

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 48 (1957)
Heft: 10

Artikel: Betriebserfahrungen mit der Koordination der Isolation
Autor: Schiller, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060604>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

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

Fortsetzung von Seite 474

Überspannungen und Überspannungsschutz (Fortsetzung)

- [4] *Berger, K.*: Überspannungen beim Schalten leerlaufender Transformatoren und Leitungen. Bull. SEV Bd. 44(1953), Nr. 9, S. 397...409.
- [5] *Berger, K.*: Untersuchungen mittels Kathodenstrahl-Oszillograph der durch Erdschluss hervorgerufenen Überspannungen in einem 8-kV-Verteilnetz. Bull. SEV Bd. 21(1930), Nr. 23, S. 756...788.
- [6] *Berger, K.* und *R. Pichard*: Experimentelle und theoretische Untersuchung der Erdschlussüberspannungen in isolierten Wechselstromnetzen, sowie Eigenschaften von Erdschlusslichtbogen. Bull. SEV Bd. 47(1956), Nr. 11, S. 485...504; 517.
- [7] *Meyer, H.*: Spannungsverlagerungen durch Ferroresonanz in Anlagen mit zwischen Phase und Erde geschalteten Spannungswandlern oder Drosselspulen. Brown Boveri Mitt. Bd. 33(1946), Nr. 12, S. 405...410.
- [8] *Dutoit, M.* und *S. Rump*: Statistiques des perturbations de service et des avaries dans les installations de transport de

force. Leur examen systématique. Conférence des Grands Réseaux Electriques (CIGRE), Paris 1925, Bd. 2, S. 840...663.

- [9] *Berger, K.* und *H. Habich*: Die Abschaltung von Kurzschlüssen am Ende unverzweigter Leitungen und die sich dabei ergebenden Überspannungen, nach Versuchen mit dem Kathodenstrahl-Oszillographen. Bull. SEV Bd. 20(1929), Nr. 20, S. 681...702.
- [10] *Rutz, R.*: Über den räumlichen Schutzbereich eines Überspannungs-Ableiters. Diss. ETH. Zürich: Juris-Verlag 1956.
- [11] *Bergeron, L.*: Propagation d'ondes le long des lignes électriques. Méthode graphique. Bull. Soc. franç. Electr. 5. Serie, Bd. 7(1937), Nr. 82, S. 979...1004.
- Mauduit, A.*: Méthode graphique de Bergeron pour l'étude de la propagation des ondes le long des lignes électriques. Rev. gén. Electr. Bd. 63(1954), Nr. 4, S. 191...221.

Adresse des Autors:

Prof. Dr. sc. techn. *K. Berger*, Versuchsleiter der Forschungskommission für Hochspannungsfragen des SEV und VSE, Seefeldstrasse 301, Zürich 8.

Betriebserfahrungen mit der Koordination der Isolation

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV am 7. März 1957 in Bern
von *H. Schiller*, Baden

621.316.93 : 621.31.048

Um über die Probleme der Koordination der Isolation sprechen zu können, muss man auf die Anfänge der Koordination, also auf den Zustand, wie er ungefähr Ende der 20er Jahre bestand, zurückgreifen. Damals hatte man sehr stark mit Überschlägen in den Anlagen zu kämpfen und man musste Massnahmen treffen, um diese Überschläge zu vermeiden oder wenigstens an Orte zu legen, die von den Überschlägen nicht beschädigt wurden. Zu diesem Zwecke hatte man bereits Überspannungsableiter konstruiert. Es soll besonders an die Rolenableiter und an die Hörnerfunkenstrecken, die über Widerstände an Erde gelegt waren, erinnert werden. Diese Überspannungsschutzeinrichtungen hatten aber nicht den gewünschten Erfolg, sie selbst gaben oft zu Betriebsstörungen Anlass, so dass nach weiteren besseren Lösungen gesucht werden musste, die dann schlussendlich zu den heutigen modernen Ableitern führten.

Da, wie erwähnt, in jenem Zeitpunkt keine befriedigenden Überspannungsableiter vorhanden waren, musste man die Überschläge an teuren und schwer zu reparierenden Apparaten, wie z. B. Transformatoren, dadurch vermeiden, dass man die Luftisolation verstärkte, indem man z. B. Durchführungen von höherer Nennspannung einbaute. Dadurch wurde die Überschlagsspannung in Luft an diesen Apparaten erhöht, und die Überschläge wurden an Stellen mit schwächerer Isolation verlegt. Die innere Isolation der Transformatoren wurde deswegen nicht verstärkt, man setzte einfach grössere Durchführungen ein. Die Transformatorenkonstrukteure hatten ein grosses Vertrauen in die innere Isolation, die reichlich dimensioniert war. In der Praxis sind denn auch praktisch keine Störungen an Transformatoren aufgetreten.

Der Mangel an einwandfreien Überspannungsableitern zwang die Konstrukteure zu weiteren Versuchen. Es sei z. B. an den Bendmann-Ableiter und an denjenigen von *Pfiffner* in Hirschthal erinnert, wobei dieser besonders erwähnenswert ist, weil hier bereits die Vielfach-Funkenstrecke angewendet

wurde. Wären zu jener Zeit spannungsabhängige Widerstände zur Verfügung gestanden, so hätte dieser Ableiter im Prinzip den modernen Anschauungen entsprochen. Als am Ende der Gotthardleitung ein 150/50-kV-Transformator aufgestellt werden musste, wurde dieser, in Ermangelung von genormten Prüfspannungen, für 80 kV in Dreieckschaltung bestellt. Da die Prüfspannungen für den 150-kV-Betrieb somit zu niedrig waren, versuchte man, dem Überspannungsproblem mit Schutzfunkenstrecken beizukommen. Die Schutzfunkenstrecken wurden etwa 10 m vor dem Transformator eingebaut und so tief eingestellt, dass voraussichtlich keine Überspannungsschäden am Transformator auftreten konnten. Die Distanz zwischen den Spitzen einer Funkenstrecke entsprach etwa 690 mm. Diese Schutzfunkenstrecken haben während des Betriebes mehrmals, sogar dreiphasig, angesprochen und wider Erwarten mindestens 2mal ohne Betriebsunterbruch gelöscht. Die Erfahrungen waren sehr gut, der Transformator erlitt keine Überspannungsschäden, so dass man dazu überging, auch in andern Anlagen gefährdete Punkte mit Schutzfunkenstrecken zu schützen. Heute noch, wo die Überspannungsableiter aus dem Versuchsstadium herausgetreten sind und als normale Schutzapparate allgemein verwendet werden können, hat man aus der guten Erfahrung heraus, die mit den Schutzfunkenstrecken gemacht wurden, den Einbau dieser beibehalten. Dementsprechend versieht man in 150- und 220-kV-Anlagen die Abspannisolatoren am Hochgerüst, sowie 1...2 Maste vor der Anlage mit Schutzfunkenstrecken, die auf das Ableiterniveau eingestellt sind. Man ist sich bewusst, dass damit nur ein Grobschutz erreicht ist, der eine gewisse Polaritätsabhängigkeit und auch eine Ansprechverzögerung aufweist. Die Polaritätsabhängigkeit konnte allerdings durch besondere Ausbildung der Funkenstrecken auf ein Minimum reduziert werden (etwa 5...10%). Mit solchen Schutzfunkenstrecken hat man weiterhin auch gute Erfahrungen gemacht, wenngleich zu sagen ist, dass sie nicht

oft ansprechen mussten. Als Beispiel sei ein Fall erwähnt, wo vor der 150-kV-Anlage in Piottino auf einem Mast Funkenstrecken eingebaut waren. Bei einer Störung haben diese angesprochen, ohne dass ein Transformator in der Anlage defekt wurde, während gleichzeitig in der Station Mörel ein Transformator, der nicht mit Funkenstrecken geschützt war, innere Durchschläge erlitt. Auch in 50-kV-Netzen wurden, wie bekannt ist, gute Erfahrungen mit Grobfunkenstrecken gemacht. Bei 8- und 16-kV-Anlagen im Freien ist mit der Anwendung von Grobfunkenstrecken Vorsicht geboten, da zufolge der kurzen Elektrodendistanzen die Gefahr besteht, dass Vögel Kurzschlüsse einleiten. In solchen Fällen sollten die Funkenstrecken vorzugsweise im Innern der Anlage, im Einführungsraum, eingebaut werden.

Bei der Weiterentwicklung der Überspannungsableiter stellte man natürlich ganz auf die Stossüberschlagspannung ab, während man bis anhin für die Apparate nur die 50-Hz-Prüfspannung kannte. Man musste deshalb im Apparate- und Anlagebau auch die Stossüberschlagspannung einführen, um zu einer richtigen Koordination zu gelangen. Hat man in früheren Zeiten den Überschlägen dadurch begegnet, dass man die Isolation der Apparate erhöhte, so wurde bei der Entwicklung der Überspannungsableiter daraufhin gezielt, die einlaufenden Überspannungen zu begrenzen, so dass keine Notwendigkeit mehr bestehen sollte, die Apparate stärker zu isolieren. Dieser neue Gesichtspunkt der Koordination der Isolation wird nun allgemein anerkannt und gilt im Bau der Anlagen als massgebend. Bei der heutigen Kenntnis der Anlagenisolation und beim Stand des Überspannungsschutzes durch Überspannungsableiter und Funkenstrecken konnten tatsächlich die Isolationen gegenüber den früheren Anlagen in gewissen Teilen reduziert werden. So hatte man z. B. 150-kV-Sammelschienen seinerzeit mit 5 Motorisolatoren isoliert; neue Anlagen isoliert man heute nur noch mit 4 Isolatoren. Bei Umbauten von älteren Anlagen war es möglich, den 5. Isolator auszubauen. Da wegen dieser Reduktion der Isolation in keiner Anlage Überschläge auftraten, darf diese Massnahme als Erfolg der Koordinationsbestrebungen gebucht werden.

Die Motor-Columbus A.-G. hatte von allem Anfang an einzelne Überspannungsableiter als Versuchsobjekte in die Netze eingebaut. Anfänglich hatte man mit vielen Störungen zu rechnen, die durch die Überspannungsableiter verursacht wurden. Mit den Jahren wurden aber die Ableiter so verbessert, dass sie heute als einwandfrei bezeichnet werden dürfen, besonders seit explosionsssichere Ausführungen auf dem Markt sind. Selbstverständlich gibt es immer noch Erscheinungen an den Überspannungsableitern, die beseitigt werden müssen, aber an welchen elektrischen Apparaten werden nicht ständig Verbesserungen gesucht und auch gefunden?

Der Überspannungsableiter ist also ein zuverlässiger Apparat, er wird deshalb in allen grösseren Anlagen besonders zum Schutze der Transformatoren eingebaut. Der Abstand des Überspan-

nungsableiters vom Transformator darf 40 m nicht überschreiten, weshalb mit Ableitern tatsächlich nur Transformatoren geschützt werden können; die andern Anlageteile, wie die Leitungseingänge, sind zu weit von diesen Ableitern entfernt, als dass noch ein Schutz zu erwarten wäre. Wollte man einen vollständigen Schutz haben, müsste an den Leitungseinführungen ein weiterer Überspannungsableiter aufgestellt werden, was aber zu hohe Kosten verursachen würde. Der Schutz der Leitungseingänge durch Schutzfunkenstrecken, die auf das Ableiterniveau eingestellt sind, hat sich gut bewährt.

Die Koordination der Isolation beruht, wie schon erwähnt, ganz auf der Stoßspannung. Die 50-Hz-Prüfspannung dient nur noch zur Isolationsprüfung und zur Aufdeckung eventueller Fabrikationsfehler. Um die Apparate richtig prüfen zu können, war es aber nötig, die Stossprüfung einzuführen. Bei Apparaten, die lediglich Luftisolation verwenden, verursachte diese Prüfung keine Schwierigkeiten. Bedeutend mehr Komplikationen bestanden bei der Stossprüfung von Transformatoren, da es anfänglich schwierig war, einen eventuell aufgetretenen Durchschlag festzustellen. Die Methode wurde aber mit der Zeit vervollkommen und verfeinert, so dass man heute in der Lage ist, einen Durchschlag einwandfrei festzustellen. Deshalb wurde denn auch die Stossprüfung bei den Transformatoren vorerst als Typenprüfung eingeführt und damit vorzügliche Resultate erzielt. Bei diesen Stossprüfungen zeigte es sich, dass auch Fabrikations- und Konstruktionsfehler aufgedeckt werden konnten, die sich bei einer 50-Hz-Prüfung nicht gezeigt und wahrscheinlich später zu Störungen im Betrieb geführt hätten. Auch von diesem Standpunkt aus war die Einführung der Stossprüfung ein voller Erfolg.

Nun zeichnet sich eine weitere Verfeinerung der Stossprüfung am Horizont ab, indem gleichzeitig mit dieser auch eine Koronaprüfung angestrebt wird. Diese Prüfung ist noch in ihren ersten Anfängen und z. Z. noch auf das Forschungslaboratorium beschränkt. Es ist zu hoffen, dass daraus wertvolle Ergebnisse resultieren werden. Wenn es gelingt, die Koronaentladungen in den Apparaten zu unterdrücken, dann werden diese viel betriebssicherer sein und eine längere Lebensdauer haben als die heutigen.

Bei Grosstransformatoren wird im allgemeinen die Stossprüfung etwas über die reine Typenprüfung hinaus ausgedehnt, indem zwar nicht alle Transformatoren dieser Prüfung unterworfen werden, jedoch mehr als einer.

Wenn man von Stossbeanspruchung spricht, so denkt man im allgemeinen an atmosphärische Überspannungen. Es gibt aber eine dritte Beanspruchung, die zwischen der 50-Hz- und der eigentlichen Stossbeanspruchung liegt. Dies sind die Schaltüberspannungen, die man als mittelfrequent ansprechen darf. In den Vereinigten Staaten sind diesbezüglich bereits grössere Untersuchungen durchgeführt worden mit dem Ergebnis, dass die Spannungsfestigkeit in bezug auf die Schaltüber-

spannungen nur etwa das 0,8fache der Stoßspannung beträgt. Dass sich diese Schaltüberspannungen anders verhalten als die eigentlichen Stossüberspannungen bei einer Welle 1|50, geht aus jüngsten Versuchen hervor, wo Funkenstrecken, die bei atmosphärischen Überspannungen nie ansprachen, bei Schalthandlungen zum Überschlag kamen.

Zum Schlusse sei einiges über direkte Blitzschläge angeführt. Zum Glück gehören direkte Blitzschläge in Anlagen zur grössten Seltenheit, so dass erfahrungsgemäss keine Veranlassung vorhanden ist, Anlagen allgemein gegen direkte Blitzschläge zu schützen. In der Schweiz ist dies denn auch nur in einem Fall geschehen. Der Schutz gegen direkte Blitzschläge in Anlagen würde darin bestehen, dass man diese mit Erdseilen überspannt, wie dies im Ausland schon häufig gemacht wurde. Die kleine Zahl der direkten Blitzschläge in Anlagen dürfte nach Ansicht des Autors darauf zurückzuführen sein, dass in irgend einer Form die Eisengerüste und die Leiter zum Ausgleich des Gradienten des elektrischen Feldes über die Anlage führen. Direkte Blitzschläge kommen jedoch in Leitungen relativ häufig vor, so dass die Beibehaltung von Grobschutzfunkenstrecken begründet ist. In der Nähe auftretenden direkten Blitzschlägen ist ein Überspannungsableiter nicht gewachsen; er wird in diesem Falle wahrscheinlich defekt werden. Dabei wird er aber die betroffene Phase erden und, wie man annimmt, den zu schützenden Apparat trotzdem vor Schaden bewahren. Treten aber unmittelbar nach diesem Defekt weitere Störungen auf, bevor der beschädigte Überspannungsableiter ersetzt werden konnte, so würde diese Phase als ungeschützt gelten. In solchen Fällen tritt dann der Grobschutz in Funktion, der bei hohen einlaufenden Überspannungen anspricht und die Anlage schützt. Man darf auch bei direkten nahen Blitzschlägen annehmen, dass der Grobschutz anspricht und so den Überspannungsableiter vor Schaden bewahrt.

Über die Häufigkeit des Ansprechens der Überspannungsableiter kann folgendes gesagt werden: In einer 220-kV-Station haben von 9 installierten Ableitern 1953 keine angesprochen, 1954 eine Phase 2mal, eine andere 7mal, wovon 5mal bei einem

Erdschluss bei Berühren eines Leitungsdrahtes mit einem Baumast. 1955 und 1956 haben keine Ableiter angesprochen. Ähnlich liegen die Fälle in andern 220-kV-Stationen. Auch in 150-kV-Stationen sind neben Jahren mit 1...2maligem Ansprechen Jahre vergangen, während welchen die Überspannungsableiter überhaupt nicht ansprechen mussten. Das gleiche gilt von den dem Autor zur Verfügung stehenden Angaben von 50-kV-Netzen. Interessant dürfte es sein zu erfahren, dass in Netzen mit ungeerdetem Sternpunkt die Überspannungsableiter, die an den Sternpunkt angeschlossen waren, öfters angesprochen haben als die Phasenableiter, was die oft höheren Beanspruchungen des Nullpunktes gegenüber der Phase klar demonstriert. Betreffend das Ansprechen der Überspannungsableiter zeigten Stossversuche, dass die Zähler nicht bei jedem Ansprechen der Überspannungsableiter wirklich zählen, so dass man annehmen muss, dass die Überspannungsableiter öfter angesprochen haben, als es die Registrierapparate anzeigen. Trotzdem dürften die angegebenen Zahlen das ungefähre Mass der Häufigkeit des Ansprechens darstellen. Sie zeigen in Übereinstimmung mit den Schutzfunkenstrecken, dass das Ansprechen relativ selten ist, und dass man in der Schweiz mit der Isolation auf der sicheren Seite ist, so dass im allgemeinen ein ruhiger, ungestörter Betrieb erwartet werden darf. Die Abstände gegen Erde und zwischen Phasen sind so gewählt, dass hier eine grosse Sicherheit besteht. Diese Behauptung kann auch durch ein Beispiel illustriert werden. In einer Anlage war man gezwungen, vorübergehend eine 150-kV-Sammelschiene von 2,5 m Phasenabstand mit 220 kV zu betreiben. Die Isolation war ebenfalls reduziert und bestand aus 5 Motorisolatoren gegenüber 6 im Normalfall. Dieser Betrieb konnte ohne jede Störung durchgeführt werden. Nachts sah man zwar die Seile infolge der Koronaerscheinung leuchten und es war auch ein starkes Knistern zu vernehmen, begleitet von Büschelentladungen, aber zu Überschlägen kam es nicht.

Adresse des Autors:

H. Schüller, Vizedirektor, Motor-Columbus A.-G. für elektrische Unternehmungen, Baden (AG).

Diskussionsbeiträge

R. Wild, Elektrizitätswerke des Kantons Zürich, Zürich: Unser Präsident hat in seinen Begrüssungsworten zur heutigen Tagung vom grossen Bedürfnis zur Veranstaltung einer Diskussionsversammlung über die Koordination der Isolation gesprochen und auf den Transformator hingewiesen, der als teuerstes und wichtigstes Objekt der elektrischen Anlage am Ausgangspunkt des Koordinationsproblems gestanden ist. Diese Ansicht teilen auch die Elektrizitätswerke des Kantons Zürich. Unser Bedürfnis nach Abklärung macht sich vor allem beim Vergleich der Koordinationsregeln mit den neuen Transformatorregeln geltend, weil sich unseres Erachtens diese beiden Publikationen in einem wichtigen Punkt nicht decken.

Sowohl in der ersten Auflage der Koordinationsregeln vom Jahre 1948, als auch in den Änderungen des Jahres 1954

sind in der Normalspannungsreihe unter anderen nur die Werte 10 und 20 kV enthalten. Die letztes Jahr herausgekommenen Regeln für Transformatoren kennen nun aber noch den Zwischenwert 15 oder gemäss neuer Festlegung 17,5 kV. Demzufolge werden heute von den Fabrikanten Transformatoren dieser höchsten Betriebsspannung von 17,5 kV für die in der Schweiz so zahlreichen 16-kV-Netze angeboten. 17,5-kV-Stationsmaterial aber wird nach wie vor keines fabriziert; es muss also gezwungenermassen jenes der ehemaligen 20-kV-Nennisolationsspannung, was der heutigen höchsten Betriebsspannung von 24 kV entspricht, zur Verwendung kommen. Dadurch wird einem wichtigen Grundsatz der Koordinationsregeln zuwidergehandelt, denn die Mischung verschiedener Isolationsgrade (Transformator 17,5 kV, Stationsmaterial 24 kV) ist nicht erwünscht.