

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 62 (1971)  
**Heft:** 8  
  
**Rubrik:** Energie-Erzeugung und Verteilung : die Seiten des VSE

### **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:** 15.05.2025

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

# Energie-Erzeugung und -Verteilung

## Die Seiten des VSE

---

### Probleme des Baus und Betriebes von Mittelspannungsnetzen

Bericht über die 37. Diskussionsversammlung vom 19./20. Januar 1971 in Luzern.

Die Diskussionsversammlung über «Probleme des Baus und Betriebes von Mittelspannungsnetzen» wurde für die deutschsprachenden Teilnehmer am 19./20. Januar 1971 in Luzern durchgeführt; diejenige für die französischsprachenden erfolgte Mitte 1971.

Herr A. Strehler, Präsident der Kommission des VSE für Diskussionsversammlungen über Betriebsfragen, leitete die Versammlung in Luzern, an der 310 Personen teilnahmen. Als Referenten amtierten die Herren:

E. Homberger, Oberger. des eidg. Starkstrominspektorates, Zürich

J. Wild, Direktor des Elektrizitätswerkes des Kt. Thurgaus, Arbon

H. P. Utz, Vorstand der Abteilung Bau und Betrieb des Aargauischen Elektrizitätswerkes, Aarau

E. Schindler, Direktor der Industriellen Betriebe der Stadt Aarau, Aarau

Dr. E. Kuhnert, Geschäftsführer der Stromversorgung Ost-hannover GmbH, Celle

V. Huber, Oberbetriebsleiter der Elektrizitätswerke des Kt. Zürich, Zürich

R. Dätwyler, Chef der Leitungsbauabteilung der Centralschweizerischen Kraftwerke, Luzern

W. Meier, Chef Netzbetrieb des Elektrizitätswerkes der Stadt Schaffhausen, Schaffhausen

Die Referate und eine kurze Zusammenfassung der Diskussionsbeiträge werden in dieser und den folgenden Nummern wiedergegeben.

Br

### Begrüssung und Einführung

Von A. Strehler, St. Gallen

Meine Herren,

Gestatten Sie mir, dass ich die 37. Diskussionsversammlung des VSE eröffne. Im Namen des Vorstandes des VSE und der Kommission für Diskussionsversammlungen begrüsse ich Sie herzlich und heisse Sie in Luzern willkommen.

Es ist bereits mehr als ein Jahr verflossen, seitdem die letzte deutschsprachige Diskussionsversammlung abgehalten worden ist. Aus verschiedenen Gründen musste diese Tagung mehr-

mals verschoben werden. Dafür können wir Sie jetzt mit einer 2tägigen Veranstaltung entschädigen. Die grosse Beteiligung zeigt, dass das gewählte Thema:

«Probleme des Baus und Betriebes von Mittelspannungsnetzen»

sehr aktuell ist und die Betriebsleute der Werke sehr interessiert.

Die zunehmende Dichte der Überbauung, die daraus resultierende Verkabelung der Mittelspannungsnetze, aber auch

zum Teil eine Erhöhung der Spannungsebene, führen zu steigenden Kurzschlussleistungen und Erdschlußströmen, alles Probleme, die heute zur Diskussion gestellt werden.

Die rapid steigenden Baukosten und der Mangel an Arbeitskräften zwingen zu vermehrter Rationalisierung und Normierung der Anlagen. Über dieses Thema sowie über die Frage der Betriebssicherheit soll im 2. Teil der Tagung gesprochen werden.

Besonders begrüßen möchte ich die Herren Referenten, die sich spontan bereit erklärten, mit ihren Referaten die

Tagung von ihrer Sicht aus zu beleuchten und zur Diskussion anzuregen. Ich danke Ihnen für diese Bereitschaft.

Ich danke aber auch dem Sekretariat des VSE, insbesondere Herrn Dr. Bucher, für die vorbildliche Organisation der Tagung.

Damit erkläre ich die Tagung für eröffnet.

**A. Strehler**  
Präsident der Kommission  
für Diskussionsversammlungen  
9000 St. Gallen

## **Sicherheit und Betrieb von Mittelspannungsnetzen**

Von E. Homberger, Zürich

### **1. Allgemeine Betrachtungen**

Wer sich näher mit Schutzmassnahmen bei den Elektrizitätswerken befasst, stellt fest, dass die Sicherheits-, Bau- und Betriebsprobleme miteinander verbunden sind. Deshalb sind sie auch gesamthaft zu behandeln. Die gegenwärtige Vortragstagung trägt diesem Grundsatz Rechnung. Wenn nun einleitend die Sicherheit doch etwas in den Vordergrund gestellt wird, hat dies seinen Grund darin, dass sich gegenwärtig die verschiedenen Sicherheitsverordnungen über elektrische Anlagen in Revision befinden.

Bei den Sicherheitsbetrachtungen begegnet man schon bald der Frage: *Wie hoch ist das Sicherheitsniveau anzusetzen?* Eigentlich sollten die Vorschriften hierauf Antwort geben. Bereits die ersten Artikel der für die Sicherheitsmassnahmen in Mittelspannungsnetzen massgebenden Starkstromverordnung lassen aber ungleiche Maßstäbe erkennen. So verlangt Art. 4, dass die Starkstromanlagen so zu erstellen und zu unterhalten sind, dass in allen Betriebsfällen eine Gefährdung von Personen und unter den voraussehbaren Betriebsverhältnissen auch von Sachen vermieden wird. Nach Art. 7 dürfen an Starkstromanlagen Arbeiten nur von fachlich ausgebildetem und zweckmässig ausgerüstetem Personal ausgeführt werden. Wer kennt nicht auch die verschiedenen Bestimmungen mit der Wendung «tunlichst» oder «nach Möglichkeit zu vermeiden»? *Bezüglich des Personenschutzes wird also eine absolute Sicherheit verlangt.* Über den Sachwertschutz besteht bereits mehr Spielraum. Der Ausbildungsgrad des Betriebspersonals, seine Ausrüstung, die Organisation der Schutzmassnahmen bei Arbeiten und viele weitere Belange sind schon weitgehend dem Ermessen der Verantwortlichen anheimgestellt. Wohl wurden im Laufe der Zeit zahlreiche Einzelfälle erläutert und auch das Starkstrominspektorat stand für Sicherheitsfragen beratend und entscheidend zur Verfügung, doch besteht noch heute vielfach Unsicherheit, welcher Maßstab anzulegen ist.

Bei der Revision der Verordnungen bietet sich nun vortrefflich Gelegenheit, den Sicherheitsmaßstab neu und vor allem klarer festzulegen. Ob dies bei der Vielzahl von Meinungen und Forderungen auch von Aussenstehenden, also Elektro-Nichtfachleuten, möglich ist? Unter dem Eindruck der Strassenverkehrsunfälle und der zunehmenden Verrohung in der ganzen Welt braucht es jedenfalls etwas Mut, weiterhin für die absolute Sicherheit des Menschen einzustehen. Es ist auch fraglich, ob dieses Ziel überhaupt je erreicht werden kann. Erfahrungsgemäss lassen sich ja eindeutige Schutzmassnahmen nur für jene Fälle vorsehen, wo die Gefahr von einem Mangel oder von einer Störung in der Anlage selbst ausgeht. Dieser Teil der Unfall- und Schadenverhütung wurde denn auch entsprechend gepflegt und gefördert, so dass heute jede erdenkliche Störmöglichkeit, ganz unabhängig von ihrer Häufigkeit und Wichtigkeit, erfasst ist. Sobald es aber darum geht, den Menschen vor der Berührung betriebsmässig unter Spannung stehender Teile oder vor Fehlmanipulationen zu bewahren, ist der Techniker jedoch bald am Ende des Lateins. Verschiedene nichttechnische Aspekte, nicht zuletzt psychologischer Natur, spielen eine bedeutende Rolle. Deshalb werden die Schutzmassnahmen kontrovers und enden nicht selten im Anbringen von einigen Warnungstafeln und im Appell an den gesunden Menschenverstand. Ereignen sich Unfälle, so wird nur allzuleicht menschliches Versagen als Ursache aufgeführt, und damit gilt der Fall als erledigt. Menschliches Versagen liegt sogar dann vor, wenn der Unfall mit etwas logischem Denken vorzusehen war. Als typisches Beispiel wäre die Berührung eines fahrbaren Kranes mit einer Hochspannungs-Freileitung zu erwähnen. Es ist doch ganz offensichtlich, dass der Kranführer nicht gleichzeitig auf den Weg, die angehängte Last und die in einem ganz anderen Gesichtswinkel verlaufenden Leitungsdrähte achten kann.

Die Resultate dieser Entwicklung blieben nicht aus: Beschränkung der Störungen und Sachschäden auf Einzelfälle,

die noch vielfach auf das Versagen der Schutzeinrichtungen zurückzuführen sind, leicht steigende Tendenz der Person unfälle durch direkte Berührung unter Spannung stehender Teile, wobei periodisch eine Häufung gleichartiger Vorfälle auftritt. Die bereits erwähnten Berührungen von Fahrzeugen mit Hochspannungsleitungen bilden wiederum ein typisches Beispiel hierfür, sind doch gegenwärtig rund 25 % aller tödlichen Elektrounfälle auf diese Ursache zurückzuführen.

Wäre es mit Rücksicht auf die Revision der Verordnungen nicht an der Zeit, die ganze Problematik der Unfall-, Störungs- und Schadenfallverhütung neu zu überdenken? Man könnte natürlich den eingeschlagenen Weg weiterbeschreiten und vorerst einmal aus allen Vorfällen neue oder zusätzliche Schutzmassnahmen ableiten. Um für die Zukunft gewappnet zu sein, liessen sich auch noch alle erdenklichen Stör- und Unfallmöglichkeiten in Betracht ziehen.

Ist ein solches Vorgehen wirklich sinnvoll? Unfall- und Störungsstatistiken weisen zwar den Weg, was noch zu tun ist. Sie liefern aber keine Angaben über die zukünftige Entwicklung. Sie beweisen auch nicht, ob die bereits getroffenen Massnahmen wirksam waren, denn Statistiken enthalten ja keine Angaben darüber, was und wieviel verhütet wurde. Wäre es nicht auch möglich, dass unnütze oder gar falsche Massnahmen getroffen wurden?

Wie bereits das Programm verrät, steht die gegenwärtige Tagung etwas im Zeichen dieser Gedankengänge. Es sollen die gegenwärtigen Verhältnisse im Mittelspannungsnetz kritisch betrachtet, und die sich daraus ergebenden Massnahmen auf etwas weite Sicht mit den sich aufdrängenden Rationalisierungsbestrebungen in Einklang gebracht werden.

An erster Stelle steht die sog. *Sternpunktbehandlung*. Durch die kräftig vorangetriebene Verkabelung steigen die einpoligen Erdschlußströme langsam aber sicher auf gefährliche Werte an. Es fragt sich deshalb, ob die vorwiegend von Erde isoliert betriebenen Netze noch lange beibehalten werden können. Dann stellt sich die Frage, ob der heutige Netzaufbau genügt oder gar zu luxuriös ist.

## 2. Die Vorschriften als Hemmnis für neue Lösungen

Die gegenwärtig in Kraft stehenden Verordnungen kranken am Umstand, dass sie sich zu sehr auf Verhältnisse beziehen, die zur Zeit ihrer Bearbeitung bestanden. Bei der Umgestaltung sollte man daran denken, die erwünschte Wirkung einer Massnahme festzulegen und nicht konstruktive Lösungen zu beschreiben. In dieser Art bliebe eine Verordnung viel länger modern und liesse sich später viel leichter ergänzen und korrigieren.

Bei den bereits überarbeiteten Teilen des Vorschriftenwerkes wurde der neuen Richtung bereits teilweise Rechnung getragen. Beispielsweise verzichtete man im Abschnitt «Erdungen» der Starkstromverordnung darauf, höchst zulässige Erdungswiderstände vorzuschreiben. Dafür legte man die zulässigen Schritt-, Berührungs- und Erdungsspannungen fest, die ja letzten Endes für die Sicherheit massgebend sind und nicht von der technischen Entwicklung abhängen. Die Erdungen werden inskünftig nicht mehr planlos, sondern mit

dem Ziel einer grösstmöglichen spannungssteuernden Wirkung verlegt werden. Es steht den Elektrizitätswerken auch frei, bei Erdschlüssen die Abschaltzeit zu verkürzen und dafür den Aufwand an Erdungen zu verringern, weil in der neuen Verordnung dem Einfluss der Einwirkzeit auf den Menschen Rechnung getragen werden soll.

Es bestehen aber noch viele weitere Möglichkeiten, durch Umgestaltung von Forderungen in den Vorschriften, mehr Bewegungsfreiheit zu verschaffen. Man überlege sich einmal, weshalb vor jeder in einem Freileitungsnetz stehenden Transformatorstation ein Freileitungsschalter einzubauen ist. Bei der Schaffung dieser Bestimmung hatte man (St.V. Art. 62, Ziff. 1) offensichtlich die Mast- und Turmstationen im Auge, an denen ohne Ausschaltung vor der Station nicht gefahrlos gearbeitet werden kann. Ganz anders verhält es sich bei einer modernen, vorfabrizierten gekapselten Anlage. Es ist dort ein Leichtes, ein Eingangsfeld vorzusehen, in dem ein Schalter mit sichtbarer Trennstelle so eingebaut wird, dass sich die im ausgeschalteten Zustand unter Spannung verbleibenden Teile überdecken lassen.

Man könnte noch einen Schritt weitergehen und die einzelnen Transformatorstationen als Bestandteile der Hochspannungsleitungen betrachten. In bestimmten Abständen wären Schaltstellen in den Leitungszug einzubauen, mit denen ein Leitungsstück samt den nachfolgenden Stationen ausgeschaltet und gegen Überstrom geschützt werden. Die Zahl und die Gestaltung der Schaltstellen hinge natürlich von der Bedeutung des Leitungszuges ab.

In beiden Fällen liessen sich die Transformatorstationen wesentlich verbilligen. Dadurch kämen auch abgelegene Gehöfte vermehrt in den Genuss leistungsfähiger Stromversorgungen.

## 3. Bauliche Verbesserungsmöglichkeiten bei der heutigen Gesetzgebung

Es gibt aber auch bei der heutigen Gesetzgebung noch verschiedene Möglichkeiten, die Mittelspannungsnetze einfacher und billiger zu gestalten. Hier einige Beispiele:

Bei Grossüberbauungen, insbesondere bei Durchsetzung mit Hochhäusern, besteht das Bedürfnis, die Zahl der Transformatorstationen zu erhöhen, um die Transportverluste zu vermindern. Dieser Tendenz stehen oft die hohen Erstellungskosten entgegen. Dem Beispiel verschiedener Industriebetriebe folgend, könnte nun aber im Zentrum der Überbauung eine grössere Schalt- und Transformatorstation mit verschiedenen Hochspannungs-Leitungsabgängen zu den umliegenden Hochhäusern oder Häusergruppen erstellt werden. In den einzelnen Häusern wären nur noch kleine Räume zur Aufstellung eines Transformators und der ohnehin notwendigen Niederspannungsverteilung notwendig. Ein solcher Raum würde insbesondere dann klein, wenn klemmenlose Transformatoren (Transformatoren mit direkt eingeführten Hoch- und Niederspannungskabeln) verwendet würden (vgl. Fig. 1).

Eine andere Vereinfachung bei ähnlichen Verhältnissen besteht darin, dass in einem Hochspannungs-Ringnetz nur

noch einzelne Stationen in der üblichen Bauweise mit eingeschlaften, auf eine Sammelschiene führenden Leitungen erstellt werden. Zwischen solchen Stationen kommen einfache Stützpunktstationen zu liegen, in die die Hochspannungsleitung wohl eingeschlaft, aber dort nur angeschnitten wird. An der Anschnittstelle zweigt die Transformator-Zuleitung ab, in die die üblichen Schalt- und Überstrom-Schutzorgane einzubauen sind (vgl. Fig. 2). Diese Anordnung entspricht nicht ganz den heutigen Vorschriften. Würde die Abzweigstelle indessen vor die Station verlegt, so wäre die Lösung in Ordnung. Ob sich nun aber die Abzweigstelle innerhalb oder ausserhalb der Station befindet, spielt sicherheitstechnisch keine Rolle. Übrigens hat ein grösseres Elektrizitätswerk diese Lösung bereits zur Ausführung gebracht.

Kürzlich hat der Bundesrat beschlossen, die Bestimmungen der Art. 63 und 64 der St.V. so abzuändern, dass auf eine unter Spannung bedienbare Trennstelle verzichtet werden darf, wenn Überspannungsableiter oder Spannungswandler an die Sammelschiene einer Station angeschlossen

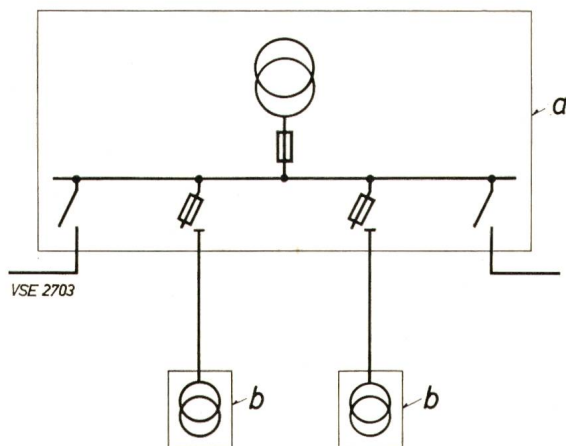


Fig. 1  
Prinzipschema einer zentralen Schalt- und Transformatorstation (a) mit Nebenstationen (b)

werden müssen. Auch der Überstromschutz für Spannungswandler wird nicht mehr gefordert. Hingegen sind die Bestimmungen von Art. 42, Ziff. 1, auch weiterhin zu beachten. Danach darf es für den Ein- und Ausbau der erwähnten Apparate nicht notwendig sein, andere Apparate oder Konstruktionsteile auf umständliche und zeitraubende Weise zu entfernen.

So unbedeutend diese Änderung erscheinen mag, kann sie doch in vielen Fällen zu einer wesentlichen Verkleinerung von Stationen, hauptsächlich von vorfabrizierten, führen (vgl. Fig. 3).

Zweifellos bestehen noch andere Vereinfachungs-Möglichkeiten, die wohl den Bauabteilungen der Elektrizitätswerke näher liegen als dem Starkstrominspektorat. Die folgenden Referenten werden noch weitere Lösungen zur Diskussion bringen.

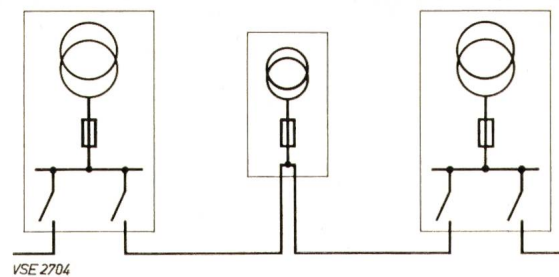


Fig. 2  
Ausschnitt aus dem Prinzipschema einer Hochspannungs-Ringleitung mit Haupt- und Nebentransformatorstationen

#### 4. Die Wahrscheinlichkeit von Unfällen und Störungen

Bei einer überschlägigen Prüfung der unterbreiteten Vorschläge erwartet wohl jedermann ein Anwachsen der Zahl der Unfälle und Störungen. Dieser Eindruck lässt sich unter Umständen auch bei einer vertiefteren Prüfung nicht verwischen. Es fragt sich nur, in welcher Proportion sich die Veränderungen bewegen. Die Beantwortung dieser Frage kann jedoch erst nach genauestem Studium aller für ein Unfall- oder Störungsgeschehen notwendigen Voraussetzungen erfolgen und bedingt unter Umständen weitreichende statistische Unterlagen. Die Problematik der Wahrscheinlichkeit ist übrigens Gegenstand eines besonderen Vortrages, weshalb hier nicht weiter darauf eingegangen werden soll.

Immerhin darf darauf hingewiesen werden, dass die Erdungskommission des SEV bei der Überarbeitung der Erdungsartikel bereits gewissen Wahrscheinlichkeitsüberlegungen folgte. Sie schlägt beispielsweise vor, an die Erdung von Leitungstragwerken je nach ihrem Standort unterschiedliche Anforderungen zu stellen. Erdungen von Masten, die an Orten möglicher grösserer Menschenansammlungen stehen, also in Sportplätzen, Schwimmbädern, Versammlungsplätzen, Campingplätzen usw. hätten die höchsten Bedingungen zu erfüllen. Ein tödlicher Unfall durch Schritt- oder Berührungsspannungen sollte hier als ausgeschlossen gelten. Bei Masten, die sich in der Nähe von bewohnten Gebäuden, an Strassen oder Gehwegen befinden, sollen die Anforderungen an die Erdungen bereits weniger streng sein und an die Er-

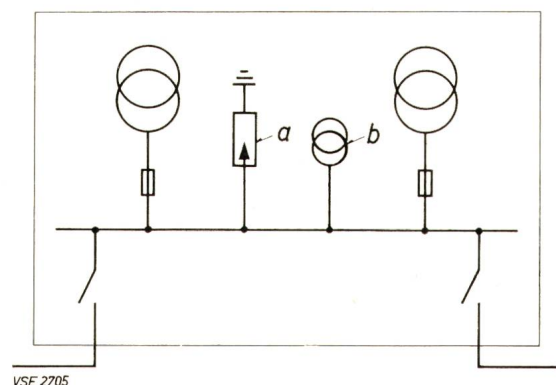


Fig. 3  
Zulässige Anschlussmöglichkeit von Überspannungsableitern (a) und Spannungswandlern (b) an die Sammelschiene von Transformatorstationen auf Grund der abgeänderten Bestimmungen von Art. 63 und 64 der eidg. Starkstromverordnung

dungen von Masten, die im freien Felde stehen, würden überhaupt keine Bedingungen gestellt. Die Überlegungen der Erdungskommission sind offensichtlich: An den erstgenannten Orten ist die Wahrscheinlichkeit der Berührung eines Mastes oder der Überschreitung einer Erdungsstelle durch eine oder gar mehrere Personen während der Dauer eines Erdschlusses beträchtlich. An den zweitgenannten Orten ist das Zusammentreffen eines relativ seltenen Erdschlusses mit der Berührung eines Mastes durch eine Person bereits selten und im dritten Fall gar unwahrscheinlich. Da nun aber die Elektrizitätswerke aus Gründen des Blitzschutzes nicht darum herum kommen, auch die Masten im freien Felde zu erden, wird selbst im letzten Fall noch ein gewisser Schutz geboten.

Überlegungen anderer Art stellte die gleiche Kommission bei der Festlegung der zulässigen Schritt- und Berührungsspannungen an. Bei langandauernden Erdschlüssen ist nicht nur die Wahrscheinlichkeit einer Annäherung an geerdete Anlageteile, sondern auch die Lebensgefahr durch die lange Einwirkzeit gross. Die zulässigen Gefährdungsspannungen müssen deshalb so klein sein, dass auch unter ungünstigen Umständen keine Gefahr besteht. Umgekehrt sind die Verhältnisse bei sehr kurzzeitigen Erdschlüssen, d. h. von Bruchteilen einer Sekunde. Die Wahrscheinlichkeit einer Berührung ist in diesem Falle sehr klein und ausserdem erträgt der Mensch bei so kurzer Einwirkzeit beträchtliche Berührungsströme. Die Erdungskommission des SEV und übrigens auch die Ärztekommision des VSE erachten es deshalb als verantwortlich, in Anlagen mit derart kurzen Ausschaltzeiten im Erdschlussfall die zulässigen Werte mit der auf Grund von Statistiken und Tierversuchen angenommenen Todesfallgrenze zusammenfallen zu lassen. Sollte sich diese Auffassung durchsetzen, so könnten an bestimmten Orten die Erdungsanlagen wesentlich vereinfacht werden.

## 5. Ein Blick ins Ausland

Bis anhin glaubte man in der Schweiz für die Gestaltung der Mittelspannungsnetze eigene Wege gehen zu können. Mehr und mehr wird nun aber ein Handel vorfabrizierter Anlageteile über die Grenzen hinweg einsetzen. Es ist deshalb angezeigt, die Ländervorschriften für die Erstellung von Hochspannungs-Netzen einander anzugleichen. Einstweilen bestehen aber noch verschiedene Abweichungen.

Unser Vorschriftenwerk — die Verordnungen — enthalten, wie bereits eingangs angedeutet, viele Rahmenbestimmungen, die eine ziemlich weitgehende Interpretation zulassen. Anders im deutschen VDE-Vorschriftenwerk, das bis in alle Einzelheiten gehende Bestimmungen enthält. Allerdings ist die deutsche Elektrizitätsgesetzgebung grundsätzlich anders aufgebaut als die schweizerische. Während die VDE-Vorschriften als die Regeln der Technik gelten, handelt es sich bei den bundesrätlichen Verordnungen um Bestandteile der eidgenössischen Gesetzessammlung.

Eine grundsätzlich andere Entwicklung als in der Schweiz nahm in unseren Nachbarländern die *Sternpunktbehand-*

*lung*. Während in der Schweiz nur wenige Werke gelöschte Netze betreiben, bilden sie in Deutschland und in Österreich bis zu 110 kV die Regel. In anderen Ländern scheint sich auch im Mittelspannungsnetz die starre, halbstarre oder die vorübergehende Sternpunktserdung einzuführen. Diese Arten der Sternpunktsbehandlung haben vor allem den Vorteil, dass sich auch *die Erdschlüsse selektiv abschalten lassen*. Mit Rücksicht auf die ständig steigenden Anforderungen an die Lieferkontinuität seitens der Industrie und anderer Abnehmer ist dieser Vorteil bedeutungsvoll. Beispielsweise darf die Stromversorgung für die Belüftungsanlagen im neuen Gotthard-Strassentunnel in keinem Fall unterbrechen, weshalb hier die Nullpunktserdung zweckmässig erscheint. Gerade hier zeigt sich nun aber auch der Nachteil der starren Nullpunktserdung: Die Beeinflussung der parallel zu den Hochspannungskabeln verlaufenden Fernmeldekabel durch die hohen Erdschlußströme. Da der Sternpunktsbehandlung zwei besondere Vorträge gewidmet sind, soll hier nicht weiter auf dieses Thema eingegangen werden.

Weder in Deutschland noch in Österreich besteht die Vorschrift, dass in Freileitungsnetzen den Stationen ein Freileitungsschalter vorzuschalten ist. Dessen ungeachtet müssen die Anlageteile, an denen gearbeitet werden soll, «freigeschaltet» werden (sichtbare Trennstelle schaffen). Entweder sind also die Arbeitsstellen durch Ausschalten in den speisenden Stationen oder durch Öffnen von Trennern in der Anlage selbst spannungslos zu machen. Hochspannungssicherungen dürfen von Hand ausgewechselt werden, wenn ober- und unterspannungsseitig freigeschaltet ist. Diese Bedingungen führen dazu, dass den Hochspannungssicherungen auf jeder kleinen Transformatorenstation, auch Maststation, Trenner oder Lasttrenner vorgeschaltet werden. In Österreich müssen seit kurzem die Hochspannungsschalter der Maststationen vom Boden aus schaltbar und in der Ausschaltstellung verriegelbar sein.

Die deutschen Überlandwerke treffen meist noch weitergehende Schutzmassnahmen, als es nach den Vorschriften notwendig wäre. Beispielsweise rüsteten die Badenwerke (Badenwerk AG, Karlsruhe) sämtliche Lasttrennschalter mit Erdungstrennern aus. Die Sicherungen werden auf den Maststationen von den vorgeschalteten Trennern räumlich getrennt, so dass zwischen den Sicherungen und den zunächst befindlichen, unter Spannung stehenden Teilen ein Abstand von wenigstens 1,5 m besteht.

Die deutschen und österreichischen Regelungen haben den Vorteil, dass die Stationen mit Leichtigkeit in den Leitungszug hineingestellt werden können, was in der Schweiz nicht der Fall ist. Bei der schweizerischen Lösung ergibt sich ferner die Inkonsequenz, dass die Anlagen in Frei- und Kabelleitungsnetzen nicht gleich aufgebaut sind. Hingegen besteht in Deutschland und Österreich der Nachteil, dass die Stationen, vor allem die Maststationen, unförmiger und aufwendiger werden. Maststationen mit nur zwei Masten, wie sie bei uns üblich sind, trifft man in den beiden Ländern selten an. Dort sind hingegen die Gittermaststationen sehr verbreitet, deren Hochspannungssicherungen so angeordnet werden können, dass sie gefahrlos vom Mastinnern aus bedienbar sind. Es werden noch immer Turmstationen, meist

aus vorfabrizierten Betonelementen, erstellt, die sich, wie erwähnt, leicht in einen bestehenden Hochspannungs-Leitungszug einfügen lassen. Hingegen scheint es, dass in den beiden Ländern in ländlichen Verhältnissen die gekapselten Stationen nur sehr langsam Eingang finden, obschon gerade bei dieser Bauart billige Lösungen möglich erscheinen. Bei den Badenwerken kommen die blechgekapselften Stationen seit 1966 im Freien nicht mehr zur Aufstellung. Bei gekapselten Anlagen in Gebäuden wird hingegen nur noch die blechgekapselfte Ausführung angewendet.

Auffällig ist, dass sowohl in Deutschland als auch in Österreich als Kurzschluss- und Überlastschutzorgane für die Hochspannungsanlagen und Niederspannungsabgänge von Transformatorenstationen nach wie vor Schmelzsicherungen zur Anwendung kommen. Offenbar sind hiefür rein wirtschaftliche Gründe massgebend. Studien, die bei der STEWAG (Steirische Wasserkraft- und Elektrizitäts-AG, Graz), durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass die Schmelzcharakteristiken der österreichischen Sicherungen sich recht gut auch für den Überlastschutz von Ortstransformatorenstationen eignen. Es scheint allerdings, dass man dort bezüglich des Schutzwertes für die Nullung andere Maßstäbe anlegt als bei uns. Geringe Bedeutung misst man offenbar der Möglichkeit einer einpoligen Ausschaltung durch das Abschmelzen einer einzelnen Sicherung bei, obschon zweifellos auch in unseren Nachbarländern mehr und mehr Verbraucheranlagen erstellt werden, bei denen ein ein-

poliger Unterbruch zu allerhand Schäden und Störungen führen kann.

## 6. Schlussbemerkungen

Ich glaube, deutlich genug gezeigt zu haben, dass die wirtschaftlichen Probleme beim Bau und Betrieb von Mittelspannungsnetzen eng mit den Massnahmen zur Vermeidung von Betriebsstörungen, Unfällen und Schadenfällen verbunden sind. Meine Ausführungen entbehren der Vollständigkeit. Sie sollten lediglich dazu dienen, die Verantwortlichen der Elektrizitätswerke anzuregen, sich die zukünftige Entwicklung genau zu überlegen und die sich daraus ergebenden Resultate möglichst rasch zur Diskussion zu bringen. Damit saubere, weitsichtige Lösungen zustande kommen, sollten jedoch lokale Interessen zurücktreten und die Anregungen sollten frei sein vom Gefühlsmässigen. Die Kommissionen des SEV, die die Verordnungen zu überarbeiten haben, werden für jeden konstruktiven Beitrag dankbar sein.

### Adresse des Autors:

E. Homberger, Obergeringieur des eidg. Starkstrominspektorates, Seefeldstrasse 301, 8008 Zürich.

## Erdschlussprobleme in Hochspannungsnetzen bis 30 kV

Von J. Wild, Arbon

In der Fachliteratur sind sehr viele Veröffentlichungen erschienen, welche die Probleme bei Erdschlüssen in Hochspannungsnetzen behandeln. Da sie vorwiegend theoretischer Natur sind, fasse ich meinen Auftrag so auf, dass ich Ihnen wohl zum allgemeinen Verständnis einige Vektordiagramme und Ortskurven im Zusammenhang mit Erdschlüssen zeige, mich in der Hauptsache aber mit Problemen, die sich in der Praxis in ungelöschten und gelöschten Überlandnetzen ergeben, befasse.

Eine von Studenten des Technikums Brugg ausgeführte Semesterarbeit zum Thema «Vergleichende Untersuchungen über die Sternpunktbehandlung in schweizerischen Mittelspannungsnetzen bis Reihe 45» hat mir ferner gezeigt, dass in schweizerischen Werkkreisen über die Vorgänge bei Erdschlüssen noch sehr unterschiedliche Auffassungen festzustellen sind.

Einleitend gehe ich auf die grundsätzlich verschiedenen Arten von Erdschlüssen in Hochspannungsnetzen ein. Sodann werden Fragen der Berechnung und der Messung der Erdschlussströme behandelt. Daraufhin betrachten wir anhand von Vektordiagrammen und Ortskurven die Vorgänge bei Erdschluss im isolierten und gelöschten Netz etwas genauer. Im Schlussteil wird näher eingegangen auf Fragen der Abstimmung der Löschspulen, auf die Auswirkung von Hoch-

spannungs-Elektrokesseln und der höheren Harmonischen in der Netzspannungskurve auf den Erdschlussstrom.

Die Fig. 1 und 2 zeigen in vereinfachter Darstellung die verschiedenen Arten von Erdschlüssen in Hochspannungs-Freileitungsnetzen mit isoliertem Sternpunkt. Pos. 1 stellt einen der im Unterwerk z.B. für die Abtransformation von 50 auf 16 kV in Betrieb stehenden Haupttransformatoren dar. Er trennt galvanisch die beiden Hochspannungsnetze, so dass die Kapazitäten des Oberspannungsnetzes den Erdschlussstrom im Unterspannungsnetz nicht beeinflussen. Mit 2 ist eine der verschiedenen, parallel geschalteten 16-kV-Verteilungen dargestellt. An dieselbe angeschlossen sind die mit Pos. 3 markierten Primärwicklungen der Ortstransformatoren. Mit 4 ist die Erdschlussstelle bezeichnet. Man spricht von einem direkten Erdschluss, wenn entweder ein intakter Phasenleiter einen Isolationsfehler gegen Erde aufweist oder wie die untere Darstellung in Fig. 1 zeigt, bei einem Leiterbruch das unterwerksseitige Ende des Leiters den Erdboden berührt.

Wie aus Fig. 2 hervorgeht, wird mit einem indirekten oder verkehrten Erdschluss ein Erdschluss bezeichnet, bei dem das netzseitige Ende des zerrissenen Phasenleiters mit dem Erdboden in Berührung kommt. Dieser Erdschlussfall kann zu Resonanzzuständen zwischen den Kapazitäten der Phasen-