Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 61 (1970)

Heft: 4

Artikel: Sicherheit und Schutz elektrischer Netze : Einführung

Autor: Berger, K.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915905

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)
und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

Sicherheit und Schutz elektrischer Netze

Vorträge, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 26. und 27. November 1969 in Zürich

Einführung

Von *K. Berger*, Zürich

723-724

621.316.1:621.316.9

Das Thema dieser Diskussionsversammlung heisst Sicherheit und Schutz elektrischer Netze. Wir haben zuerst festzulegen, was wir unter diesen Begriffen verstehen wollen.

1. Begriffe

1.1 Der Begriff der Sicherheit umfasst in erster Linie die Betriebssicherheit elektrischer Netze, d. h. die ungestörte Energielieferung an alle Bezüger. Zu diesem Zweck muss das Netz gegenüber Störeinflüssen aller Art geschützt werden. Als solche kommen einmal äussere Störer in Betracht, wie z. B. Gewitter, Stürme, Vereisung, Isolatorüberbrückung durch Tiere und Tierexkremente, heute auch die vielen Baukrane und Bagger.

Neben diesen äusseren Störern sind auch betriebsinterne Störquellen vorhanden, vor allem Schaltvorgänge, Erd- und Kurzschlüsse, Drahtbrüche, Ferro-Resonanzen usw.

Alle Störungsvorgänge äussern sich in Überspannungen oder Überströmen, gegen deren Folgen das Netz vom Erzeuger bis zum Verbraucher geschützt werden muss. Die entsprechenden Mittel dazu bezeichnet man als den Netzschutz.

1.2 Der Begriff der Sicherheit umfasst jedoch nicht nur die Kontinuität der Energielieferung und den Schutz der Netze gegen Zerstörungen, sondern auch die Sicherheit von Personen und Tieren gegenüber schädlichen Einwirkungen der Hoch- und Niederspannungsbetriebe. Solche Einwirkungen bestehen überall dort, wo Lebewesen gefährlichen Spannungsdifferenzen ausgesetzt sind, sei es durch Berührung zweier Leiter, die nicht direkt miteinander verbunden sind, sei es beim Gehen oder Liegen in einem Spannungstrichter, am Erdboden oder auch in einem Schwimmbad. Man spricht von Berührungs- und Schrittspannungen, zusammengefasst als Einwirkungs- oder Gefährdungsspannungen.

1.3 Zum Begriff der Sicherheit gehört schliesslich noch ein Drittes, das ist die Sicherheit der elektrisch schwachen bzw. empfindlicheren Betriebe, die in den Verordnungen zum Elektrizitätsgesetz als Schwachstrom-Anlagen bezeichnet sind. Darunter fallen nicht nur die Telephonnetze der PTT-Verwaltung, sondern auch alle werkeigenen und werkfremden Fernwirkanlagen, die mit Schwachstrom betrieben werden, ferner die Steuerleitungen der Schieberstationen der grossen Öl- und Gasfernleitungen, denen die Eindämmung von Katastrophen bei Rohrbrüchen anvertraut ist. Es geht hier vor allem um die Vermeidung gefährlicher magnetisch induzierter Längsspannungen in den Schwachstromkabeln und um die Vermeidung von Lichtbogen bei Annäherungen der Rohrleitungen an Spannungstrichter von Hochspannungsanlagen. In Deutschland besteht eine besondere Schiedsstelle für alle Fragen der Beeinflussung von Starkstrom- auf Schwachstrom-Anlagen, an der ausser den Elektrizitätswerken die Bundespost und die Bundesbahn beteiligt sind.

2. Wandlung der Netzschutz-Probleme

Um nun die modernen Netzschutz-Probleme zu verstehen, muss ich wohl oder übel an die Erfahrungen der letzten Jahrzehnte und an die mehr oder weniger erledigten Probleme anknüpfen. Dazu dient folgende Zusammenfassung.

Als der Sprechende vor 43 Jahren vom SEV und VSE mit der Untersuchung von Überspannungsstörungen in Hochspannungsnetzen betraut wurde, waren vor allem drei Probleme die Sorgenkinder der Elektrizitätswerksbetriebe, nämlich die Gewitterüberspannungen, Erdschlussüberspannungen und Schaltüberspannungen.

Seitdem die Blitzüberspannungen mit dem dazu entwickelten Kathodenoszillographen erfasst werden konnten, und die modernen Überspannungsableiter ihren Einzug in die Schutztechnik hielten, kann das Problem des Blitzschutzes im allgemeinen als gelöst betrachtet werden. Für mittlere Hochspannungen genügt der klassische Überspannungsableiter mit Vielfach-Funkenstrecke und Siliciumkarbid (SiC); für Höchstspannungsnetze mit 420 kV Betriebsspannung und mehr kommen die neueren Ableiter mit magnetisch beblasener Funkenstrecke in Betracht.

Das Erdschluss-Problem hat in der Schweiz dank zweier günstiger Umstände seine Gefährlichkeit weitgehend eingebüsst: Einmal haben durchschlagsichere Isolatoren die früher oft gekitteten Stützer ersetzt, anderseits wird in unseren 16-kV-Netzen Material mit 20 bzw. 24 kV Nennspannung verwendet, in den 50-kV-Netzen Material mit 60 bzw. 72 kV Nennspannung (die 2. Zahl ist die neue CEI-Bezeichnung). Die reichlichen Isolationen haben die Betriebssicherheit und die Wirksamkeit der Überspannungsableiter infolge der besseren Koordination der Isolation mit dem Schutz wesentlich

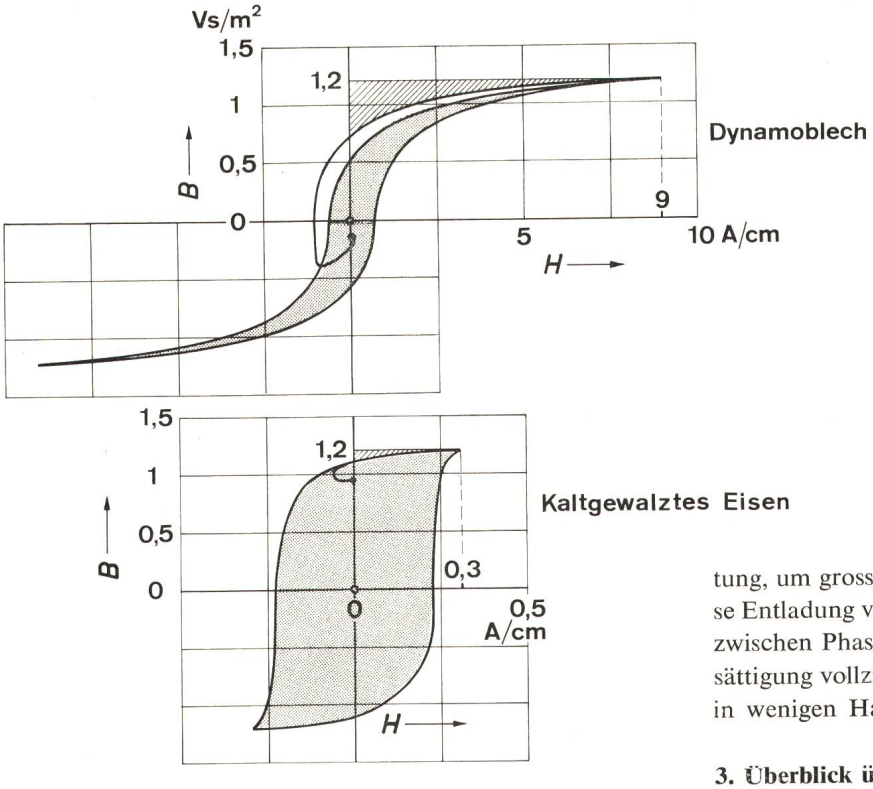

Fig. 1
Hysteresis-Schleifen von Dynamoblech und kaltgewalztem Eisen
B magnetische Induktion; *H* magnetische Feldstärke
Verlust pro Zyklus
Energie beim Ausschalten

verbessert. Nachdem mit dem 24-kV-Material gute Erfahrungen gemacht wurden, kommt die Verwendung von 17,5-kV-Material samt Ableitern wohl nur noch in bestimmten Ausnahmefällen in Frage (kleine Ortstrafostationen). Im reichlich isolierten Netz kommen keine gefährlichen Erdschluss-Überspannungen vor. Wenn trotzdem immer noch Doppel-Erdschlüsse entstehen, so sind diese meistens die Folge von nicht mehr vollwertigen Isolatoren, weil der Erdschluss für die Isolation der gesunden Phasen eine Spannungsprüfung mit voller, verketteter Spannung samt den zugehörigen transienten Überspannungen darstellt. Auch das Erdschluss-Problem im nicht geerdeten und im gelöschten Netz darf heute weitgehend als abgeklärt gelten.

Eine grundsätzliche Wendung hat sich auch auf dem Gebiet der Schaltüberspannungen vollzogen. Seitdem für die Transformatoren kornorientiertes Dynamo-Blech verwendet wird, ist die beim Abschalten leerlaufender Transformatoren aus dem Eisenkern freiwerdende magnetische Energie viel kleiner geworden, wie z. B. aus einer Untersuchung von *B. Staub* hervorgeht (Fig. 1) [1] [1]). Beim Ausschalten des Transformators aus dem stationären Betrieb entstehen keine für den Transformator gefährlichen Überspannungen mehr. Dies ist jedoch leider nicht der Fall, wenn ein Transformator kurz nach dem Einschalten wieder ausgeschaltet wird, wie das z. B. bei fehlerhaftem Funktionieren von Differential-Relais vorkommen kann. Trotz der vielen Lösungsversuche besteht der einzig sichere Weg zur Vermeidung dieser Überspannungen darin, den Differentialschutz während des transienten Schaltvorganges zu blockieren oder doch genügend unempfindlich zu machen bzw. den Transformator mit einem Überspannungsableiter zu schützen.

Auch beim Ausschalten leerlaufender Leitungen hat sich die Lage grundsätzlich geändert, seitdem rückzündfreie Schalter verwendet werden. Mit dieser Neuerung sind auch die am Schalter als Notbehelf eingebauten Schutzwiderstände gegen Überspannungen entbehrlich geworden, was nicht nur von den Konstrukteuren, sondern sicher auch von den Betriebsleitern sehr angenehm empfunden wird. Lediglich bei Höchstspannungen über 400 kV fallen infolge des Interesses an möglichst knapper Isolation neuerdings die Einschaltüberspannungen in Betracht. Sie bedingen vor allem eine Entladung der Leitung vor einer raschen Wiedereinschaltung, um grosse Überschwingspannungen zu vermeiden. Diese Entladung verlangt z. B. induktive statt kapazitive Wandler zwischen Phasen und Erde. Infolge der magnetischen Eisensättigung vollzieht sich die Entladung selbst langer Leitungen in wenigen Halbwellen von 50 Hz.

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

3. Überblick über moderne Sicherheits- und Schutzprobleme

3.1 Höchstspannungsnetze

In einem ersten Vortrag werden die grundsätzlichen Probleme des Verbundbetriebes grosser Werke geschildert. Während im Normalbetrieb die Wirtschaftlichkeit des Energieaustausches im Vordergrund steht, kommt bei Störungen der Aufrechterhaltung des Parallelbetriebes, d. h. der Verhinderung einer Unterbrechung des Verbundbetriebes, grosse Bedeutung zu. Dies bedingt eine grosse Überlastungsfähigkeit der Koppelwerke. Als Verbesserungen können der Ausbau der Schutzeinrichtungen (Distanzschutz der Leitungen und Sammelschienenschutz) und ihre Koordination, sowie die Schaffung von Informationszentren genannt werden, wozu wohl auch Computer in Frage kommen.

Ein anderer Vortrag wird über die Schutzeinrichtungen in schweizerischen 220-kV- und 380-kV-Anlagen berichten. Das 150-kV-Netz hat bei uns weitgehend die Aufgaben eines Verteilnetzes übernommen, so dass es zweckmässiger wäre, als Höchstspannungsanlagen nur jene mit mehr als 200-kV-Betriebsspannung zu bezeichnen, d. h. die Grenze zwischen Hochspannung und Höchstspannung von 100 kV auf 200 kV heraufzusetzen. Dies entspricht m. W. der Praxis in Deutschland.

Neben den Problemen des Distanzschutzes und der Schnellwiedereinschaltung müssen auch die Fragen des neueren Sammelschienenschutzes und der Möglichkeiten kurzer und kürzester Abschaltzeiten besprochen werden. Diesem letzten Problem kommt steigende Bedeutung zu, nicht nur wegen der wachsenden Netzleistungen und der dabei bedingten grösseren Schadenwirkungen durch Lichtbogen, sondern auch wegen der bei kürzerer Fehlerdauer reduzierten Gefährdung von Lebewesen. Es dürfte bekannt sein, dass der VDE für Gefährdungszeiten von weniger als 1 s seit Jahren grössere Berührungsspannungen zulässt als bei Einwirkzeiten über 1 s; z. B. ca. 300 V bei 0,1 s Dauer gegenüber 65 V bei 1 s und mehr oder gegenüber 50 V bei 5 s oder mehr nach SEV. Gelegentlich kürzlicher, gemein-

samer Sitzungen der deutschen und der schweizerischen Erdungskommission wurde noch weitergehend die Auffassung geäussert, dass bei Gefährdungszeiten von weniger als 0,3 s kein Herzkammerflimmern mehr auftrete und somit derart kurze Einwirkzeiten nicht zum Herztod führen. Da über Kurzzeitgefährdungen von Lebewesen wenig Erfahrungen vorliegen und mit Ausnahme einer deutschen Doktorarbeit von *Osypka* keine Tierversuche bekannt sind, liegt hier ein physiologisches Problem vor, dessen Bearbeitung von grossem Interesse ist. Dabei ist nicht zu vergessen, dass mit der kürzeren Fehlerdauer bei der rascheren Fehlerabschaltung auch die Wahrscheinlichkeit abnimmt, dass gerade in dieser kurzen Zeitspanne ein Lebewesen sich einer hohen Berührungsspannung aussetzt.

3.2 Mittelspannungs-Netze

Hier muss man vorerst über Auslegung und Schutz von Mittelspannungsnetzen älteren und neueren Datums für 16 und 50 kV berichten. Während die 50-kV-Netze früher allgemein mit isoliertem Nullpunkt oder mit Löschspulen-Erdung betrieben wurden, findet die starre oder doch niederohmige Nullpunkterdung in den 50-kV-Netzen immer häufiger Anwendung. Dies gilt besonders für Ringnetze. Der Vorteil der starren oder niederohmigen Nullpunkterdung liegt bekanntlich darin, dass in Leitungsnetzen, in denen jede Station von zwei Seiten her gespeist wird, der Verbraucher von vorübergehenden Erdschlüssen nichts merkt, da lediglich die fehlerhafte Leitung automatisch ausgeschaltet wird, während die angrenzenden Stationen immer noch in Betrieb bleiben. Der Relais-Schutz, speziell der Distanzschutz, ist bei starrer oder niederohmiger Nullpunkterdung wesentlich einfacher und sicherer; das Suchen der mit Erdschluss behafteten Leitung in grossen Verbänden wird überflüssig.

Die niederohmige Nullpunkterdung hat gegenüber der starren den Vorteil, Erdkurzschlußströme auf einen solchen Wert zu begrenzen, der für die Beeinflussung benachbarter Schwachstromkabel noch keine gefährlichen Längsspannungen ergibt. Anderseits soll der Fehlerstrom doch ein Mehrfaches des normalen Betriebsstromes betragen, um einen einfachen Überstromschutz zu ermöglichen. Auf Grund der Untersuchungen der PTT-Verwaltung ist ein Erdfehlerstrom von höchstens 3 kA noch zulässig, ohne dass teure Schutzmassnahmen in Schwachstromnetzen benötigt werden. Schliesslich hat die Begrenzung des Fehlerstromes auch einen Vorteil in der Herabsetzung der Erdungsspannungen bei Erdschluss.

3.3 Niederspannungs-Netze

Hier müssen die modernen Schutzprobleme der Niederspannungsnetze beschrieben werden, angefangen auf der Hochspannungsseite der Transformatorstationen bis an das Ende der Niederspannungsverteilung. Dabei sollen die Hausinstallationen absichtlich ausgeklammert werden, um das Gebiet zu begrenzen.

Als Hauptproblem der Ortstransformatorstationen darf auch heute noch die Frage nach der Trennung oder Verbindung des Niederspannungssternpunktes mit der Hochspannungserdung, d. h. mit der Schutzerdung der Station, gelten. In der schweizerischen Verordnung ist bisher stets die Trennung der Nullpunkterdung der Niederspannung von der Hochspannungserdung erstrebt worden. Daher die Vorschrift, die gesamte Niederspannungsinstallation der Transformatorstation gegen die Hochspannungsschutzerdung für mindestens 4 kV Prüfwechselspannung zu isolieren. Diese Prüfspannung stammt aus einer Zeit, wo die Ortstransformatoren noch aus 8-kV-Verteilnetzen gespeist wurden. Mit einer Isolation für die halbe Betriebsspannung hoffte man im schlimmsten Fall des Doppel-Erdschlusses mit einer Fehlerstelle in der Transformatorstation den Übertritt der Hochspannung ins Niederspannungsnetz zu verhindern.

Mit der Erhöhung der Verteilspannung von 8 auf 16 kV oder gar auf 50 kV einerseits und mit der steten Vergrösserung der Netzleistungen anderseits wird es immer schwieriger, bei Doppel-Erdschluss einen Spannungsübertritt von der Hochspannungserdung zur getrennten Niederspannung zu verhindern. Diese Schwierigkeit ist am grössten in Bergstationen, wo eine gute Erdung für die Hochspannungsanlage nicht möglich ist. Das Problem ist vermutlich nur dadurch zu lösen, dass im kritischen Fall eines Doppel-Erdschlusses die Transformatorstation innert weniger Zehntelsekunden abgeschaltet wird, so dass Schadenwirkungen und Personengefährdung im Niederspannungsnetz in engen Grenzen gehalten werden können. Auch bei diesem Problem spielt die Frage nach der Wahrscheinlichkeit des Erdschlusses in der Station eine grosse Rolle.

Bei den Schutzmassnahmen im Niederspannungsnetz stellen sich Fragen der Nullung, der Sicherungen und der Schalter, in zweiter Linie wohl auch die Frage des Überspannungsschutzes der Abnehmer.

4. Einsatz von Computern

Den Problemen des Einsatzes von Computern oder speziellen Prozessrechnern kommt steigende Bedeutung im Verbundnetz zu. Einerseits soll damit die Wirtschaftlichkeit im normalen Netzbetrieb optimal gestaltet werden. Anderseits wird dem Computer von optimistisch eingestellten Ingenieuren bereits das Eingreifen bei Störungen erlaubt. Das grosse Problem scheint in der Frage zu liegen, was passiert, wenn eine vollautomatische, ausserordentlich komplizierte Einrichtung versagt und das Personal nicht gewöhnt und geschult ist, einzugreifen.

5. Beeinflussungsfragen

Am Beispiel des Einflusses von Hochspannungsanlagen auf fremde Anlagen (Schwachstromanlagen) wird ein Grundproblem des Sicherheits- und Schutzproblems, nämlich die Frage nach der Häufigkeit von Gefährdungen oder Schädigungen durch Starkstromanlagen, behandelt. Der Zweck dieser Überlegungen liegt darin, Schutzmassnahmen nur dort zu treffen, wo Gefährdungen nicht nur theoretisch möglich sind, sondern auch praktisch vorkommen und somit die für den Netzschutz zur Verfügung stehenden Mittel optimal zu verwenden.

Betrachtet man z. B. die Frage der Masterdungen: Die Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens eines Erdschlusses an einem abgelegenen Mast im Gebirge mit der Anwesenheit eines Menschen am Mastfuss ist so klein, dass auch an Tausenden von Masten in der Schweiz während 20 Jahren kein schwerer Unfall passierte. Somit hat es keinen Sinn, für eine teure Masterdung Geld auszugeben. Die Erdung soll nur genügen, um die rasche Ausschaltung der fehlerhaften Leitung zu sichern. Diese Überlegungen können auf eine streng

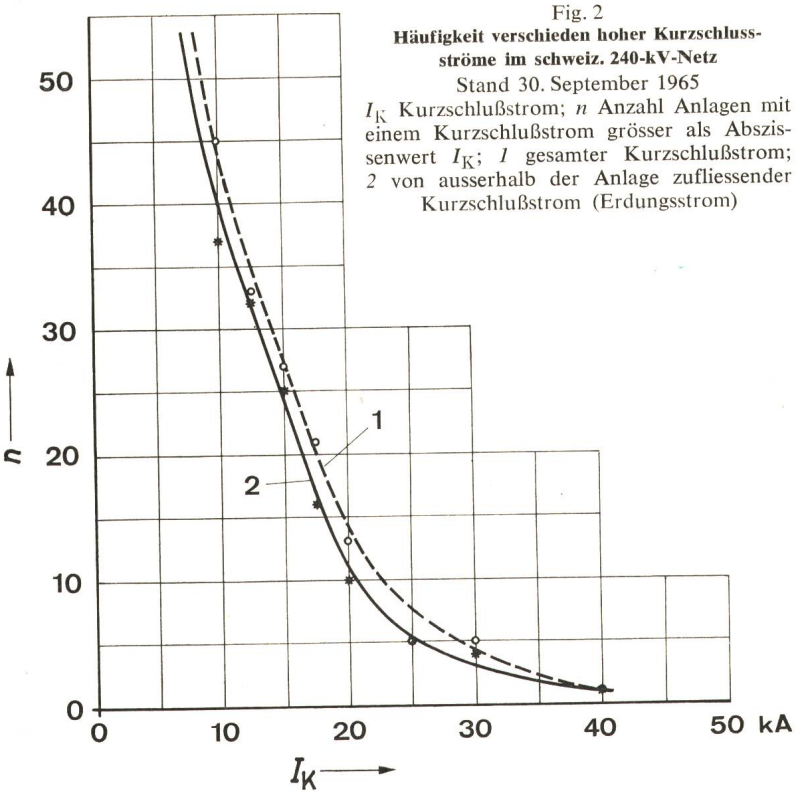

Fig. 2
Häufigkeit verschieden hoher Kurzschlussströme im schweiz. 240-kV-Netz
Stand 30. September 1965
I_K Kurzschlußstrom; n Anzahl Anlagen mit einem Kurzschlußstrom grösser als Abszissenwert I_K; *1* gesamter Kurzschlußstrom; *2* von ausserhalb der Anlage zufliessender Kurzschlußstrom (Erdungsstrom)

mathematische Basis gestellt werden, indem ausser der Störungshäufigkeit irgendeines Fehlers auch die Wahrscheinlichkeit der Anwesenheit einer Person im gefährdeten Zeitpunkt voll in Betracht gezogen und damit ein sog. «Erwartungsfaktor einer Gefährdung» definiert wird.

6. Die Erdung

Das Problem der Erdung stammt offenbar aus der Blitzschutztechnik: Während *Benjamin Franklin* sich 1752 damit begnügte, den Blitzableiterdraht in den Boden zu stecken, trieb in den gleichen Jahren 1752/53 *Prokop Divič* mehrere Erdungspflöcke in den Boden, die er über eine Gliederkette mit den Auffangbürsten für die Blitzentladung verband.

Erden heisst: zugängliche elektrische Leiter so gut mit dem Erdboden zu verbinden, das Lebewesen keinen gefährlichen Spannungsdifferenzen zwischen Erde und Leitern ausgesetzt sind.

Der Begriff der Erdungsspannung (fälschlicherweise als Potential der Erdung bezeichnet) hat für die Gefährdung von Lebewesen wenig Bedeutung. Er ist gegenüber dem Begriff der Einwirkspannung oder Gefährdungsspannung (Berührungs- und Schrittspannung) zurückgetreten. Diese Spannungen sollen in und bei den Anlagen keine gefährlichen Werte erreichen. Berührungsspannungen können in einer Anlage sehr einfach dadurch verhindert werden, dass alle berührbaren Metallteile einer Anlage gut leitend miteinander verbunden und vermascht werden, was in Deutschland mit dem Namen «Potentialausgleich» bezeichnet wird. Zur Beurteilung von Schrittspannungen am Erdboden ist es jedoch nötig, erstens die Erdfehlerströme und ihre Dauer zu kennen und zweitens die Verteilung der Spannungen im Erdungstrichter.

Über die Grösse der Kurzschlußströme in schweizerischen Höchstspannungsanlagen gibt Fig. 2 eine Vorstellung für den Stand am 30. September 1965. Das Bild entstammt einer Arbeit von *J. Vontobel* und *A. Bertschinger* am Hochspannungslaboratorium der ETH. In unseren Mittelspannungsanlagen dürften heute Ströme einiger kA bis ca. 20 kA die Regel bilden. Es ist ersichtlich, dass die Einhaltung von 50 V Erdungsspannung praktisch unmöglich und selbst die Einhaltung von 50 V als Einwirkspannung in vielen Fällen sehr kostspielig ist.

Die Forschungskommission des SEV und VSE für Hochspannungsanlagen (FKH) hat bisher in rund 10 Höchstspannungsanlagen die Verteilung des Erdschluss-Fehlerstromes in den Anlageerdungen und die Spannungstrichter dieser Erdungen ausgemessen. Dabei haben sich sehr interessante Erscheinungen gezeigt:

a) Infolge der Beteiligung der Erdseile und von Kabelmänteln und eventuellen Wasserleitungen als Erder kann genau genommen in Wechselstromanlagen nicht von einem Erdungswiderstand, sondern nur von einer Erdungsimpedanz gesprochen werden.

b) Bei Speisung der mit Erdschluss behafteten Anlage über Kabel mit Metallmänteln fliesst der grösste Teil des Erdschlußstromes gar nicht in die lokale Erdung, sondern über den metallischen Kabelmantel zur Quelle zurück. Der Anteil des Mantelstromes betrug in einer 150-kV-Anlage z. B. rund 80 %, in einer 50-kV-Anlage über 90 %. In der Fachliteratur wird das Verhältnis des lokalen Erderstromes zum gesamten Erdfehlerstrom (Erdschlußstrom) mit dem Namen «Reduktionsfaktor» bezeichnet.

In einer anderen 150-kV-Anlage mit Speisung über 3 einpolige Gasdruckkabel, die in einem gemeinsamen Stahlrohr von ca. 4 mm Wandstärke verlegt sind, floss der gesamte Fehlerstrom über das Stahlrohr zurück, ja genau genommen sogar 103 % des Fehlerstromes, so dass in der Erde kein Rückstrom, sondern ein kleiner Vorwärtsstrom floss, d. h. ein Strom in entgegengesetzter Richtung zum gesamten Stahlrohrstrom.

c) Einen besonders gefährdeten Punkt bilden die Überführungsmasten zwischen Hochspannungskabeln und Freileitungen, weil der Kabelmantelstrom dort gezwungen ist, über das Erdseil und die lokale Erdung weiterzufliessen.

Aus den Messungen geht ausserordentlich deutlich die grosse Entlastung der Erdungen durch die Mantelrückströme der speisenden Kabel hervor. Dies gilt auch dann, wenn die Metallmäntel mit einem Isolierüberzug versehen sind. Um diese günstige Wirkung zu erreichen, muss allerdings der Metallmantel von Kabeln zwischen zwei Anlagen in jeder Anlage direkt an die Anlageerdung verbunden (geerdet) sein.

Nach deutschen Veröffentlichungen dürfte die Kurzzeitbelastung der üblichen Bleimäntel und Armierungen in der Regel keine gefährlichen Erwärmungen bewirken. Schwache Punkte befinden sich jedoch in den oft mangelhaften Überbrückungen bei Muffen. Über die bei einpoligen Kabeln entstehenden Induktionsströme der Mäntel im normalen Betrieb sind Messungen im Gange. Das Kabelproblem ist für die Erdungsfrage von grösster Bedeutung.

Mit dieser gedrängten Übersicht über gelöste und ungelöste Probleme schliesse ich mein Einführungsreferat.

Literatur

[1] *B. Staub:* Modellversuche zur Ermittlung der maximal möglichen Überspannung beim Ausschalten leerlaufender Transformatoren. Bull. SEV 55(1964)2, S. 43...51.

Adresse des Autors:
Prof. Dr. sc. techn., Dr.-Ing. h. c. *K. Berger,* Versuchsleiter der Forschungskommission des SEV und VSE für Hochspannungsfragen, Seefeldstrasse 301, 8008 Zürich.