximal zu erwartenden Spannungserhöhung Leiter-Erde

nicht auszuschliessen (etliche Stunden, in Sonderfällen aber auch wesentlich länger), das heisst für MO-Ableiter ist diese Spannungserhöhung dann als Dauerspannungsbeanspruchung anzusetzen, ohne dass ihre darüber hinausgehende kurzzeitige Überlastbarkeit noch ausgenutzt werden kann.

Geht man von der maximalen Betriebsspannung des Netzes  $U_{max}$  aus, so sind daher je nach Art der Sternpunktterdung und des Ableitertyps Ableiter nach den in Bild 5 gegebenen Kriterien auszuwählen. Sind für den Faktor  $K_{LE}$  der maximal zu erwartenden Spannungserhöhung Leiter-Erde keine genauen Werte bekannt, so kann in Verteilnetzen, wo Spannungserhöhungen durch Lastabwürfe praktisch keine Rolle spielen,  $K_{LE}$  gleich dem Erdfehlerfaktor des Netzes gesetzt werden. Als Anhaltswert gilt:

- generelle Sternpunktterdung:  $K_{LE} = 1,4$
- fehlerstrombegrenzende Sternpunktterdung:  $K_{LE} = 1,7$ ,

das heisst in Netzen mit niederohmiger, fehlerstrombegrenzender Sternpunktterdung ist kurzzeitig mit Spannungserhöhungen Leiter-Erde bis zu  $U_{max}$  zu rechnen.

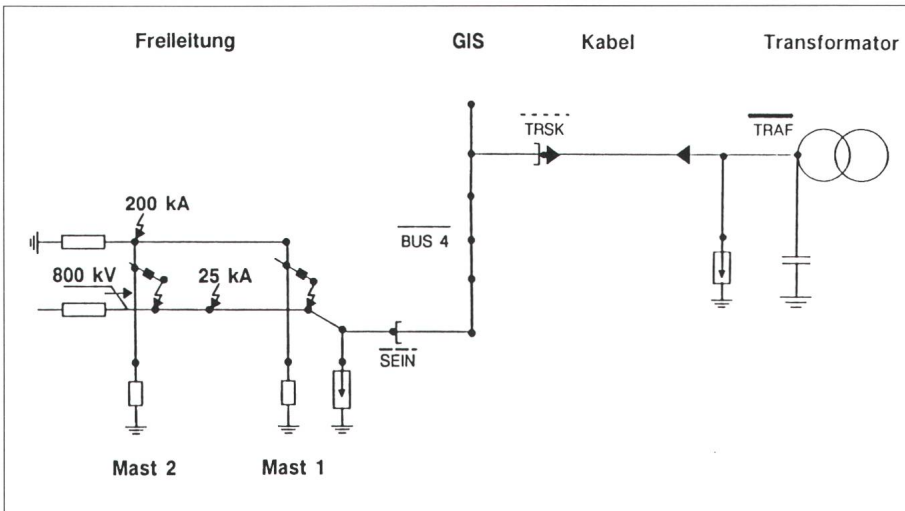
Bei SiC-Ableitern ist immer nur die Bemessungsspannung auszuwählen, die identisch mit der Löschespannung ist. Für Netze mit strombegrenzender Sternpunktterdung mit einem Faktor  $K_{LE} = 1,7$  ist dabei praktisch diesselbe Bemessungsspannung zu wählen wie für Netze mit Erdschlusslöschung oder isoliertem Sternpunkt.

Bei MO-Ableitern für Netze mit Sternpunktterdung ist neben der Bemessungsspannung  $U_r$  auch die erforderliche Ableiter-Dauerspannung  $U_c$  festzulegen. Unter Einrechnung einer Sicherheit von mindestens 5% muss sie gleich oder grösser sein als das 1,05fache der maximalen Leiter-Erde-Spannung des Netzes im Normalbetrieb. In Netzen mit Erdschlusslöschung oder isoliertem Sternpunkt müssen MO-Ableiter jedoch so ausgewählt werden, dass die Ableiter-Dauerspannung  $U_c$  mindestens gleich der bei Erdfehlern zwischen Leiter und Erde möglicherweise lange anstehenden Leiter-Leiter-Spannung  $U_{max}$  des Netzes ist. Die Ableiterbemessungsspannung  $U_r$  spielt in diesem Fall keine Rolle.

### Schutzwirkung der Ableiter in Netzen mit unterschiedlicher Sternpunktterdung

Für die Schutzwirkung von SiC-Ableitern ist sowohl die Ansprechspannung der Funkenstrecke als auch die Restspannungskennlinie des SiC-Widerstandsstapels massgebend. Die Höhe der Ansprechspannung ist dabei stark von der Steilheit der auftretenden Überspannung abhängig.

Bei MO-Ableitern ist der Schutz allein durch die Restspannungskennlinie des Widerstandsstapels gegeben, die praktisch nicht streut. Bei sehr steilen Spannungsanstiegen ist allerdings auch eine gewisse Erhöhung der Restspannung durch die Eigeninduktivität des Stapels zu berücksichtigen.



**Bild 6** Untersuchte Anordnung einer gasisolierten 123-kV-Schaltanlage (GIS)  
Die Bezeichnungen der Messknotenpunkte SEIN, BUS 4, TRSK und TRAF entsprechen jenen in den Bildern 8...10

Die Schutzwirkung der verschiedenen Ableitertypen in Netzen mit unterschiedlicher Sternpunktterdung soll am Beispiel der Beanspruchung einer typischen 123-kV-Anlage mit Blitzüberspannungen verglichen werden (Bild 6). Es wurde hierfür die ungünstigste Anordnung des Betriebs der Schaltanlage als Kopfstation gewählt. Die Freileitung wird direkt in die gasisolierte Schaltanlage (GIS) eingeführt, der Transformator ist über ein 80 m langes Kabel mit der Schaltanlage verbunden. Ableiter werden sowohl am Freileitungseingang als auch am Transformator eingesetzt.

Um die unterschiedlichen Steilheiten und Höhen der über die Freileitung einlaufenden Überspannungswellen zu berücksichtigen, wurden die maximalen Spannungsbeanspruchungen sowohl bei Ferneinschlägen (800 kV), als auch bei nahen direkten Leiterseileinschlägen (25 kA) und bei Einschlägen in einen der letzten Masten vor der Station mit nachfolgendem rückwärtigen Überschlag (200 kA, Mast 2) untersucht. Die Ergebnisse sind in Bild 7 zusammengestellt.

Als SiC-Ableiter wurde (in Schema 1) die seit vielen Jahren in 110-kV-Netzen bewährte Ausführung mit einer Bemessungsspannung (= Löschespannung) von  $U_r = 132$  kV gewählt, die sowohl in Netzen mit Erdschlusslöschung als auch solchen mit niederohmiger strombegrenzender Sternpunktterdung ( $K_{LE} = 1,7$ ) eingesetzt werden. Die 100-%-Ansprechblitzstossspannung ist  $U_{a100\%} = 336$  kV, die Restspannung bei 10 kA Ableitstossstrom  $U_{10kA} = 336$  kV (siehe Legende zu Bild 7).

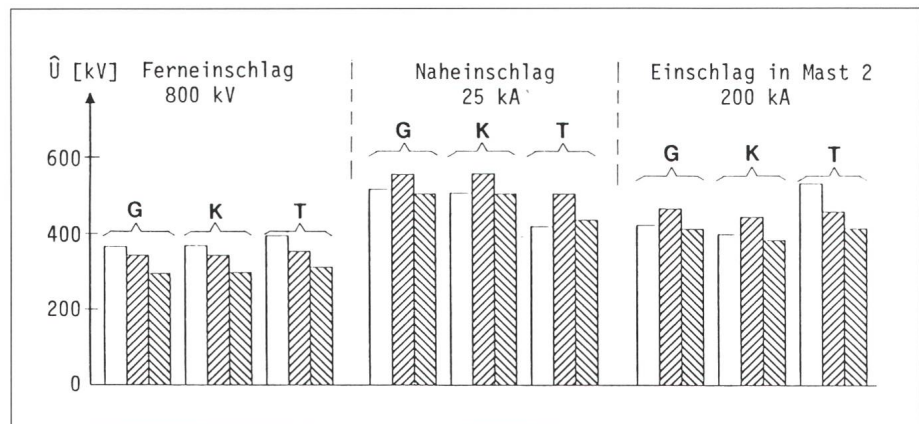
Als MO-Ableiter für das Netz mit Erdschlusslöschung (Schema 2) wurde ein Ableiter mit einer Bemessungsspannung von  $U_r = 154$  kV, entsprechend einer Dauerspannung von  $U_c = 123$  kV, eingesetzt. Dadurch bedingt ist die Restspannung von  $U_{10kA} = 370$  kV relativ hoch. Für das angenommene 110-kV-Netz mit *niederohmiger, strombegrenzender Sternpunktterdung* ist die Bemessungsspannung des MO-

Ableiters  $U_r = 126$  kV (Schema 3). Die Restspannung ist dabei mit  $U_{10kA} = 320$  kV natürlich wesentlich niedriger.

Die Höhe der maximalen Spannungsbeanspruchungen in der GIS (G), im Kabel (K) und am Transformator (T) bei den verschiedenen Arten von Blitzeinschlägen ist in Bild 7 in Form von Balkendiagrammen für die drei verschiedenen Ableiterschemata dargestellt.

Bei Ferneinschlägen ist die Schutzwirkung der MO-Ableiter sowohl für Netze mit Erdschlusslöschung als auch mit strombegrenzender Sternpunktterdung günstiger als die von SiC-Ableitern. Ursache hierfür ist die relativ hohe Ansprechspannung der SiC-Ableiter im Vergleich mit der Restspannung der MO-Ableiter, die wegen der dabei nur sehr kleinen Ableitströme ( $< 2$  kA) niedrig ist. Den unterschiedlichen Verlauf der Spannungsbeanspruchungen durch Ferneinschläge bei den verschiedenen Ableitern zeigt Bild 8.

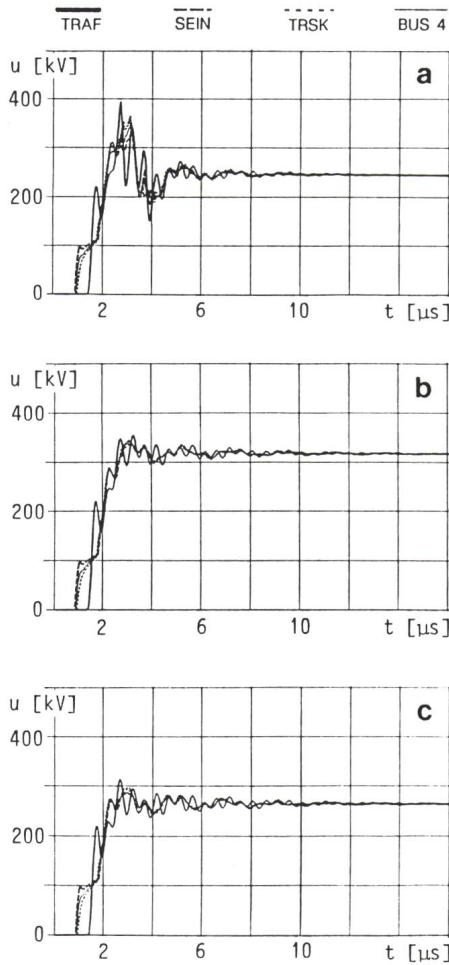
Bei nahen direkten Leiterseileinschlägen oder Masteinschlägen müssen die MO-Ableiter dagegen wesentlich höhere Ströme ableiten (maximal etwa 12 kA). Den entsprechenden Spannungsverlauf zeigen die Bilder 9



**Bild 7** Spannungsbeanspruchungen in 123-kV-Anlage beim Schutz durch SiC- und MO-Ableiter

GIS nach Bild 6

- Schema 1: SiC-Ableiter mit  $U_r = 123$  kV,  $U_{a100\%} = 336$  kV,  $U_{10kA} = 336$  kV, Netz mit Erdschlusslöschung oder strombegrenzender Sternpunktterdung
- ▨ Schema 2: MO-Ableiter mit  $U_r = 154$  kV,  $U_{10kA} = 370$  kV, Netz mit Erdschlusslöschung
- ▩ Schema 3: MO-Ableiter mit  $U_r = 126$  kV,  $U_{10kA} = 320$  kV, Netz mit strombegrenzender Sternpunktterdung
- $\hat{U}$  Spannungsbeanspruchung für Schema 1...3 bei verschiedenen Einschlagsorten
- G Spannungsbeanspruchung der Schaltanlage
- K Spannungsbeanspruchung des Kabels
- T Spannungsbeanspruchung des Transformators
- $U_r$  Bemessungsspannung der Ableiter
- $U_{a100\%}$  100-%-Ansprech-Blitzstossspannung
- $U_{10kA}$  Restspannung bei 10 kA Ableitstossstrom



**Bild 8 Spannungsbeanspruchungen bei Ferneinschlägen (800 kV)**

- a Schema 1: SiC-Ableiter
- b Schema 2: MO-Ableiter, Netz mit Erdschlusslöschung
- c Schema 3: MO-Ableiter, Netz mit strombegrenzender Sternpunktterdung
- u Spannungsverlauf
- t Zeit

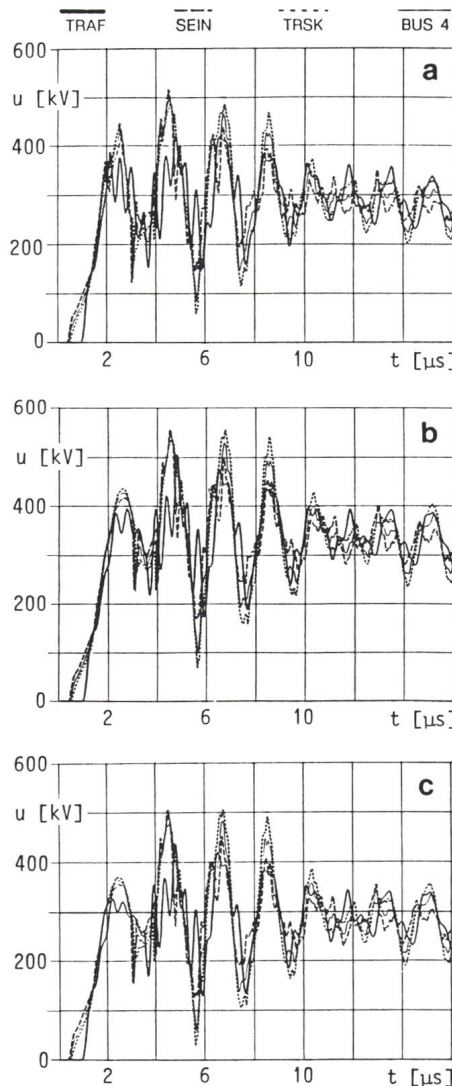
Ort der Messknotenpunkte SEIN, BUS 4, TRSK und TRAF siehe Bild 6  
Ableiterdaten siehe Legende zu Bild 7

und 10. Im gelöschten Netz ist in diesen Fällen der MO-Ableiter wegen seiner recht hohen Restspannungskennlinie ungünstiger als der SiC-Ableiter. Im niederohmig geerdeten Netz ist die Schutzwirkung von SiC- und MO-Ableiter etwa gleich. Eine Ausnahme ergibt sich für den SiC-Ableiter nur beim Einschlag in einen nahen Mast (Bild 10a), wenn aufgrund des steilen Spannungszusammenbruchs beim rückwärtigen Überschlag in die Anlage eine extrem steile Spannungswelle einläuft, die am Transformator durch Reflexion nochmals steiler wird, so dass der SiC-Ableiter am Transformator erst stark verzögert anspricht und dadurch an dieser Stelle

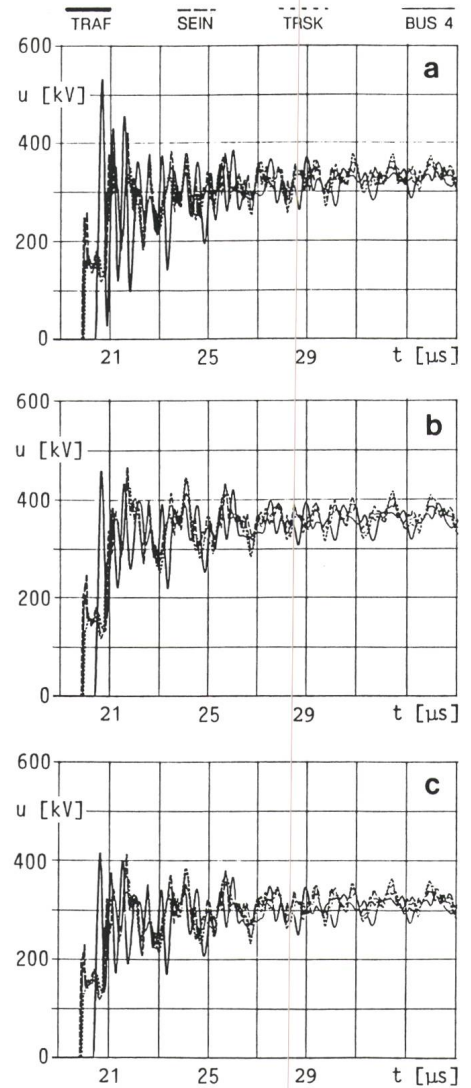
eine wesentlich höhere Spannung auftritt als bei den MO-Ableitern.

### Auswirkung der Ableiterwahl auf die Isolationsbemessung

Wie die Ergebnisse der Vergleichsrechnungen zeigen, gibt es bei Netzen mit Erdschlusslöschung keine eindeutigen Vorteile in der Schutzwirkung von SiC- oder MO-Ableitern. Bei den am häufigsten zu erwartenden Beanspruchungen durch Ferneinschläge sind MO-Ableiter zwar etwas günstiger, die Unterschiede in der Schutzwirkung gegenüber SiC-Ableitern sind maximal jedoch nur etwa 10%. Bei Naheinschlägen ist die Schutzwirkung dagegen um maximal 10% ungünstiger. Wegen der sehr geringen Häufigkeit solcher Einschläge wird



**Bild 9 Spannungsbeanspruchungen beim nahen, direkten Leiterseileinschlag (25 kA)**  
Bezeichnungen siehe Legende zu Bild 8



**Bild 10 Spannungsbeanspruchungen beim Einschlag in Mast 2 (200 kA)**  
Bezeichnungen siehe Legende zu Bild 8

dadurch das Risiko einer Gefährdung der Anlage jedoch nur geringfügig höher. Insgesamt sind die Unterschiede in der Schutzwirkung zwischen SiC- und MO-Ableitern in Netzen mit Erdschlusslöschung also unwesentlich. Diese Aussage gilt auch für Netze mit isoliertem Sternpunkt. Auf die Isolationsbemessung der Anlagen und Geräte in solchen Netzen hat die Art der eingesetzten Ableiter daher keine signifikante Auswirkung.

In Verteilnetzen mit niederohmiger, strombegrenzender Sternpunktterdung ist die Schutzwirkung der MO-Ableiter bei Ferneinschlägen um etwa 15...20% günstiger als bei SiC-Ableitern, bei nahen Blitzeinschlägen bestehen dagegen grösstenteils kaum Unterschiede. Jedenfalls sind die Unterschiede insgesamt nicht so gross, dass es möglich wäre, beim Einsatz

von MO-Ableitern die Bemessungsblitzstossspannung der Anlagen und Geräte generell auf den nächstniedrigeren Wert zu reduzieren (z.B. bei 123-kV-Anlagen von 550 kV auf 450 kV). Durch den Einsatz von MO-Ableitern in diesen Netzen wird allerdings die Sicherheit der Anlage gegenüber Überspannungen erhöht. Üblicherweise ist das der Hauptvorteil von MO-Ableitern in diesen Netzen. Eine Reduzierung der Isolation wäre nur in Netzen mit höherer Betriebsspannung (z.B. 400 kV) möglich, da dort der Erdfehlerfaktor wegen der unmittelbaren Sternpunktterdung niedriger liegt und deshalb MO-Ableiter mit entsprechend niedriger Bemessungs- und Restspannung eingesetzt werden können. Aber selbst in diesen Netzen besteht derzeit mehr die Tendenz, die durch die MO-Ableiter erreichte höhere Sicherheit gegen Überspannungen zu nutzen, als die bewährten Isolationspegel zu reduzieren.

## Tendenzen

Die neuen MO-Ableiter haben besonders in Übertragungsnetzen mit hohen Betriebsspannungen und niedrigen Erdfehlerfaktoren technische Vorteile, wegen der nur kurzen Dauer von Erdfehlern aber auch in Verteilnetzen mit niederohmiger Sternpunktterdung oder schneller Erdfehlerfortschaltung. Hier werden sie heute auch schon im grossen Umfang eingesetzt. In Netzen mit Erdschlusslöschung oder isoliertem Sternpunkt bestehen dagegen keine eindeutigen technischen Vorteile, weder für den SiC noch für den MO-Ableiter. Hier spielen daher neben dem Preis auch noch andere Faktoren, wie zum Beispiel die über Jahrzehnte bereits gute Betriebserfahrung der Energieversorgungsunternehmen mit den SiC-Ableitern eine Rolle. Bei MO-Ableitern war diese gerade in Netzen mit Erdschlusslöschung anfangs nicht bei allen Fabrikanten sehr gut. Sicher sind diese Anfangsschwierigkeiten durch die inzwi-

schon erfolgte Weiterentwicklung zu elektrisch stabileren und gegenüber äusseren Einflüssen unempfindlicheren MO-Widerständen heute überwunden. Bei manchen Anwendern besteht derzeit jedoch immer noch eine gewisse Zurückhaltung gegenüber ihrem Einsatz in Netzen mit Erdschlusslöschung. Wählt man jedoch MO-Ableiter entsprechend den hier dargelegten Auswahlkriterien auf der Basis der maximalen Betriebsspannung  $U_{max}$  des Netzes aus, so besteht bei heute gefertigten MO-Ableitern eine so grosse Sicherheit gegenüber allen möglichen Umgebungseinflüssen, dass man gewiss ist, in den nächsten 20 Jahren genauso gute Betriebserfahrungen mit MO-Ableitern zu sammeln, wie man sie heute von den SiC-Ableitern kennt.

**Anmerkung:** Der Aufsatz ist die überarbeitete Fassung eines Referates, das der Verfasser an den ETG-Informationstagungen am 13. März 1991 (Burgdorf) und 17. April 1991 (Luzern) gehalten hat.

